

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/446

Avaliação do comportamento de um rejeito siltoso de mineração de ferro sob condições não drenadas

Guilherme Schmitt Medina

Doutorando, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, guilhermemedina.sm@gmail.com

Helena Portela Farenzena

Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, helenapfarenzena@gmail.com

Maria Mariana de Sousa Rocha

Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, mariamarianasousa1@gmail.com

Camila da Silva Martinatto

Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, camilamartinatto@hotmail.com

Aghileh Khajeh

Pós-Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, aqilekhajeh@gmail.com

RESUMO: A disposição a seco, um método proeminente na mineração brasileira, envolve a compactação de rejeitos filtrados, em alguns casos sobre rejeitos hidraulicamente depositados em cavas. A dificuldade em obter amostras saturadas desses rejeitos destaca a importância da escolha de métodos adequados de reconstituição. Este estudo avalia a resposta mecânica de rejeitos de minério de ferro siltosos depositados hidraulicamente de uma antiga mina, utilizando dois métodos distintos de preparação: *Moist Tamping* (MT) e *Slurry Deposition* (SD). Ambos os métodos visam o máximo índice de vazios determinado de 1,3. Os ensaios foram realizados utilizando equipamento *simple shear* capaz de medir diretamente a poropressão, garantindo uma análise em tensões efetivas. Os ensaios foram realizados sob condições de carregamento não drenado com configuração de deformação plana. Os resultados indicam comportamento semelhante para MT e SD, com materiais sem pico evidente na curva tensão cisalhante versus deformação cisalhante, com geração de poropressão positiva.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito de minério de ferro, compactação de rejeitos filtrados, cisalhamento não drenado, *Moist Tamping* (MT), *Slurry Deposition* (SD).

ABSTRACT:

Dry stack disposal, a prominent method in Brazilian mining, involves compacted filtered tailings, in some cases over hydraulically deposited tailings in pits. The challenge of obtaining saturated samples of these tailings underscores the importance of selecting appropriate reconstitution methods. This study assesses the mechanical response of silty iron ore tailings hydraulically deposited from a former mine, utilizing two distinct preparation methods: *Moist tamping* (MT) and *Slurry deposition* (SD). Both methods aim for a maximum void ratio of 1.3. The tests were conducted using a *simple shear* apparatus capable of directly measuring pore pressure, ensuring an analysis under effective stresses. The tests were performed under undrained loading conditions with a plane strain deformation setup. The results indicate similar behavior for MT and SD, with materials showing no clear peak in the shear stress versus shear strain curve, along with positive pore pressure generation.

KEYWORDS: Iron ore tailings, compacted filtered tailings, undrained shear, *Moist Tamping* (MT), *Slurry Deposition* (SD).

1. INTRODUÇÃO

Os rejeitos de mineração são constituídos de partículas de rocha triturada resultantes do processamento de minérios, que apresentam características variáveis e dependentes da composição do minério de origem e dos processos de extração (Kossoff et al., 2014; Li and Coop, 2019). Nas últimas décadas, houve um aumento substancial no volume de rejeitos (Carneiro et al., 2023), por exemplo, de acordo com o FEAM (Agência Ambiental do Estado de Minas Gerais), em 2017, foram produzidos 562 milhões de toneladas de rejeitos de mineração, apenas no estado de Minas Gerais, Brasil. Neste contexto, emerge a necessidade de estudo de diferentes metodologias de descarte, que visam minimizar o consumo de energia, ao mesmo tempo que atendem aos padrões técnicos e ambientais (Servi et al., 2022; Rissoli et al., 2023; Guedes et al., 2024). Um método global prevalente envolve o descarte de rejeitos em forma de polpa, dispostos com baixo teor de sólidos e alto teor de umidade por meio de disposição hidráulica em barragens de contenção. As condições de processamento, transporte e disposição, frequentemente resultam em rejeitos saturados, com um alto índice de vazios, tornando o sistema potencialmente instável e suscetível a processos de liquefação estática e/ou dinâmica (Ding et al., 2023; Festugato et al., 2015; Servi et al., 2022; Wijewickreme et al., 2005).

Acidentes ocorridos em barragens a montante, nas últimas décadas, forçaram uma mudança na forma como projetos e pesquisas são conduzidos em todo o mundo. Catástrofes como a Barragem Mount Polley (2014) no Canadá (Morgenstern et al., 2015), a Barragem Fundão (2015) no Brasil (Morgenstern et al., 2016) e a Barragem Brumadinho (2019), também no Brasil (Robertson et al., 2019), ocorreram sob intensa inspeção e avaliação de segurança (Velten et al., 2022). A frequência elevada de rupturas em barragens de rejeitos destacou a necessidade urgente de aprimorar a segurança em seu projeto e operação. Neste contexto, o empilhamento a seco se apresenta como um método emergente para armazenamento de rejeitos, já que permite promover benefícios à disposição, como melhorar a estabilidade e densidade dos depósitos, além de reduzir a contaminação da água superficial e subterrânea (Consoli et al., 2022). Isto se deve à utilização de materiais filtrados e compactados na formação das pilhas. Entretanto para a realização de empilhamentos a seco é necessário o conhecimento das características e comportamento do material em questão. Estudiosos (Morgenstern et al., 2016; Robertson et al., 2019) enfatizam a crescente conscientização sobre a necessidade imperativa de caracterizar confiavelmente os rejeitos, com o intuito de evitar a recorrência de eventos catastróficos. Nesse contexto, determinar o método ideal para avaliar as propriedades “in situ” dos rejeitos de mineração continua sendo uma lacuna de pesquisa, dadas as incertezas em torno desse tópico (Been et al., 1992; Daliri et al., 2015; Vaid and Pillai, 1992; Vaid and Sivathayalan, 2001). Além disso, a permanente dificuldade em obter amostras saturadas e não perturbadas “in situ” amplia a importância do estudo de métodos de reconstituição.

Devido aos desafios inerentes em obter dados precisos para rejeitos arenosos/siltosos, Reid e Fanni (2022) afirmam que a pesquisa laboratorial neste domínio pode ser abordada efetivamente por meio da exploração dos vários métodos de moldagem de amostras em laboratório, garantindo que a densidade e a estrutura do material se assemelhem, de perto, às que ocorrem “in situ” (Al-Tarhouni et al., 2011; Carraro and Prezzi, 2008; Daliri et al., 2015; Vaid and Sivathayalan, 2001). Nesse contexto, o método *Moist Tamping* (MT) é frequentemente preferido devido à sua simplicidade e aplicabilidade a rejeitos siltosos em densidades baixas, gerando segregação mínima. Essa adoção generalizada do MT na prática da engenharia é provavelmente atribuída à sua eficácia em lidar com esses desafios específicos (Morgenstern et al., 2016; Robertson et al., 2019).

A pesquisa sobre métodos de preparação de amostras para solos arenosos/siltosos e rejeitos, especialmente a abordagem conhecida como *Slurry Deposition* (SD), tem sido ativamente buscada como uma alternativa à técnica de MT (Carraro and Prezzi, 2008; Chang et al., 2011; Høeg et al., 2000; Krage et al., 2020). Em uma visão abrangente, Fanni et al. (2022) destacam as vantagens da técnica de SD, incluindo uniformidade aprimorada e a potencial replicação mais fiel da estrutura “in situ”. No entanto, esses benefícios são contrastados com a principal limitação da SD, ou seja, a dificuldade inerente na preparação de espécimes em densidades muito baixas.

A compreensão contemporânea do comportamento dos rejeitos e dos diversos métodos de preparação de amostras em laboratório permanece uma preocupação científica crucial. Sendo uma lacuna de conhecimento o comportamento de rejeitos siltosos não plásticos, especialmente no contexto de rejeitos dispostos hidraulicamente. Desta maneira esta pesquisa, objetiva avaliar ensaios *simple shear* monotônicos aplicados ao mesmo material sobre dois métodos de moldagem (MT e SD), a fim de investigar as propriedades mecânicas estáticas de amostras de rejeito de mineração de ferro.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Rejeito de Mineração

Os rejeitos de minério de ferro (RMF) foram obtidos no Quadrilátero Ferrífero, localizado na província de Minas Gerais, Brasil. A caracterização do material (Figura 1 e Tabela 1) foi realizada determinando seu peso unitário de sólidos (D854 (ASTM 2014)), limites de Atterberg (D4318 (ASTM 2017b)) e distribuição granulométrica (D7928 (ASTM 2017c)). Os RMF foram classificados como silte com baixa plasticidade, de acordo com a classificação UCS (ASTM 2017a, b, c).

Tabela 1 - Características físicas do rejeito de minério de ferro

Propriedades	RMF
Limite de liquidez (%)	-
Limite de plasticidade (%)	-
Índice de plasticidade (%)	Não-plástico
Peso específico das partículas (kN/m ³)	33.0
Areia média (0.2 mm < diâmetro < 0.6 mm) (%)	0.3
Areia fina (0.06 mm < diâmetro < 0.2 mm) (%)	17.6
Silte (0.002 mm < diâmetro < 0.06mm) (%)	72.9
Argila (diâmetro < 0.002 mm) (%)	9.2
SUCS classificação (ASTM 2017a, b, c)	ML

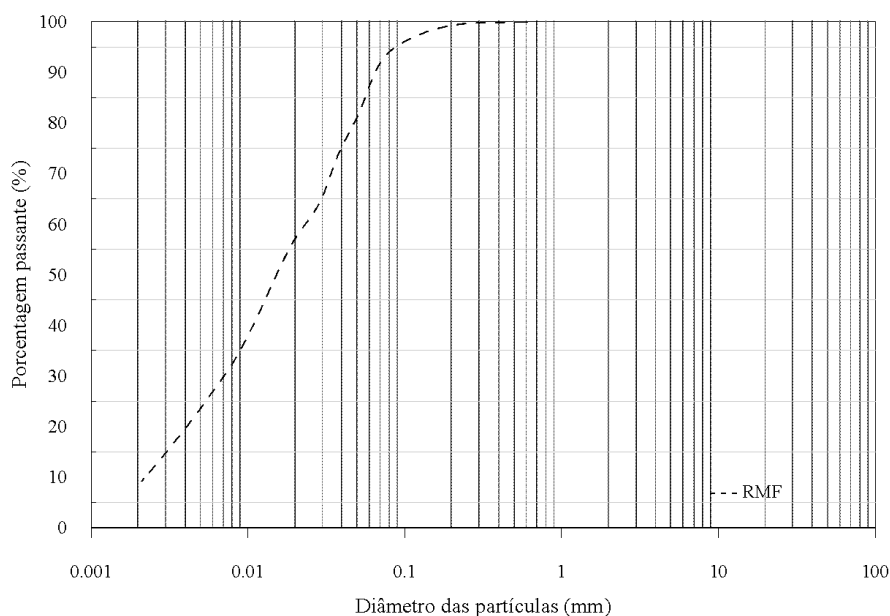


Figura 1 - Curva granulométrica do rejeito de minério de ferro

Preparação da Amostra - MT

Para os ensaios *simple shear*, foram utilizados espécimes com um diâmetro de 100 mm e uma altura de 50 mm. O índice de vazios máximo foi determinado de acordo com ASTM D 4254-17, método B, que demonstrou eficácia na determinação do índice de vazios máximo de areias siltosas, conforme relatado por Salgado et al. (2000), e em conformidade com a recomendação de Carraro e Prezzi (2008) para a determinação do maior índice de vazios. Neste estudo, o índice de vazios máximo alvo foi fixado em 1,3, alinhando-se com as diretrizes estabelecidas. Conseqüentemente, um peso unitário seco de 14,3 kN/m³ foi aplicado. As amostras de MT foram moldadas com um teor de umidade de 12%, seguindo o método de subcompactação proposto por Ladd (1978). Os espécimes considerados adequados para teste atenderam aos seguintes critérios: grau de compactação entre 99% e 101%; teor de água dentro de 0,5% do valor alvo; diâmetro dentro de 0,5 mm do valor alvo; e, altura dentro de 1 mm do valor alvo.

Preparação da Amostra – SD

Atualmente, existem dois métodos distintos baseados SD para a preparação de amostras - um projetado para areias com pouca quantidade de finos (Carraro e Prezzi, 2008) e outro para materiais com maior teor de silte (Chang et al., 2011). Neste estudo, amostras de SD foram preparadas utilizando um método semelhante ao delineado por Chang et al. (2011), com adaptações mínimas para se adequar à natureza não plástica do material. O equipamento de preparação da amostra incluía um tubo misturador, membrana de látex e molde dividido, complementado por um aparato de vácuo apropriado. O procedimento envolveu a mistura de rejeitos com água destilada e despejo da mistura no molde dividido. Antes do processo de aparagem, a aplicação de vácuo persistiu por aproximadamente 30 minutos para minimizar o impacto da segregação nas bordas, alinhando-se com a sugestão de Carraro e Prezzi (2008). Adaptações importantes foram necessárias devido à maior dificuldade na preparação da amostra dentro do equipamento *simple shear*. Enquanto Chang et al. (2011) utilizaram batidas no molde dividido para melhorar a uniformidade da camada para corpos de prova de ensaios triaxiais, neste estudo não foi viável realizar diversas camadas durante a moldagem, devido à menor altura da amostra de ensaios *simple shear*. No entanto, dimensões consistentes para os espécimes - 100 mm de diâmetro e 50 mm de altura - foram alcançadas, considerando um índice de vazios de 1,3.

Ensaio Simple Shear

Os ensaios *simple shear* foram realizados em um dispositivo desenvolvido por Corte et al. (2017). Neste equipamento, o corpo de prova é envolto em uma membrana de látex não reforçada dentro de uma célula pressurizada. Para impor condições de deformação plana, durante o cisalhamento, a altura da amostra é fixada, o que, combinado com as condições não drenadas de volume constante, impede qualquer alteração na área

transversal. Como o corpo de prova está sob condições de volume constante e deformação plana, torna-se possível a rotação da tensão principal - frequentemente representativo de estados de tensões em situações típicas de campo. No equipamento utilizado neste estudo, é possível medir diretamente, com transdutores de pressão, as pressões confinantes e de poropressão durante todo o ensaio, o que permite avaliar os resultados verdadeiramente em termos de tensões efetivas.

Procedimento do ensaio

As etapas do ensaio *simple shear* são semelhantes às de um ensaio triaxial. Para permitir a aplicação de contrapressão no corpo de prova, foi utilizada uma membrana de látex (0,5 mm). Além disso, incrementos de pressão confinante e contrapressão foram aplicados à amostra até um parâmetro B satisfatório (pelo menos 0,97 após Skempton (1954)). Os testes monotônicos foram realizados em corpos de prova saturados com pressões verticais efetivas iniciais de 50 kPa. Os testes foram realizados em condições não drenadas, com uma taxa de deslocamento horizontal de 0,1 mm/min, equivalente a uma taxa de deformação de cisalhamento constante de cerca de 0,2%/min.

3. RESULTADOS

A Figura 2 revela os resultados dos ensaios *simple shear* conduzidos em amostras moldadas com MT e SD, submetidas a um regime monotônico com nível inicial de tensão vertical efetiva de 50 kPa. Especificamente, a Figura 2.a apresenta a relação entre tensão cisalhante e deformação cisalhante, enquanto a Figura 2.b ilustra a relação entre tensão cisalhante e tensão vertical efetiva. A Figura 2.c exibe as variações tanto na tensão vertical efetiva quanto no incremento da poropressão em relação à deformação cisalhante. Por fim, a Figura 2.d apresenta a relação entre a tensão cisalhante e a tensão vertical efetiva em relação à deformação cisalhante. Observa-se que os ensaios de MT (representados pela coloração vermelha na Figura 2) que a matriz siltosa, caracterizada por uma alta razão de vazios, não apresentou resistência de pico pronunciada sob condições de *simple shear* não drenado. A tensão de cisalhamento apresentou-se em um nível de 9 kPa e ocorreu a geração de poropressão positiva para aproximadamente 35 kPa ao final do ensaio. Como esperado, a amostra apresenta uma alta tendência à compressão, evidente na poropressão positiva gerada. Esse comportamento é atribuído ao alto índice de vazios alcançado durante o processo de compactação do material (Fourie et al., 2022).

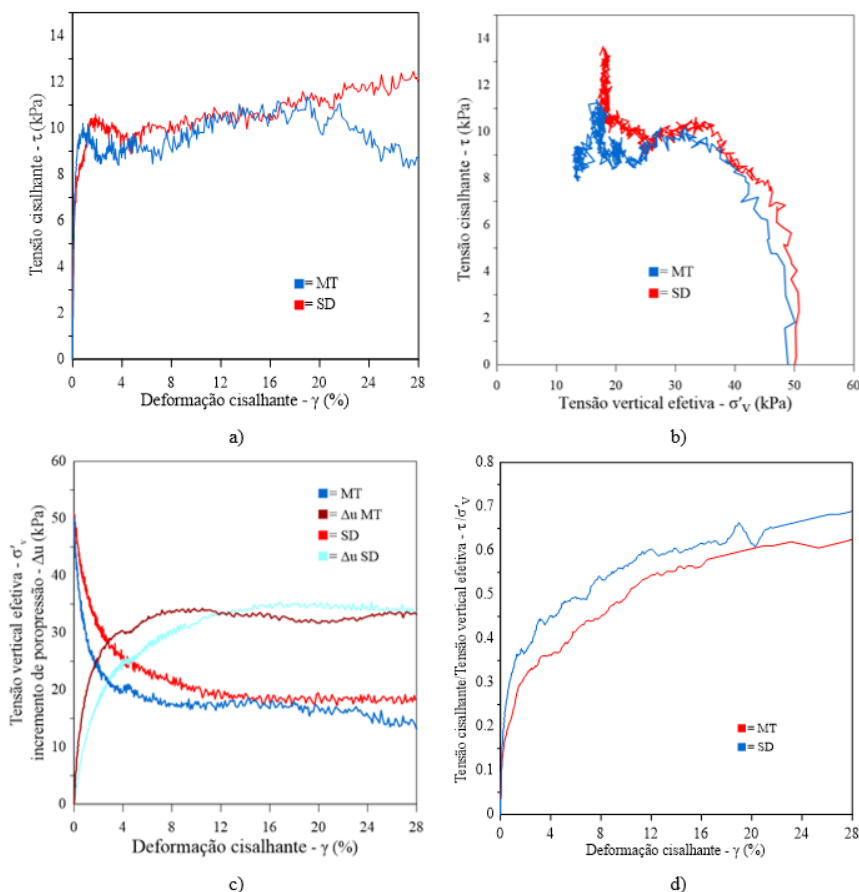


Figura 2 - Ensaio *simple shear*: amostras MT e SD - tensão vertical efetiva inicial de 50 kPa

Na mesma Figura 2, os dados na coloração azul revelam os resultados dos ensaios *simple shear* conduzidos em amostras moldadas com SD e submetidas a um regime monotônico com nível inicial de tensão vertical efetiva de 50 kPa. Ao longo do cisalhamento, o ensaio demonstrou um comportamento contrativo. Similarmente a amostra MT, não apresentou resistência de pico pronunciada sob condições de *simple shear* não drenado. A tensão de cisalhamento apresentou-se em um nível de 11 kPa e ocorreu a geração de poropressão positiva para aproximadamente 33 kPa ao final do teste de 50 kPa. Como esperado, a amostra apresenta uma alta tendência à compressão, evidente na poropressão positiva gerada.

Observa-se um comportamento similar entre os dois ensaios realizados a tensão vertical efetiva de 50 kPa no equipamento *simple shear*. Reid e Fanni (2022) relataram diferenças entre as técnicas MT e SD, assim como a resposta contrativa observada difere do que foi relatado por alguns autores (Li and Coop, 2019; Xu and Coop, 2019). Além disso, ressalta-se que um maior número de ensaios é necessário para que conclusões definitivas sejam traçadas acerca da envoltória de ruptura, ângulo de atrito e demais discussões.

4. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a resposta mecânica dos rejeitos de minério de ferro siltosos depositados hidraulicamente a partir de uma antiga mina, utilizando dois métodos distintos de preparação: *Moist Tamping* (MT) e *Slurry Deposition* (SD). Os principais resultados da pesquisa são listados abaixo:

- No ensaio de *Moist Tamping* (MT), a tensão de cisalhamento se apresentou em um nível de 9 kPa; e ocorreu a geração de poropressão positiva para aproximadamente 35 kPa ao final do ensaio.
- No ensaio de *Slurry Deposition* (SD), a tensão de cisalhamento apresentou-se em um nível de 11 kPa; e ocorreu a geração de poropressão positiva para aproximadamente 33 kPa ao final do ensaio.
- A resposta ao cisalhamento monotônico de ambos os métodos de preparação (*Moist Tamping* - MT e *Slurry Deposition* - SD) exibiu uma natureza compressiva.

- O alto índice de vazios alcançados durante a moldagem do material desempenhou um papel fundamental na geração de poropressão positiva.

Ao considerar o escopo deste estudo, é importante salientar que a pesquisa, focada no comportamento do rejeito de mineração de ferro siltoso, depositado hidraulicamente, é fundamentada no reconhecimento de que o material explorado neste estudo apresenta comportamento mecânico semelhante a solos naturais. As respostas e tendências mecânicas observadas estão alinhadas com o conhecimento estabelecido, encontrado na literatura geotécnica, referente a materiais com distribuições de tamanho de grão comparáveis. Essa correlação chama a atenção para a aplicabilidade potencial das descobertas além do contexto específico de rejeitos depositados hidraulicamente. As semelhanças evidentes com solos naturais não apenas validam os resultados, mas também contribuem para uma compreensão mais profunda do comportamento mecânico desses materiais sob condições de carga estática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-TARHOUNI, M.; SIMMS, P.; SIVATHAYALAN, S. Cyclic behaviour of reconstituted and desiccated–rewet thickened gold tailings in simple shear. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 48, n. 7, p. 1044–1060, jul. 2011.
- ASTM. D2487. 2017. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D2487-17>.
- ASTM. D4254. 2016. Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. ASTM International. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D4254-00>.
- ASTM. D4318. 2018. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>.
- ASTM. D7928. 2017. Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer) analysis. ASTM International. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D7928-21E01>.
- ASTM. D854. 2014. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water Pycnometer. ASTM International. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D0854-14>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- BEEN, K.; JEFFERIES, M. G.; HACHEY, J. The critical state of sands. *Géotechnique*, 41 (3): 365-381, 1992.
- CARNEIRO, J.J.V., MARQUES, E.A.G., VIANA DA FONSECA, A.J.P. et al. Characterization of an Iron Ore Tailing Sample and the Evaluation of Its Representativeness. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 41, n. 5, p. 2833–2852, 23 jul. 2023.
- CARRARO, J. A. H.; PREZZI, M. A New Slurry-Based Method of Preparation of Specimens of Sand Containing Fines. *Geotechnical Testing Journal*, v. 31, n. 1, p. 1–11, 1 jan. 2008.
- CHANG, N.; HEYMANN, G.; CLAYTON, C. The effect of fabric on the behaviour of gold tailings. *Géotechnique*, v. 61, n. 3, p. 187–197, mar. 2011.
- CONSOLI, N. C., VOGT, J. C., SILVA, J. P. S., CHAVES, H. M., SCHEUERMANN FILHO, H. C., MOREIRA, E. B., & LOTERO, A. Behaviour of Compacted Filtered Iron Ore Tailings-Portland Cement Blends: New Brazilian Trend for Tailings Disposal by Stacking. *Applied Sciences*, 12(2), 836, 2022.
- CORTE, M. B.; FESTUGATO, L.; CONSOLI, N. C. Development of a Cyclic Simple Shear Apparatus. *Soils and Rocks*, v. 40, n. 3, p. 279–289, 20 dez. 2017.
- DALIRI, F.; SIMMS, P.; SIVATHAYALAN, S. Discussion of “Stiffness and Strength Governing the Static Liquefaction of Tailings” by F. Schnaid, J. Bedin, A. J. P. Viana da Fonseca, and L. de Moura Costa Filho. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 141, n. 9, set. 2015.
- DING, Y. et al. Study on the Fine Particle Migration Characteristics of Silty Clay Under Cyclic Loading. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 41, n. 8, p. 4549–4558, 27 nov. 2023.

- FESTUGATO, L.; CONSOLI, N. C.; FOURIE, A. Cyclic shear behaviour of fibre-reinforced mine tailings. *Geosynthetics International*, v. 22, n. 2, p. 196–206, abr. 2015.
- FOURIE, A., VERDUGO, R., BJELKEVIK, A., TORRES-CRUZ, L. A., & ZNIDARCIC, D. Tailings – State of the art. In: *Proceedings of the 20th ICSMGE-State of the Art*, Rahman and Jaksa (Eds), Australian Geomechanics Society, 121-183, 2022.
- GUEDES, J. P. C. et al. Mechanical Behaviour of Fibre-Reinforced Cemented Iron Ore Tailings Across the Compaction Curve. *Geotechnical and Geological Engineering*, 11 jan. 2024.
- HØEG, K.; DYVIK, R.; SANDBÆKKEN, G. Strength of Undisturbed versus Reconstituted Silt and Silty Sand Specimens. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 126, n. 7, p. 606–617, jul. 2000.
- KOSSOFF, D. et al. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, v. 51, p. 229–245, dez. 2014.
- KRAGE, C. P. et al. Slurry Deposition Method of Low-Plasticity Intermediate Soils for Laboratory Element Testing. *Geotechnical Testing Journal*, v. 43, n. 5, p. 1269–1285, 1 set. 2020.
- LI, W.; COOP, M. R. Mechanical behaviour of Panzhihua iron tailings. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 56, n. 3, p. 420–435, mar. 2019.
- MORGENSTERN, N. R.; VICK, S. G.; VIOTTI, C. B.; WATTS, B. D. Fundão Tailings Dam Review Panel. Report on Immediate causes of the failure of the Fundão Dam, 2016.
- MORGENSTERN, N. R.; VICK, S. G.; VAN ZYL, D. V. Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel: Mount Polley tailings storage facility breach report, 2015.
- REID, D.; FANNI, R. A comparison of intact and reconstituted samples of a silt tailings. *Géotechnique*, v. 72, n. 2, p. 176–188, fev. 2022.
- RISSOLI, A. L. C. et al. Dry Stacking of Filtered Iron Ore Tailings: Comparing On-Field Performance of Two Drying Methods. *Geotechnical and Geological Engineering*, 16 nov. 2023.
- ROBERTSON, P. K.; WILLIAMS, D. J.; WARD WILSON, G. Report of the expert panel on the technical causes of the failure of Feijão dam I, 2019.
- SERVI, S. et al. Mechanical response of filtered and compacted iron ore tailings with different cementing agents: Focus on tailings-binder mixtures disposal by stacking. *Construction and Building Materials*, v. 349, p. 128770, set. 2022.
- SKEMPTON, A. W. The Pore-Pressure Coefficients A and B. *Géotechnique*, v. 4, n. 4, p. 143–147, dez. 1954.
- VAID, Y. P.; SIVATHAYALAN, S. Discussion of “Strength of undisturbed versus reconstituted silt and silty sand specimens” by K. Høeg, R. Dyvik, and G. Sandbækken. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 127, n. 11, p. 991–994, 2001.
- VAID, Y. P.; PILLAI, V. S. Discussion: The critical state of sands. *Géotechnique*, v. 42, n. 4, p. 658–660, 1992.
- VELTEN, R. Z. et al. Influence of grading and fabric arising from the initial compaction on the geomechanical characterisation of compacted copper tailings. *Géotechnique*, p. 1–12, 25 out. 2022.
- WIJEWICKREME, D.; SANIN, M. V.; GREENAWAY, G. R. Cyclic shear response of fine-grained mine tailings. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 42, n. 5, p. 1408–1421, 1 out