

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

Análise experimental do uso de polímeros superabsorventes na redução da umidade e caracterização inicial de sinter feed

Experimental analysis of superabsorbent polymers for moisture reduction and initial characterization of sinter feed

Mariana Babilone de Souza Ferreira – Universidade Federal de Ouro Preto – REDEMAT –
mariana.babilone@aluno.ufop.edu.br

Cláudio Gouvêa dos Santos – Universidade Federal de Ouro Preto – REDEMAT –
claudio@ufop.edu.br

Resumo

Este estudo avalia a aplicação de polímeros superabsorventes na redução da umidade livre em sinter feed de minério de ferro por meio de ensaios de bancada e análises de caracterização inicial. Foram investigados dois polímeros comerciais, aplicados em diferentes dosagens, com monitoramento da redução de umidade ao longo do tempo. As amostras foram analisadas por difração de raios X e granulometria, visando verificar possíveis alterações estruturais. Os resultados indicaram redução significativa da umidade, sem modificações mineralógicas relevantes, demonstrando a viabilidade técnica inicial da aplicação. Os achados contribuem para o desenvolvimento de soluções alternativas para o controle da umidade em minérios de ferro.

Palavras-chave: Minério de ferro. Polímero superabsorvente. Umidade. DRX. Granulometria.

Abstract

This study evaluates the application of superabsorbent polymers for reducing free moisture in iron ore sinter feed through bench-scale tests and initial characterization analyses. Two commercial polymers were investigated at different dosages, with moisture reduction monitored over time. Samples were analyzed by X-ray diffraction and particle size distribution to verify possible structural changes. Results indicated significant moisture reduction without relevant mineralogical modifications, demonstrating the initial technical feasibility of the application.

Keywords: Iron ore. Superabsorbent polymer. Moisture. XRD. Particle size distribution.

1.Introdução

A elevada umidade presente nos finos de minério de ferro representa um dos principais desafios operacionais e logísticos da cadeia mineral. A presença de água livre compromete o manuseio, aumenta custos de transporte e pode resultar em riscos associados à liquefação da carga. Métodos convencionais de secagem apresentam limitações técnicas e econômicas, especialmente em grande escala. Os polímeros superabsorventes destacam-se por sua elevada capacidade de retenção hídrica e vêm sendo investigados como alternativa para o controle da umidade em diferentes setores industriais. Entretanto, sua aplicação no processamento mineral ainda é limitada. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar, em escala de bancada, a eficiência desses polímeros na redução da umidade em sinter feed.

2. Marco Teórico

A umidade em materiais particulados exerce influência direta sobre seu comportamento mecânico e operacional, afetando propriedades como fluidez, coesão e estabilidade durante o manuseio e o

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

transporte. No caso dos finos de minério de ferro, a presença de água livre favorece a formação de filmes líquidos nas superfícies das partículas e o desenvolvimento de pontes capilares, intensificando as forças de coesão interparticular e comprometendo o escoamento do material (PINTO et al., 2015; ZHOU et al., 2018).

A retenção de umidade em finos de minério de ferro está diretamente relacionada à sua microestrutura, à área superficial específica e à presença de minerais hidratados, como goethita e hidróxidos de ferro. Esses constituintes favorecem a adsorção de água nas superfícies das partículas, intensificando a formação de filmes líquidos e pontes capilares, responsáveis pelo aumento da coesão interparticular. Esse fenômeno compromete a fluidez do material e favorece a formação de aglomerados, especialmente em condições de elevada umidade relativa e variações térmicas durante estocagem e transporte (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010; CHEN et al., 2017).

Além dos aspectos físicos, a distribuição granulométrica exerce papel fundamental na retenção de água em sistemas particulados. Materiais com maior fração de finos apresentam maior área superficial específica, o que intensifica os mecanismos de adsorção e capilaridade, dificultando a drenagem natural da água livre (LI et al., 2019). Dessa forma, o controle da umidade em sinter feed representa um desafio técnico relevante, especialmente em cadeias logísticas de grande escala.

Os polímeros superabsorventes são redes poliméricas hidrofílicas tridimensionais, caracterizadas por elevada capacidade de absorção e retenção hídrica, podendo incorporar centenas de vezes sua própria massa em água sem dissolução (BUCHHOLZ; GRAHAM, 1998). Sua estrutura reticulada favorece interações osmóticas e ligações de hidrogênio com moléculas de água, resultando na formação de hidrogéis estáveis (ZOHURIAAN-MEHR et al., 2010).

O desempenho dos polímeros superabsorventes em sistemas particulados minerais está associado à sua capacidade de capturar a água livre presente nos vazios intergranulares e nas superfícies das partículas. Em matrizes minerais, os PSAs atuam predominantemente por mecanismos físicos, reduzindo a mobilidade do fluido e a formação de películas superficiais contínuas, sem interferir significativamente na composição química do substrato (VENTER, 2003; ORDÓÑEZ, 2013). Esse comportamento é particularmente relevante para aplicações no processamento mineral, uma vez que preserva as propriedades do material para etapas subsequentes.

Estudos anteriores demonstram que a aplicação de polímeros superabsorventes em materiais minerais pode contribuir para a melhoria do desaguamento, da estabilidade física e da manuseabilidade de finos, especialmente em condições de elevada umidade (VENTER, 2003; SRIKAKULAPU et al., 2020). No entanto, a maioria dessas investigações concentra-se em rejeitos, carvões ou polpas minerais, sendo ainda limitada a literatura relacionada à aplicação desses materiais em sinter feed de minério de ferro, especialmente no contexto de operações logísticas e portuárias.

Nesse sentido, o aprofundamento teórico sobre a interação entre polímeros

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

superabsorventes, água livre e partículas minerais constitui base fundamental para a interpretação dos resultados experimentais obtidos neste estudo, bem como para a avaliação do potencial de aplicação da tecnologia proposta em escala industrial.

3. Material e Método

3.1 Material

O material utilizado neste estudo corresponde a sinter feed de minério de ferro proveniente de operação mineradora localizada no Brasil, representativo das condições industriais de produção e comercialização. As amostras foram coletadas diretamente após a etapa de beneficiamento, sendo acondicionadas em recipientes herméticos para preservação do teor de umidade até a realização dos ensaios. O minério apresenta distribuição granulométrica predominante na faixa de finos, característica do sinter feed, e composição mineralógica típica de minérios hematíticos, com presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Foram avaliados dois polímeros superabsorventes comerciais de natureza aniônica e estrutura reticulada, identificados como KE-0806 e KE-0807, selecionados em função de sua disponibilidade comercial e potencial aplicação em processos industriais.

3.2 Preparação das Amostras

As amostras de minério foram inicialmente homogeneizadas e submetidas à determinação do teor de umidade inicial por meio de secagem em estufa a 105 ± 5 °C até massa constante, conforme recomendações da norma ABNT NBR ISO 3087. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em recipientes controlados e ajustadas para teores de umidade representativos das condições operacionais observadas durante transporte e estocagem, por meio da adição controlada de água destilada e homogeneização mecânica.

3.3 Ensaios de Bancada

Os ensaios de bancada consistiram na aplicação dos polímeros superabsorventes às amostras previamente preparadas, em diferentes dosagens previamente definidas em ensaios preliminares. Os polímeros foram adicionados de forma gradual e homogênea, seguido de mistura manual e mecânica, visando garantir sua distribuição uniforme no material. Após a aplicação, as amostras foram mantidas em recipientes abertos, em condições ambientais controladas, para monitoramento do comportamento da umidade ao longo do tempo. A determinação do teor de umidade residual foi realizada em intervalos regulares por meio de secagem em estufa até massa constante, permitindo a avaliação da eficiência dos polímeros na redução da água livre. Cada ensaio foi realizado em triplicata, visando garantir a reprodutibilidade dos resultados.

3.4 Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica das amostras, antes e após a aplicação dos polímeros, foi

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

determinada por peneiramento a seco, utilizando conjunto de peneiras normalizadas, conforme metodologia descrita na norma ABNT NBR ISO 3086. O ensaio foi realizado com tempo e amplitude controlados, sendo posteriormente determinada a massa retida em cada peneira para construção das curvas granulométricas e análise de possíveis alterações na distribuição de partículas.

3.5 Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX)

A caracterização mineralógica das amostras foi realizada por difração de raios X (DRX), utilizando difratômetro equipado com radiação Cu-K α , operando sob tensão e corrente adequadas à análise de materiais minerais. As amostras foram previamente pulverizadas e acondicionadas em porta-amostras apropriados, garantindo superfície plana e homogênea. Os difratogramas foram obtidos na faixa angular de 5° a 70° (2 θ), com passo e tempo de contagem definidos para assegurar resolução adequada. A identificação das fases minerais foi realizada por comparação com padrões disponíveis no banco de dados ICDD (International Centre for Diffraction Data).

4. Resultados e Discussão

Os ensaios de bancada evidenciaram que a aplicação dos polímeros superabsorventes promoveu redução significativa do teor de umidade das amostras em relação às condições iniciais e às amostras controle. As etapas de preparação das amostras, adição dos polímeros e organização do sistema experimental são ilustradas nas Figuras 01 e 02 a seguir.

Figura 01: Adição do polímero à amostra de minério de ferro



Figura 02: Preparação das amostras em bancada após adição do polímero.



Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

A evolução da redução da umidade ao longo do tempo é apresentada na Figura 03, evidenciando comportamento caracterizado por rápida absorção inicial da água livre, seguida pela estabilização dos valores residuais. Esse comportamento está associado à elevada afinidade dos polímeros superabsorventes com a água presente nos vazios intergranulares.

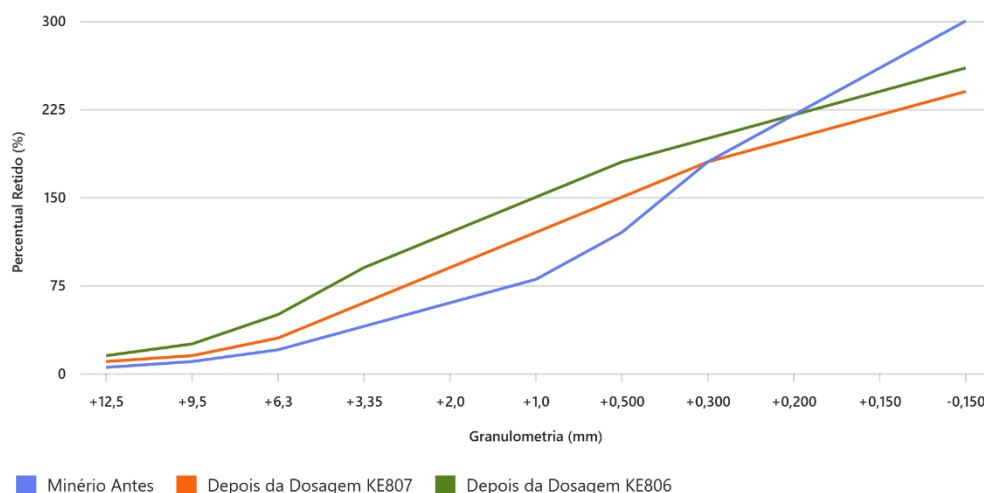
Figura 03: Registros do acompanhamento das amostras ao longo do tempo



A comparação entre os polímeros avaliados indica que o material KE-0806 apresentou desempenho superior ao KE-0807, promovendo maior redução do teor de umidade residual nas primeiras horas após a aplicação. Esse resultado pode ser atribuído à maior capacidade de absorção e estabilidade estrutural do polímero, conforme discutido no marco teórico.

A análise granulométrica foi realizada com o objetivo de verificar possíveis alterações na distribuição de partículas decorrentes da aplicação dos polímeros superabsorventes. A Figura 04 apresenta as curvas granulométricas obtidas para as amostras antes e após o tratamento.

Figura 04: Efeito de cada polímero na granulometria do minério



Observa-se que a aplicação dos PSAs não promoveu modificações significativas na distribuição granulométrica do sinter feed. As curvas apresentam comportamento semelhante, evidenciando a manutenção das frações granulométricas predominantes.

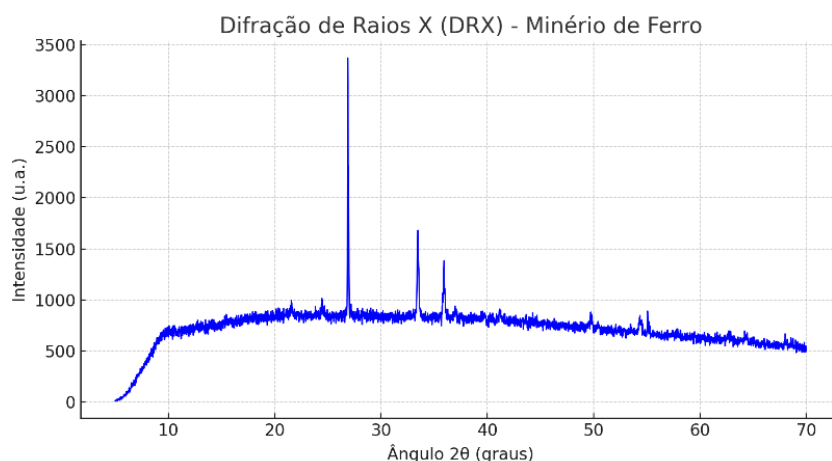
Esse resultado indica que a atuação dos polímeros ocorre sem promover degradação

Ano VI, v.1 2026 | **submissão: 02/02/2026** | **aceito: 04/02/2026** | **publicação: 06/02/2026**

mecânica, aglomeração excessiva ou segregação das partículas, preservando as características físicas do material. A manutenção da granulometria é um fator relevante para a viabilidade industrial da aplicação, uma vez que não compromete as especificações do produto comercializado.

A caracterização mineralógica das amostras por difração de raios X foi realizada com o objetivo de avaliar possíveis alterações estruturais no minério após a aplicação dos polímeros superabsorventes. O difratograma representativo da amostra analisada é apresentado na Figura 05.

Figura 05: DRX amostra de minério de ferro



A análise do difratograma evidencia a predominância das fases minerais típicas do sinter feed, com destaque para hematita, magnetita e goethita. Não foram observados picos adicionais, deslocamentos significativos ou alterações na intensidade relativa que indicassem reações químicas, formação de novos compostos ou modificações estruturais decorrentes da aplicação dos polímeros. Esses resultados confirmam que a atuação dos PSAs ocorre predominantemente por mecanismos físicos de retenção da água livre, sem interferência significativa na composição mineralógica do minério, preservando suas propriedades para as etapas subsequentes de processamento.

A análise conjunta dos resultados de redução de umidade, granulometria e DRX evidencia que os polímeros superabsorventes atuam de forma eficiente na captura da água livre presente no sinter feed, promovendo melhoria no comportamento físico do material sem comprometer suas características estruturais. A redução significativa da umidade observada nos ensaios de bancada, aliada à manutenção da distribuição granulométrica e da mineralogia, indica que a aplicação dos PSAs não interfere negativamente na qualidade do produto. Ao contrário, contribui para a melhoria da fluidez, redução da aderência e maior estabilidade do material durante o manuseio. Além disso, os resultados obtidos são consistentes com estudos anteriores sobre a aplicação de polímeros superabsorventes em sistemas minerais (VENTER, 2003; SRIKAKULAPU et al., 2020), reforçando o potencial da tecnologia para aplicações em escala industrial, especialmente em contextos logísticos operacionais.

5. Considerações Finais

O presente estudo avaliou, em escala de bancada, a aplicação de polímeros superabsorventes na redução da umidade livre em sinter feed de minério de ferro, bem como seus efeitos sobre as propriedades físico-mineralógicas do material. Os resultados obtidos demonstraram que os polímeros avaliados foram capazes de promover redução significativa do teor de umidade, destacando-se o material KE-0806 pelo melhor desempenho observado. As análises de difração de raios X indicaram a manutenção das fases minerais características do sinter feed após a aplicação dos polímeros, evidenciando que a atuação ocorre predominantemente por mecanismos físicos, sem alterações estruturais relevantes. De forma complementar, a análise granulométrica mostrou que o tratamento não provocou modificações significativas na distribuição de partículas, preservando as características físicas do minério. A atuação combinada dos polímeros superabsorventes na redução da água livre, aliada à manutenção da granulometria e da mineralogia, indica que a tecnologia apresenta viabilidade técnica inicial para aplicação no controle da umidade em minérios de ferro. Esses resultados reforçam o potencial dos PSAs como alternativa aos métodos convencionais de mitigação da umidade, especialmente em contextos de grande escala. Embora os resultados sejam promissores, destaca-se que este estudo possui caráter preliminar, sendo necessária a ampliação das investigações em condições operacionais mais próximas da realidade industrial. Estudos futuros deverão contemplar a avaliação em escala piloto, a análise dos impactos na formação de pilhas e no descarregamento marítimo, bem como a viabilidade econômica e ambiental da aplicação. Dessa forma, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento sobre o uso de polímeros superabsorventes no processamento mineral, estabelecendo bases técnicas para o desenvolvimento de soluções inovadoras voltadas à melhoria do desempenho logístico e operacional da cadeia do minério de ferro.

Referências

- BUCHHOLZ, F. L.; GRAHAM, A. T. *Modern superabsorbent polymer technology*. New York: Wiley, 1998.
- CHEN, X. et al. *Effect of moisture on handling and flowability of iron ore fines*. Powder Technology, v. 320, p. 193-201, 2017.
- LI, Y. et al. *Influence of particle size distribution on moisture retention of iron ore fines*. Minerals Engineering, v. 131, p. 180-188, 2019.
- LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. *Tratamento de minérios*. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- ORDÓÑEZ, S. T. L. *Mitigação da retração autógena em microconcretos de alta resistência com adição de polímeros superabsorventes*. 2013. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.



Ano VI, v.1 2026 | submissão: 02/02/2026 | aceito: 04/02/2026 | publicação: 06/02/2026

PINTO, T. C. S. et al. *Mecanismos de secagem visando à redução de umidade em sinter feed de minério de ferro*. In: ABM WEEK. Rio de Janeiro, 2015. p. 1016-1024.

SRIKAKULAPU, N. G. et al. *Application of superabsorbent polymers in mineral processing: a review*. Minerals Engineering, v. 152, p. 106372, 2020.

VENTER, T. P. *Dewatering of coal fines using a superabsorbent polymer*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, p. 403-410, 2003.

ZHOU, Y. et al. *Moisture control in iron ore fines and its effect on handling properties*. Minerals Engineering, v. 119, p. 123-131, 2018.

ZOHURIAAN-MEHR, M. J. et al. *Superabsorbent polymer materials: a review*. Iranian Polymer Journal, v. 19, n. 6, p. 451-477, 2010.