ISSN:2594-6153

# Perspectiva da drenagem de água para minério de ferro supersaturado a partir de ensaios de drenagem com manta geotêxtil

Isabela Ferreira de Souza[1], Marcella Guedes Vieira[1], Luiz Felipe de Morais da Costa Barros[1], Matheus Lima Santos[1], Álvaro Luiz Moreira Conrado[1], Felipe Bertelli[1,2]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de Tecnológica do Paraná (UFTPR), Curitiba-PR – Brasil

E-mail: is171330@alunos.unisanta.br

**Resumo:** Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a efetividade da drenagem de água acumulada em carga de minério a partir de uma bancada experimental com uso de manta geotêxtil. Os ensaios foram realizados a partir de 3 torres de acrílico em uma mesa vibratória para compactação gradual do minério. Após o carregamento das torres com 4kg de minério em cada, houve a adição de 1L de água, após a drenagem eram adicionados mais 1L de água com suspensão de minério, com o intuito de testar a permeabilidade do geotêxtil. Teve-se como resultados o percentual de compactação do minério de 30% e a perda mássica pelos drenos de 0,16%. Conclui-se que o geotêxtil impediu que houvesse grandes perdas mássicas, permitindo a passagem da água.

**Palavras-chave:** Drenagem; sínter feed; drenos; supersaturado;

## Water Drainage Perspectives for Supersaturated Iron Ore Based on Bench-Scale Tests

**Abstract:** This study aimed to analyze the effectiveness of draining accumulated water from an ore load using an experimental bench equipped with a geotextile layer. The tests were conducted using three acrylic towers mounted on a vibrating table to promote gradual compaction of the ore. After loading each tower with 4 kg of ore, 1 L of water was added. Following drainage, an additional 1 L of water containing an ore suspension was added to assess the permeability of the geotextile. The results showed an ore compaction rate of 30% and a mass loss through the drains of 0.16%. It was concluded that the geotextile prevented significant mass losses while allowing water to pass through.

**Keywords:** Drainage; sinter feed; Drains; Supersaturated.

## Introdução

A exportação de minério de ferro está entre as maiores atividades econômica do Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Mineração, sendo escoada majoritariamente pelas linhas férreas localizadas no norte e sudeste do país. Nestas regiões, o índice pluviométrico é alto durante diversos meses do ano, adicionando um desafio logístico de acúmulo de água sobre a carga, transportada em vagões do tipo gôndola a céu aberto [1].

O *sinter feed* é o minério mais exportado mundialmente e possui características de particulados finos e grosseiros misturados que, quando saturados com água da chuva,

apresentam características de forte adesão entre si. Durante o transporte ferroviário, a vibração e os impactos sobre a carga propiciam a compactação e formação de um meio incompressível, que é pouco poroso para percolação e drenagem por drenos instalados nas cabeceiras e assoalhos dos vagões. A água da chuva tende a se acumular, neste caso, na superfície da carga, formando a denominada água livre [2,3].

Os drenos que são empregados atualmente em vagões gôndola possuem frestas com dimensões entre 0,6mm e 1,2mm, sendo muitas vezes ineficazes após aderência de minério e consequente entupimento ao longo do tempo. Nesse sentido, propostas que visem melhorar a eficiência de drenos possuem relevância para este desafio logístico.

Alguns autores apresentam em seus trabalhos o uso de mantas geotêxteis para diminuição de umidade em pilhas de minérios e até mesmo dentro do vagão, explorando de formas distintas uma lacuna importante dentre meios para drenar a água acumulada, conforme mencionado anteriormente. Porém, uma das limitações dos trabalhos está no uso de geotêxtil em contato direto com a carga, o que gera uma abrasão durante o carregamento e descarregamento e diminui a vida útil desta cobertura, além de não considerar a compactação por vibração nos efeitos de secagem e drenagem e coluna [4, 5].

**Objetivos:** O objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência da drenagem de minério de ferro do tipo *sinter feed* por drenos compostos com manta geotêxtil, em termos de tempo de eliminação da massa da água adicionada e perda mássica de minério, através de ensaios em bancada experimental em escala reduzida com mecanismo de vibração.

## Material e Métodos

Com o intuito de observar o fenômeno da percolação da água, foi utilizada uma bancada laboratorial em escala reduzida [5]. Composta por torres de acrílico, um material transparente que permite acompanhar os fenômenos envolvidos nos ensaios com maior clareza. O modelo de bancada utilizado é constituído de uma mesa vibratória e 3 torres de seção quadrada de 80mmX80mm e altura de 500mm, um motor de 0,1W anexado a um braço articulado que contém um peso de 4,5kg para fazer uma queda livre de 10cm, ocasionando a vibração da mesa. As torres possuem aberturas laterais para inserção de drenos, que permitem variar a altura de massa de minério e água em cada teste.

Os drenos compostos forem feitos do mesmo acrílico da torre, com 20 frestas de 5mm de abertura e intercalados com uma manta de proteção de geotêxtil de 1mm (100g/m²) que cobria as arestas para impedir que houvesse perda de minério.

Para a realização dos ensaios, o minério foi inicialmente seco por 24h em uma estufa a 110°C para retirada total de umidade e depois saturado homogeneamente com água deionizada, em uma proporção de 15kg de sínter feed para 1619,7g de água. Após a saturação do minério com água e acoplamento das torres na bancada, foi inserido o minério até 300mm de altura do total da torre, utilizando aproximadamente 4kg de carga, mantendo um espaço livre sobre a superfície para a inserção de 1L de água adicional.

Com o preenchimento das torres, inicia-se a vibração e as marcações das medições da altura da coluna de minério e da coluna de água, até que a água inserida seja completamente drenada. A mistura de minério e água passantes foi conduzida para um béquer para determinação da perda mássica através da secagem e pesagem do minério seco.

Após a primeira drenagem completa, era adicionado mais um béquer com 1L de uma suspensão particulada de água com 100g de sínter feed, com o intuito de verificar a permeabilidade do geotêxtil e o efeito do acúmulo de partículas na perda de carga de escoamento/drenagem. Depois dessa segunda drenagem um terceiro ciclo da adição da mesma suspensão foi realizado, tomando-se cuidado para inserção não atingir diretamente os drenos e causar a limpeza por jateamento. Pelo fato de a mesa conter 3 torres, foram geradas triplicatas em cada ciclo de ensaio, como pode ser visto na Figura 1-a. Já na Figura 1-b pode ser visto o minério compactado após o primeiro ciclo e a altura da superfície coincidente com a altura média do dreno, indicando uma fina lâmina d'água.




(a) (b)

**Figura 1.** Torres de acrílico A, B e C carregadas até 300mm de altura com sínter feed (a) antes do ensaio e (b) após o ensaio de vibração

## Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o gráfico da drenagem com 3 inserções de água, sendo a primeira adição de água deionizada e as restantes de água com suspensão de minério em cada torre A, B e C. Este detalhamento específico é devido a cada torre estar disposta sobre uma região da mesa vibratória, podendo haver uma leve variação da intensidade de vibração.

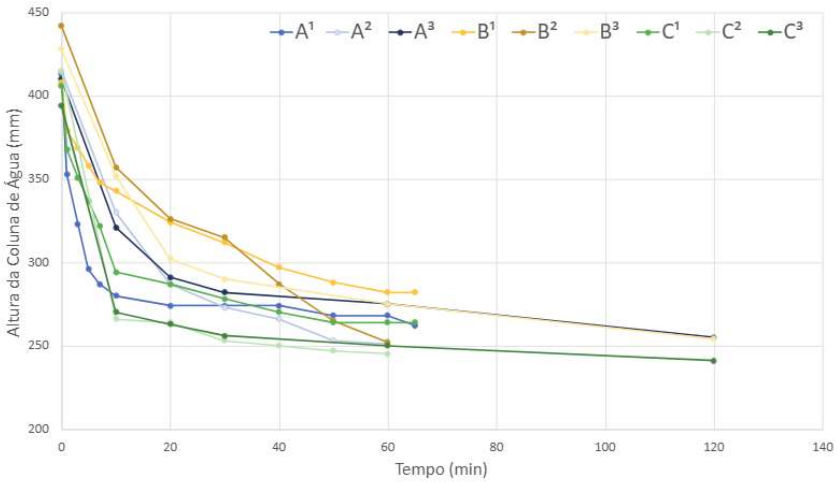


**Figura 2.** Gráfico com a drenagem da água, para cada torre, em um ensaio com 3 adições de água sobre a carga de minério.

Os gráficos indicam que na primeira adição de água, a drenagem foi menos acentuada devido a necessidade de compactação do minério em cada torre. Nas segundas e terceiras adições de água, quando comparadas a primeira, a tendência da drenagem é um comportamento levemente mais rápido por já haver a compactação prévia do primeiro o ensaio. Por conta dessa compactação a abertura do dreno fica mais aparente a cada inserção de água feita.

Porém, em todos os ensaios e em todas as torres, formou-se uma lâmina de água acima da carga, que mesmo após 60 minutos de ensaio não escoava pelo dreno, devido ao minério impregnado na parte inferior da manta no dreno, conforme a Figura 3. Estas lâminas de água possuíam uma altura média de 34mm, sendo o menor caso de 10mm e o maior de 55mm.



**Figura 3.** Conjunto de drenos com manta de geotêxtil impregnada de minério após 3 ciclos de drenagem

Em comparação com os ensaios de Florence, a compactação média da coluna de minério dos ensaios foi de 30% após 3 ciclos de repetição de inserção de água, ficando acima dos 21% encontrados previamente. Este fato era esperado, pois quanto mais adição de água e, consequentemente, mais tempo de vibração, o minério fica suscetível a maior compactação [6]. Por outro lado, com o dreno exposto após esta compactação, esperava-se uma drenagem rápida pelo contado da água com as aberturas de 5mm propostas, muito maiores que as atuais de 0,6mm. Mas, devido a película de minério fino aderida entre as frestas do dreno e a manta geotêxtil, um bloqueio se formou, diminuindo a carga de drenagem.

Por fim, a perda mássica pode ser considerada desprezível, sendo encontrada uma média de 6,5g, um percentual de 0,16% de perda pelo geotêxtil.

## Conclusões

A utilização do geotêxtil permitiu que ocorresse a drenagem quase total da água, do mesmo modo que diminuiu consideravelmente a perda mássica de minério para as condições ensaiadas. Ao mesmo tempo, a película de minério aderida entre as frestas foi responsável por impedir uma drenagem mais rápida, devendo ser considerados novas configurações de projetos futuros de drenos compostos com geotêxtil.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à VALE S.A. pelo apoio financeiro ao projeto e pelas estudantis para desenvolvimento de pesquisas relacionadas a drenagem de vagões, em parceria com a Universidade Santa Cecília, em Santos-SP.

## Referências

1. Brasil. Agência Nacional de Mineração.Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas 2025: ano-base 2024**.** Brasília, DF: Agência Nacional de Mineração, 2025.
2. Santos, Leonardo Henriques dos; Albuquerque, Luís Henrique Fernandes de; Tabata, Gabriel Alcalá; Florence, João Batista Cyrino; Júnior, Deovaldo de Moraes; Rosa, Vitor da Silva; Bertelli, Felipe. Comparação qualitativa entre minério de ferro do tipo pellet feed e sínter feed por peneiramento e microscopia. 16° Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Cientifica, vol. 1, 2024. Santos, SP.
3. Moreira, Thiago Borges Gomes. Avaliação de sistemas de drenagem com geossintéticos para diminuição da umidade no minério de ferro da serra de Carajás. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,2011.
4. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas em Transportes. Fatores que influenciam o desempenho de drenos e filtros geossintéticos em obras ferroviárias: banco de dados de desempenho de filtros geotêxteis. Brasília, DF: DNIT, 2026.
5. Florence, João Batista Cyrino. Estudo de mecanismos de drenagem de água livre para vagões de minério de ferro. Dissertação de mestrado. Universidade Santa Cecília, Santos, SP, 2024.

6. Florence, João Batista Cyrino; Tabata, Gabriel Alcalá; Albuquerque, Luís Henrique Fernandes de; Santos, Leonardo Henriques dos; Rosa, Vitor da Silva; Bertelli, Felipe. Compactação de minério de ferro pellet feed em bancada reduzida experimental e agitador eletromagnético. VII Simpósio de Engenharia Ferroviária. São Paulo, 2024.