



ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE RECOBRIMENTO DE DRENOS COM MANTA GEOTÊXTIL PARA DRENAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

Isabela Ferreira de Souza¹; Marcella Guedes Vieira²; Arthur Dantas Rezende³; Luiz Felipe de Moraes da Costa Barros⁴; Álvaro Luiz Moreira Conrado⁵; Felipe Bertelli^{6,7}

¹Engenheira Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica — Universidade Santa Cecília, Brasil

²Engenheira Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica — Universidade Santa Cecília, Brasil

³Graduando de Engenharia Mecânica — Universidade Santa Cecília, Brasil

⁴Graduando de Engenharia Química — Universidade Santa Cecília, Brasil

⁵Engenheiro Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica — Universidade Santa Cecília, Brasil

⁶Doutor, Departamento Acadêmico de Matemática — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

⁷Doutor, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica — Universidade Santa Cecília, Brasil e Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

RESUMO

Os minérios de ferro dos tipos *pellet feed* e *sinter feed* estão entre os produtos mais comercializados e são amplamente transportados pela malha ferroviária brasileira. Os vagões utilizados nesse transporte são do tipo gôndola e possuem abertura superior, característica que agiliza as operações de carregamento e descarregamento, mas que também favorece o acúmulo de água em períodos chuvosos. Durante o trajeto entre a mina e o porto, a vibração gerada pelo transporte promove a compactação do minério, dificultando a percolação da água até os drenos localizados na cabeceira ou no assoalho dos vagões. Como consequência, parte da água permanece acumulada sobre a carga. Historicamente diferentes configurações de drenos foram testadas no assoalho e na cabeceira dos vagões com o objetivo de minimizar esse problema. Entre os fatores que influenciam a eficiência da drenagem destaca-se o tipo de fresta adotado nos drenos. Aberturas muito estreitas podem sofrer entupimento devido ao carreamento de partículas finas juntamente com a água, enquanto frestas mais largas podem resultar em perdas indesejadas de minério. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a efetividade do uso de manta geotêxtil na retenção de minério e na drenagem de água por meio de ensaios em bancada laboratorial. Para isso foi utilizada uma estrutura experimental com vibração controlada e torres de acrílico, permitindo observar os fenômenos de escoamento. Os resultados indicaram que o geotêxtil contribui para reter o minério. Contudo o *sinter feed* apresentou maior tendência ao entupimento dos poros em comparação ao *pellet feed*, aumentando o tempo de drenagem.

Palavras-chave: Minério de ferro, geotêxtil, *pellet feed*, *sinter feed*, drenagem

1. INTRODUÇÃO

O transporte de minério de ferro é feito majoritariamente pela linha ferroviária no Brasil, de acordo com a ANTF (Agência Nacional de Transporte Ferroviário) (ANTF, 2024). Além de ser considerado o tipo de locomoção mais seguro para materiais



perigosos o transporte ferroviário tem também um custo de frete menor comparado ao rodoviário (Pelissari, 2022). As estradas de Ferro Carajás (EFC) e Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) situadas, respectivamente, nas regiões norte, mais especificamente no estado do Pará, e sudeste do Brasil são as linhas visionadas para os testes realizados neste trabalho (Carvalho, 2021).

Composto por vagões do tipo gôndolas, projetados para serem a céu aberto, este meio de transporte sofre com a formação de água livre em períodos chuvosos, que é o acúmulo de água em sua parte superior, por conta da ineficiência dos mecanismos de drenagem. Este mecanismo é agravado ao longo do transporte devido à inerente vibração, que compacta a carga e diminui as regiões de percolação da água entre o minério (Florence, 2024).

Os dois tipos de minério de ferro mais transportados no Brasil são o *pellet feed* e o *sinter feed*, tendo eles características bem distintas em questão de granulometria, compactação e de composição. Enquanto o *pellet feed* tem uma composição mais abundante em ferro e sua granulometria é caracterizado por conter particulados mais finos, o *sinter feed* possui partículas inorgânicas, como hematita e magnetita, e uma granulometria mais dispersa (Florence, 2024).

Vagões para transporte de minério normalmente possuem drenos de assoalho, responsáveis pela drenagem da água. Porém, em algumas ferrovias brasileiras como a EFC (Estrada Ferro Carajás), estes drenos também estão dispostos na cabeceira, a fim de ampliar as opções de drenagem da água de chuva que entra no vagão (Bogsan, 2022). A literatura específica sobre drenagem em vagões ferroviários para transporte de minério de ferro ainda é escassa.

Os geossintéticos passaram a ser utilizados no Brasil a partir da década de 1970, principalmente na engenharia civil para separação, filtração, drenagem e reforço do solo (Almeida, 2022), um exemplo de sua aplicação com drenagem pode ser observado esquematicamente na Figura 1. Entre eles o geotêxtil é considerado o material mais utilizado, mas há também geomembranas, geogrelhas, mantas de controle de corrosão, geocompósitos e geocélulas (Prasad, 2023). Reis (2023) destaca também o uso de geotêxtis em barragens de rejeitos de minério, com objetivo de garantir o alteamento e a segurança das barragens.

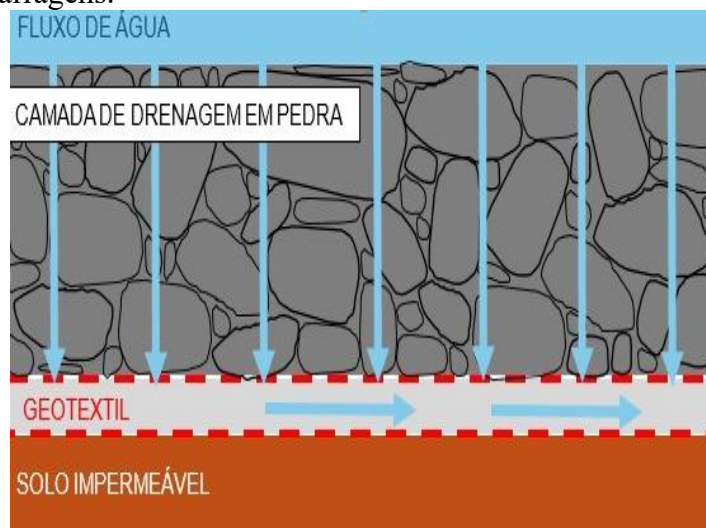


Figura 1 - Drenagem de solo com uso de manta geotêxtil

Os geotêxteis podem ser classificados em naturais e sintéticos, conforme a origem da matéria-prima, com valores de massa de unidade por área. Os naturais são produzidos principalmente a partir de fibras vegetais, compostas por celulose, hemicelulose, lignina



e pectina, sendo a celulose responsável pela maior parte da resistência mecânica. Destacam-se pela biodegradabilidade, elevada capacidade de retenção hídrica e resistência à radiação UV; entretanto, apresentam vida útil limitada, o que restringe sua aplicação em obras que demandam maior durabilidade.

Os geotêxteis sintéticos são fabricados a partir de polímeros petroquímicos, como polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET) e, principalmente, polipropileno (PP). Caracterizam-se pela alta resistência à tração, uniformidade dimensional, permeabilidade e resistência à corrosão, além da possibilidade de fabricação conforme requisitos específicos de projeto. Como limitações, destacam-se a sensibilidade à radiação UV, a degradação térmica e o potencial de geração de microplásticos. Estruturalmente, podem ser classificados em tecidos, não tecidos e tricotados, conforme o arranjo das fibras (Wu, 2020).

Neste trabalho o geotêxtil atua como uma camada protetora de drenos de frestas largas (5mm), retendo o minério e permitindo a drenagem da água. O objetivo é observar o comportamento de drenagem da água em relação a drenos convencionais já empregados no transporte ferroviário, utilizando uma bancada experimental em escala reduzida, a fim de avaliar a eficiência de drenagem em situações que comportam diferentes alturas de carregamento.

2. DESENVOLVIMENTO

Uma bancada laboratorial em escala reduzida foi utilizada para os testes deste trabalho, sendo desenvolvida previamente no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, onde se localiza o Centro de Testes em Drenagem de Vagões Ferroviários (Bogsan, 2022; Florence, 2024).

O aparato é composto por 3 torres de acrílico para triplicata dos dados coletados, sendo dispostas triangularmente sobre uma superfície vibratória. Na parte inferior uma segunda prateleira permite que béqueres armazenem a água drenada com minério. Um braço articulado acoplado a um motor de 0,1W, em corrente contínua, foi inserido na parte inferior da superfície onde as torres estão dispostas. Quando acionado é erguido com um eixo excêntrico, a uma altura de 10mm, permitindo uma queda livre com um peso de 4,5 kg para promoção de impactos na mesa, causando uma vibração induzida nos dispositivos de ensaios. A Figura 2 apresenta esquematicamente a disposição de torres de acrílico com centro de vibração, indicando a simetria da região de impacto para as três torres, além de béqueres de coleta de drenagem (a), além do mecanismo de impactos para vibração (b).

As torres de acrílico têm por dimensão 80mm x 80mm de secção transversal e 500mm de altura, e sua parte superior é aberta para adição de minério e água. Já a drenagem de água ocorre com a disposição do dreno em duas posições distintas, sendo elas na lateral na parte inferior, coincidente com a base da torre, e na lateral na parte superior a uma distância de 200mm da base da torre. A altura do dreno superior foi adotada para que ao final da compactação da coluna de minérios preenchesse apenas 50% do dreno para a passagem da água. Os dois modelos de torre utilizados nesta investigação são mostrados na Figura 3.

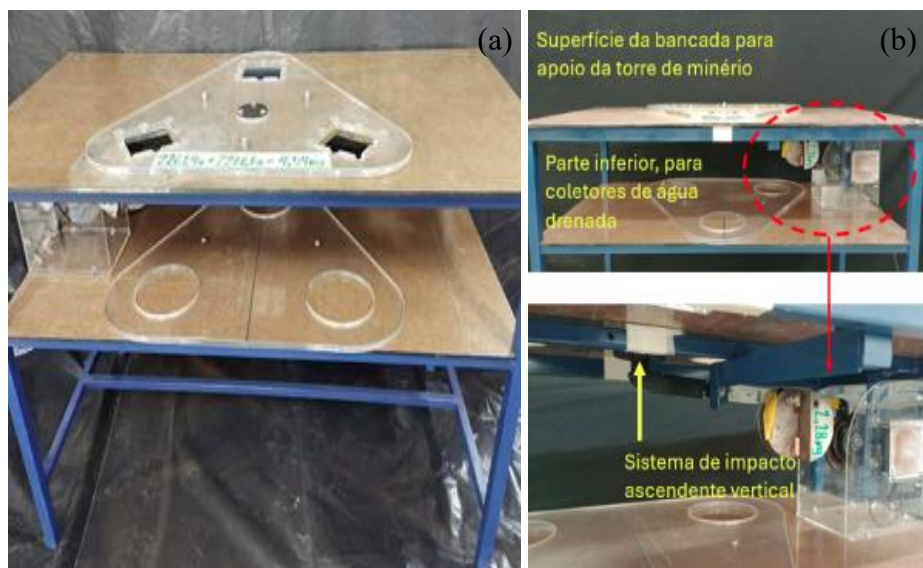


Figura 2 - (a) Foto esquemática da bancada reduzida; (b) braço articulado com eixo excêntrico.
Fonte: J.B.C Florence, 2024

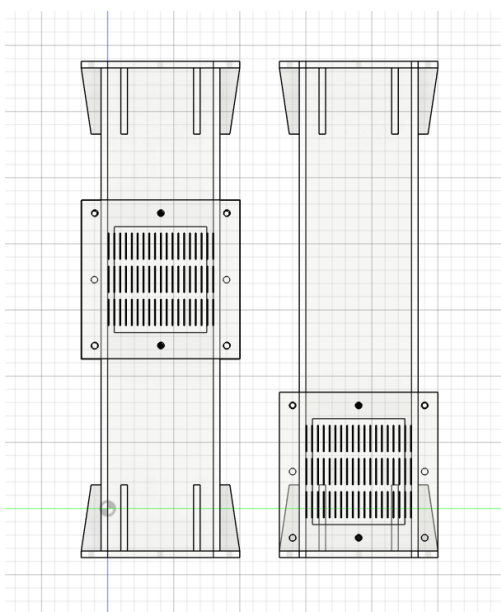


Figura 3 - Modelo de torre com dreno lateral superior e dreno lateral inferior

O dreno proposto nesta investigação é composto de um conjunto de camadas contendo chapas de acrílico, borrachas para vedação e manta geotêxtil, denominado como dreno composto de geotêxtil. Sua formação é feita por duas chapas de acrílico de seção quadrada de 120mm, com 20 fendas posicionadas em duas fileiras com abertura de 5mm. Além disso há também borrachas de vedação de 1,75mm de espessura para não haver vazamentos entre as camadas e uma manta de proteção de geotêxtil de 1mm (100g/m²) para retenção de minério, uma vez que as frestas utilizadas em drenos para vagões apresentam aberturas entre 0,6mm e 1,2mm (Garcia, 2023). Esta composição é colada de forma intercalada, este conjunto pode ser visto na Figura 4.

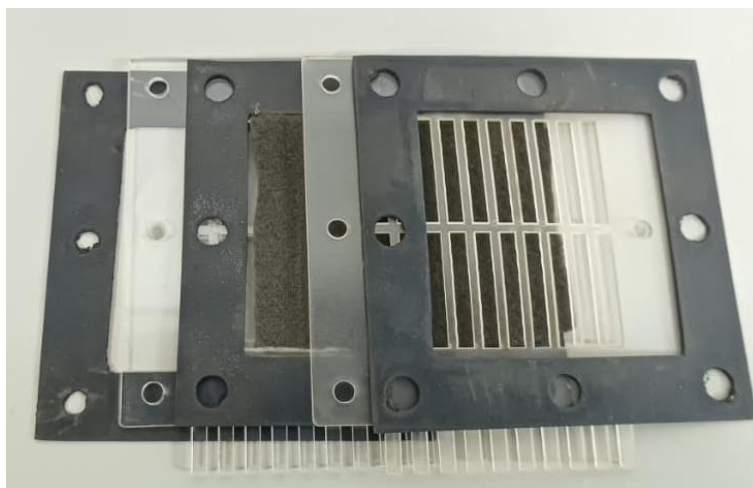


Figura 4 - Dreno composto de geotêxtil

Em trabalho prévio neste grupo de pesquisa, o minério *pellet feed* foi caracterizado com partículas homogêneas e tamanho menor que 0,1mm, com maior densidade por ser beneficiado metalurgicamente. Já o *sinter feed* apresenta partículas entre 1mm e 31,5mm, em uma combinação mais heterogênea de partículas finas e grosseiras (Santos, 2024).

Os ensaios consistiam em primeiro saturar 4kg de minério, previamente seco em uma estufa a 110°C por 24h, com 429,2g de água para *pellet feed* e 431,92g de água para *sinter feed*, deixando essa mistura homogênea e sem pelotas. A manta de geotêxtil foi previamente seca na mesma temperatura por 35 minutos.

O minério já saturado e homogeneizado foi dividido entre três torres até a coluna de minério alcançar 300mm de altura para os ensaios com drenos laterais superiores e inferiores. Posteriormente foi inserido 1000 mL de água sobre a carga de minério para formação de água livre, utilizando um sistema gotejador para evitar o direcionamento de jatos pontuais e formação de canal preferencial.

Após a inserção de água, a vibração foi acionada e a contagem do tempo de experimento iniciado. Foram feitas medições da altura da coluna de água e da coluna de minério, com tempos mais curtos entre medições no começo e mais espaçados ao longo do tempo, uma vez que no início a drenagem é mais rápida. A altura da coluna de minério e a coluna de água são medidas externamente, como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Na Figura 6 pode-se observar a fase inicial de cada torre para os ensaios realizados.

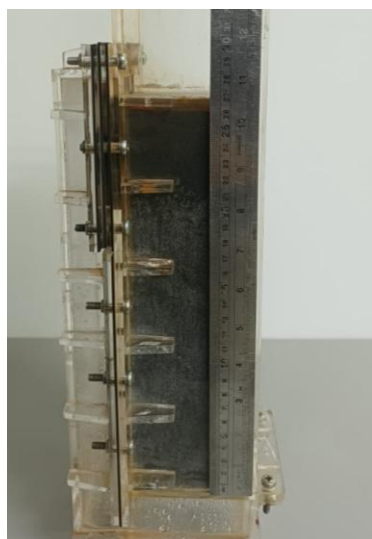


Figura 5 - Demonstrativo de medição da coluna de água e coluna de minério com *pellet feed*

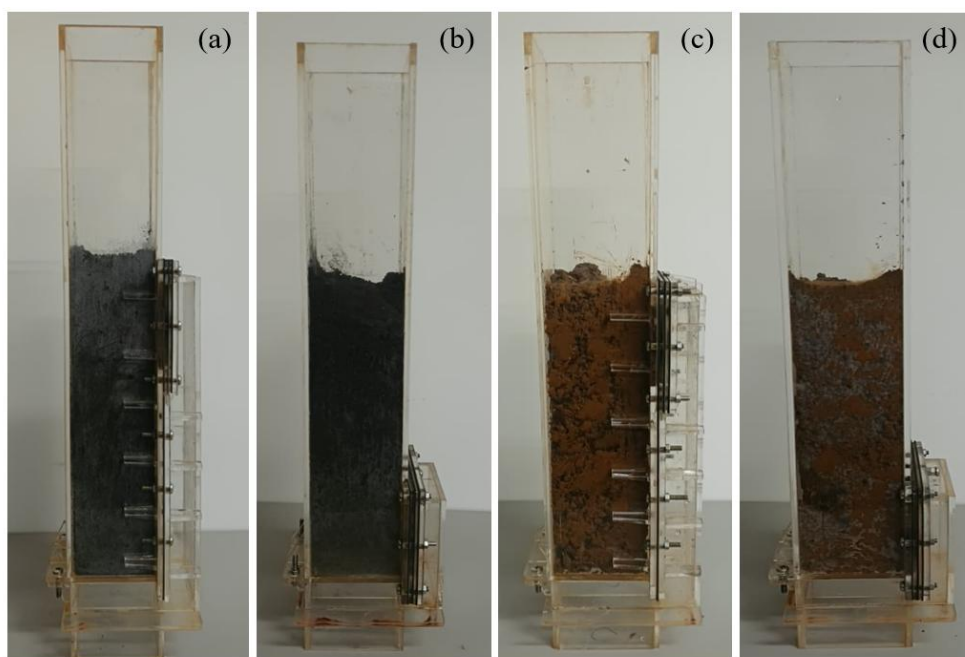


Figura 6 – Coluna inicial com 300mm de minério para cada ensaio: (a) Dreno lateral superior com *Pellet feed*; (b) Dreno lateral inferior com *Pellet feed*; (c) Dreno lateral superior com Sínter Feed; (d) Dreno lateral inferior com Sínter Feed

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 apresenta cada torre ao final dos experimentos, demonstrando a compactação de cada minério.

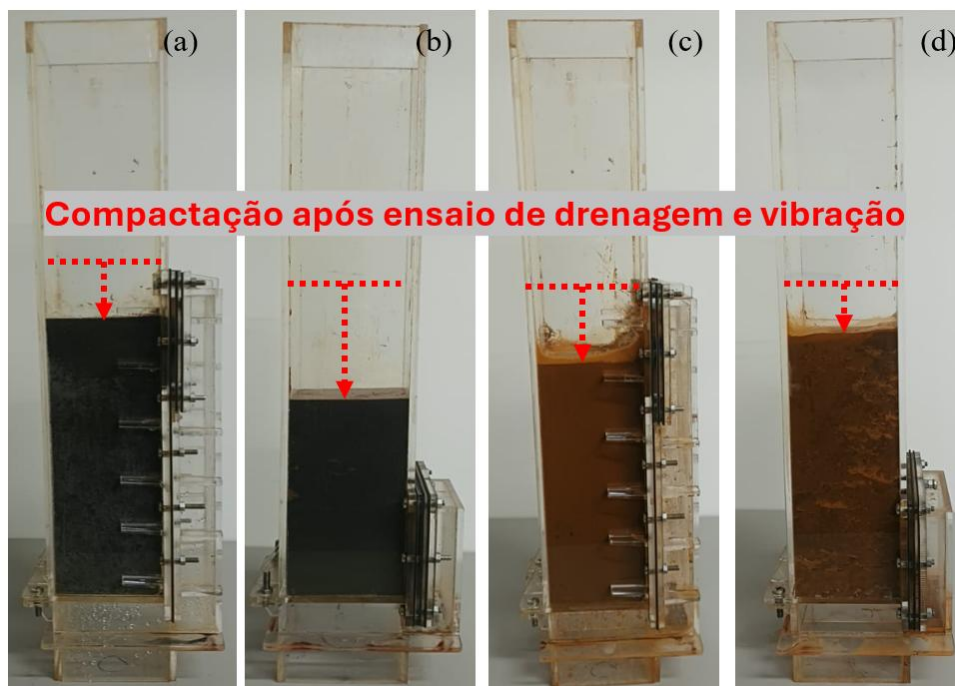


Figura 7 – Altura das colunas ao final do ensaio de minério cada torre: (a) Dreno lateral superior com *pellet feed* – 231mm; (b) Dreno lateral inferior com *pellet feed* – 206mm; (c) Dreno lateral superior com *sínter feed* – 232mm; (d) Dreno lateral inferior com *sínter feed* – 205mm

A compactação teórica estabelecida para os minérios saturados é de 30% para o minério de *pellet* e 40% para *sínter feed* (Florence,2024). Com a adição da água e perda mássica na drenagem, mesmo que desprezível no uso de geotêxtil, a compactação de cada minério alterou-se para 39% e 31%, respectivamente.

Nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 9 são apresentadas as comparações das variações de alturas da coluna de água sobre a carga em função do tempo, utilizando o dreno na posição lateral inferior e superior, respectivamente, com a camada de proteção de geotêxtil. As curvas mostram os resultados desde a inserção da água sobre o minério e acionamento da vibração das torres, até a completa drenagem. A ressalva é para o *sínter feed* na condição de uso de dreno lateral na posição inferior: a altura da coluna de água se manteve praticamente inalterada, pois devido a vibração, a compactação do minério formou uma polpa incompressível onde a água praticamente não consegue percolar.

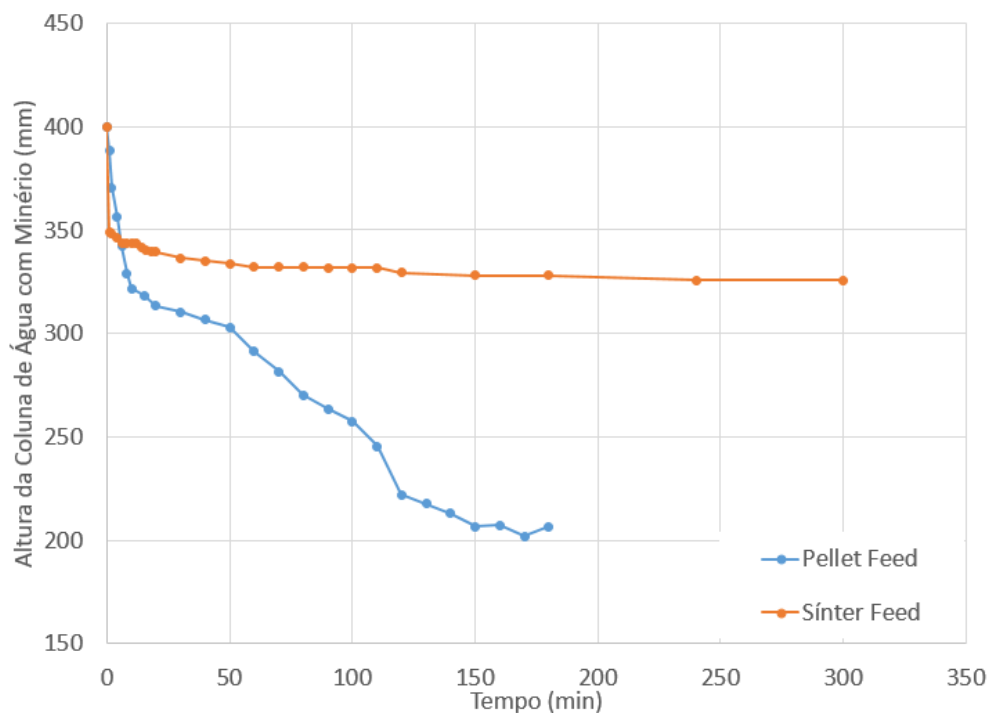


Figura 8 - Comparativo de tempo de drenagem de água para dreno inferior para *pellet feed* e *sínter feed*

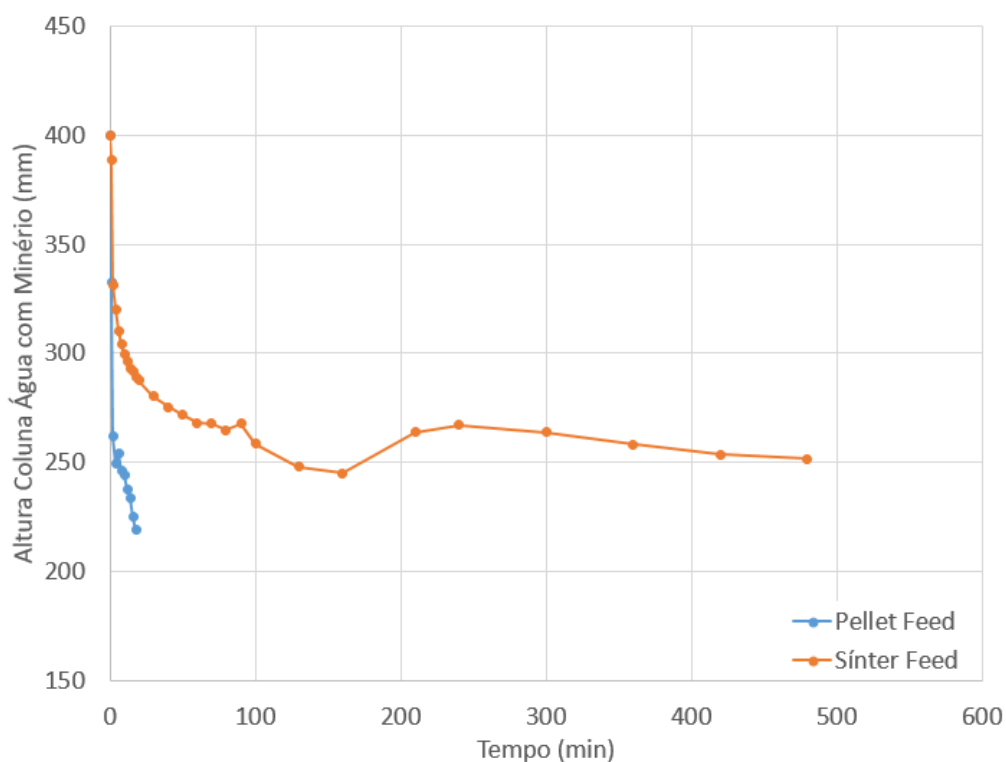


Figura 9 -Comparativo de tempo de drenagem de água para dreno superior para *pellet feed* e *sínter feed*

Nas Figuras 10 e 11 são apresentadas as comparações do tempo de drenagem total da água para o mesmo minério, mas agora para avaliar o posicionamento de drenos inferior e superior, respectivamente para *pellet feed* e *sínter feed*. De uma perspectiva de



comparação diferente, é possível perceber que o dreno superior sempre drena muito mais rápido que o dreno inferior, independentemente do tipo de minério.

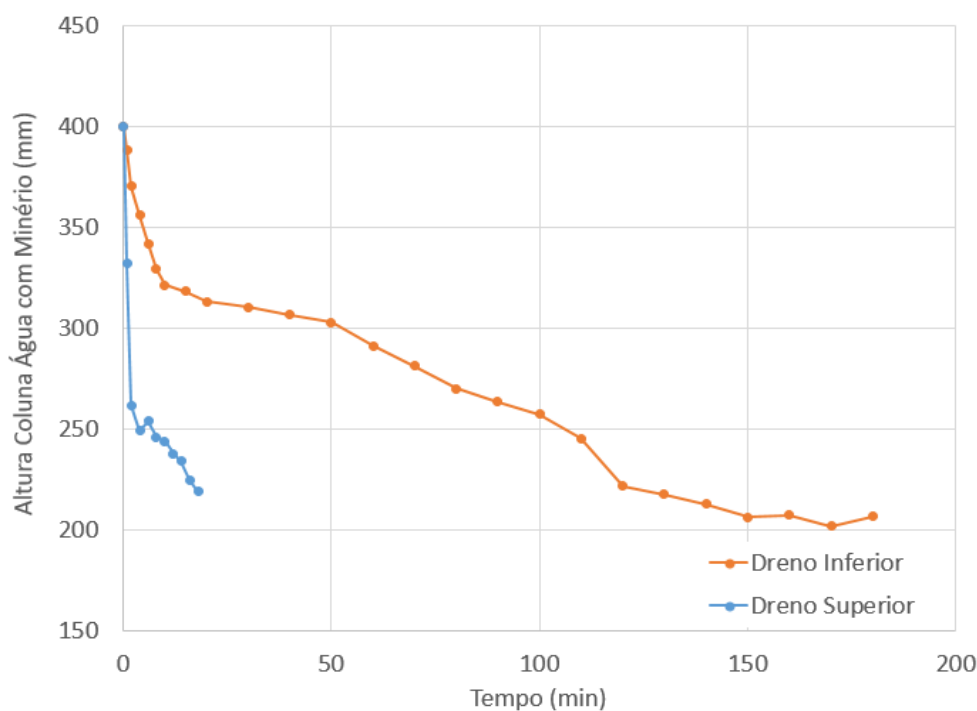


Figura 10 - Comparativo de tempo de drenagem de água entre dreno superior e inferior para *pellet feed*

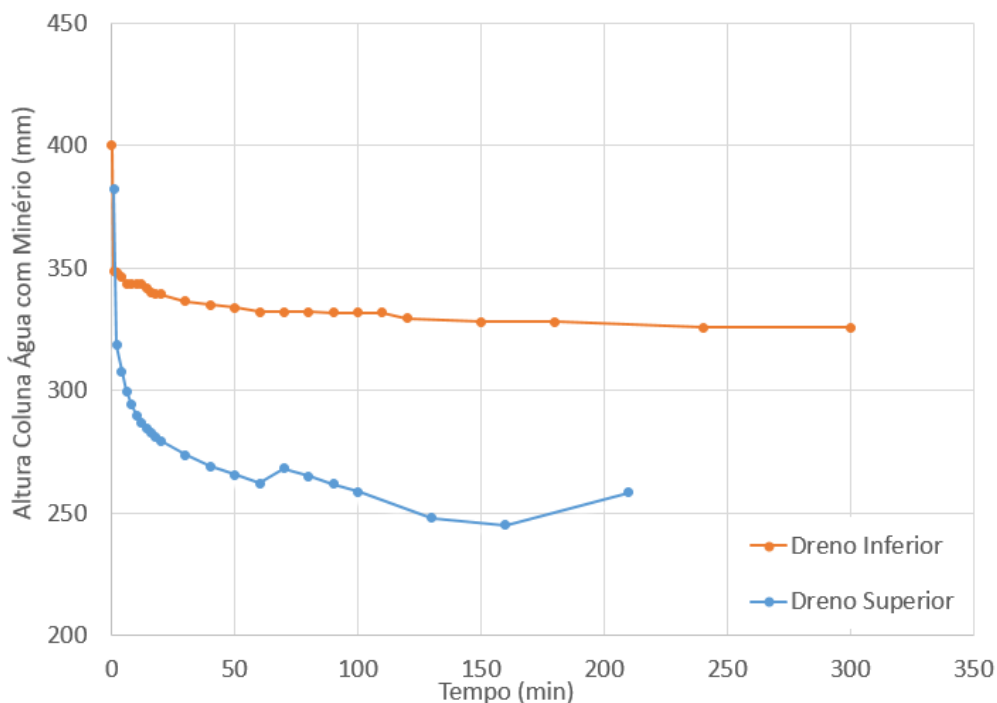


Figura 11 - Comparativo de tempo de drenagem de água entre dreno superior e inferior para *sinter feed*

A manta de geotêxtil evitou a passagem de minério durante todo o ensaio e para os experimentos com dreno superior com minério de *pellet feed*, manteve-se íntegra por



mais 9 testes consecutivos, demonstrando que não houve a colmatação dos poros, mantendo-se a condutividade hidráulica do geotêxtil e a eficiência da drenagem da água. De acordo com Moreira (2011) o geotêxtil, protegido contra raios UV, mantém suas propriedades hidráulicas e mecânicas e em ensaios realizados com geotêxtil utilizado por 21 anos não houve sinais relevantes de desgaste com o tempo. Nos trabalhos conduzidos, porém, o que prevalece da perspectiva qualitativa é a continuidade da efetividade da drenagem com diminuição de perda mássica em comparação a casos testas previamente sem manta e frestas de 0,6mm, encontradas em transporte ferroviário brasileiro.

A água drenada apresentou uma tonalidade turva de acordo com a cor do minério, mas a massa perdida não foi medida devido à quantidade desprezível para mensuração.

De forma semelhante ao *pellet feed*, a aplicação da camada protetora de geotêxtil nos experimentos para *sinter feed* mostrou-se eficiente em sua função de retenção, evitando as perdas significativas de minério pelas aberturas do dreno. Entretanto a passagem da água ficou comprometida devido ao entupimento dos poros da manta mesmo após tentativas de desobstrução realizadas com aplicação de pressão de ar ou água.

Outro aspecto observado durante os experimentos executados nas torres com drenos no posicionamento superior foi a formação de uma pequena parede de minério acumulado e supersaturado. Esta barreira resultou em uma pequena película de água que permaneceu retida na estrutura de drenagem, como pode ser visto na Figura 12. Ao final do experimento essa película apresentou uma altura menor que 5mm para *pellet feed*. Para *sinter feed*, por sua vez, a altura da coluna de água atingiu aproximadamente 20mm.



Figura 12 - Minério acumulado na região próxima ao dreno lateral superior, diminuindo o fluxo de drenagem

Para o minério do tipo *sinter feed*, apesar da drenagem incompleta da água em ambos os modelos de torre, constatou-se que para o dreno inferior apresentou maior volume residual de água. Neste caso, observou-se uma diferença de 137mm entre a coluna de água e a coluna de minério. Já para o dreno superior, essa diferença atingiu aproximadamente 18mm da coluna de água para a coluna de minério.

Estudos previamente realizados evidenciam que nos ensaios neste mesmo modelo de torre de acrílico, porém com drenos com aberturas de 0,6mm e 1mm, sem a manta de



proteção de geotêxtil há a perda significativa de minério. De acordo com Tabata (2024), há um desperdício médio de 825g de minério nas torres, sendo com a abertura de 1mm uma perda 12 vezes maior em comparação a abertura de 0,6mm. Contudo, com a utilização da manta de geotêxtil, a perda mássica de minério foi menor que 100g, valor pouco relevante para ser considerado perda mássica.

4. CONCLUSÃO

A drenagem da água utilizando a manta geotêxtil mostrou-se eficiente para ambos os minérios na condição de uso de drenos posicionados acima da altura da coluna de minério após sua compactação. Por outro lado, para o *sinter feed* o tempo de drenagem foi relativamente superior. No caso de dreno lateral inferior, a coluna de minério acima tende a ser responsável pelo bloqueio da superfície de drenagem pela compactação do minério, obstruindo quase totalmente a passagem de água no caso do *sinter feed*. Para o *pellet feed*, o tempo de drenagem aumentou também consideravelmente em relação ao dreno superior, apesar da compactação. Portanto, a inserção de drenos na parte superior de vagões para transporte de minério de ferro que sofram com acúmulo de água livre no deslocamento ferroviário tende a ser efetiva, mas o uso de manta geotêxtil ainda carece de uma avaliação mais aprofundada a respeito de entupimentos e duração da efetividade.

5. 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.

6. REFERÊNCIAS

ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. **O setor ferroviário de carga brasileiro**. Informações Gerais, 2024. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

BOGSAN, Marcelo Augusto Valeriano. **Desenvolvimento de uma bancada experimental para estudos de percolação e drenagem de água em minérios**. Dissertação de mestrado, Unisanta, Santos, 2022. Disponível em: https://unisanta.br/wp-content/uploads/2025/04/Teses-Auditoria-Ambiental_14-2022-MARCELO-AUGUSTO-VALERIANO-BOGSAN.pdf. Acesso em: 25 fev. 2026.

CARVALHO, André Simplicio. **A geografia histórica da Estrada de Ferro Vitória a Minas (1904 – 2020): um registro**. Revista: Terra Brasilis, 2021. Disponível em: <https://journals.openedition.org/terrabrasilis/10282>. Aceso em: 25 fev.2026.

FLORENCE, João Batista Cyrino. **Estudo de mecanismos de drenagem de água livre para vagões de minério de ferro**. Dissertação de mestrado, Unisanta, Santos, 2024.

FLORENCE, João Batista Cyrino; TABATA, Gabriel Alcalá; ALBUQUERQUE, Luis Henrique Fernandes de; SANTOS, Leonardo Henriques dos; ROSA, Vitor da Silva; JÚNIOR, Deovaldo de Moraes; BERTELLI, Felipe. **Compactação de minério de ferro pellet feed em bancada experimental e agitador eletromagnético**. In: Anais do VII Simpósio de Engenharia Ferroviária. Anais...Campinas (SP) UNICAMP, 2024.



Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/vii-simposio-de-engenharia-ferroviaria-410736/807440-compactacao-de-minerio-de-ferro-pellet-feed-em-bancada-experimental-e-agitador-eletromagnetico/>. Acesso em: fev. 2026

GARCIA, Beatriz Borges; ALVES, Livia de Souza Alves; TABATA, Gabriel Alcalá; FLORENCE, João Batista Cyrino; BERTELLI, Felipe; Rosa, Vitor da Silva. **Estudo da perda mássica de minério de ferro do tipo Pellet Feed em bancada experimental com drenos de 0,6mm e 1mm de abertura de fresta**. In Anais do XV Cobric. Universidade Santa Cecília, Santos, 2023. Disponível em: <https://unisanta.br/wp-content/uploads/2025/03/anais-xv-cobric.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2026

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.

PELISSARI, Felipe Cesar Sabino. **Bitolas ferroviárias no Brasil: Uma análise da possibilidade de integração da malha nacional**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

REIS, Andressa Nunes. **Aplicações de geossintéticos em barragens de rejeitos**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/38658/1/Aplica%C3%A7%C3%B5esGeossint%C3%A9ticoBarragens.pdf>. Acesso em: mar, 2026.

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 de pellet feed e sinter feed por peneiramento e microscopia**. In Anais do XVI COBRIC, Universidade Santa Cecília, Santos, 2024.

TABATA, G. Alcalá; FLORENCE, J. B. Cyrino; ALBUQUERQUE, L. H. Fernandes de; JÚNIOR, D. de Moraes; ROSA, V. da Silva; Bertelli, F. **Waste of pelet feed in water drainage using scale-down bench testing**. Civil-Comp Conferences, v.7, p.23.1, 2024.

WU, Hao; YAO, Chongkai; LI, Chenghan; MIAO, Maio; ZHONG, Yujian; LU, Yuguan; LIU, Tong. **Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering**. MDPI, vol. 13, ed. 7, set, 2020. Disponível: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/7/1774>. Acesso em: 25 fev. 2026.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF COVERING DRAINS WITH GEOTEXTILE MEMBRANE IN IRON ORE DRAINAGE

ABSTRACT

Iron ores classified as pellet feed and sinter feed are among the most commercially traded products and are widely transported through the Brazilian railway network. The wagons



used for this purpose are of the gondola type and have an open-top configuration, which facilitates and accelerates loading and unloading operations, but also favours water accumulation during rainy periods. During transportation between the mine and the port, the vibrations generated by rail movement promote compaction of the ore, hindering water percolation through the bulk material toward the drains located at the wagon ends or on the wagon floor. Therefore, part of the water remains accumulated on the surface of the load. Historically, different drain configurations have been tested on both the wagon floor, and the wagon ends in order to mitigate this issue. Among the factors influencing drainage efficiency, the type of slot adopted in the drains is particularly relevant. Very narrow openings may become clogged due to the transport of fine particles along with the water, whereas wider slots may result in undesirable ore losses. In this context, the present study aimed to evaluate the effectiveness of using a geotextile layer for ore retention and water drainage through laboratory bench-scale tests. For this purpose, an experimental apparatus equipped with controlled vibration and acrylic towers was employed, allowing direct observation of the flow phenomena. The results indicated that the geotextile contributes to ore retention. However, sinter feed exhibited a greater tendency for pore clogging compared to pellet feed, resulting in increased drainage time.

Keywords: *Iron ore, Geotextile, Pellet Feed, Sinter feed, Drainage.*