

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE

ISABELLA SCHNEIDER¹; MARCELA SANTOS²; SAYMON SERVI³; KARINA CAMARGO⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande – isabs2000@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande - marcelacorreasts@gmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul –
saymon_servi@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande – karinaretzlaff@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade industrial de grande relevância no cenário econômico mundial, sendo composta pelo processo de beneficiamento de minerais de interesse, lavra, pesquisa e exploração (LUZ e LINS, 2018). A partir dela, são originados os rejeitos de mineração, que são classificados como materiais geotécnicos não convencionais. Comumente, estes rejeitos são dispostos em barragens de contenção, que devido às práticas de alteamento, estão sujeitos a possíveis rupturas que podem causar impactos ambientais, sociais e econômicos. Assim, tendo em vista que o conhecimento do comportamento do material é importante para a disposição dele, o objetivo deste trabalho é analisar a caracterização geotécnica e os aspectos relacionados à condutividade hidráulica e à resistência ao cisalhamento do rejeito de minério de cobre.

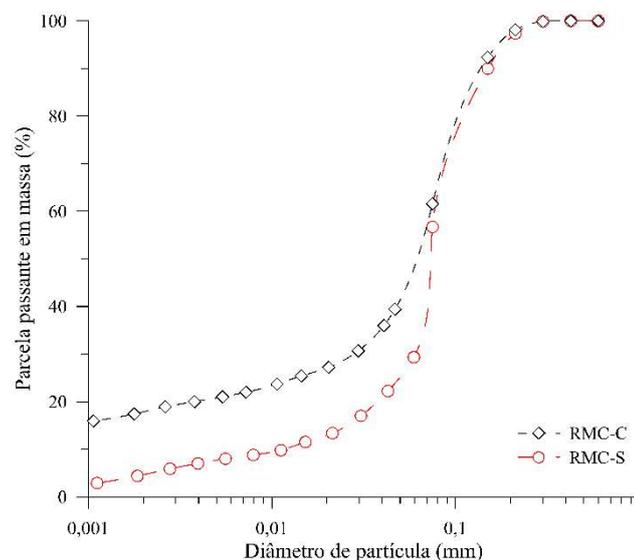
2. METODOLOGIA

Para análise do rejeito, foram realizados ensaios que comumente são empregados a solos convencionais. Dessa forma, foram realizados procedimentos de caracterização geotécnica tradicional, com determinação do peso específico real dos grãos, análise granulométrica e limites de Atterberg. Além disso, realizaram-se ensaios de compactação Proctor na energia normal, intermediária e modificada, seguindo os procedimentos descritos na NBR 7182 (ABNT, 2020). Os índices de vazios máximo e mínimo também foram analisados, em concordância com as recomendações da NBR 16840 (ABNT, 2021) e NBR 16843 (ABNT, 2020). Com base nos resultados obtidos, foram produzidos testes de permeabilidade à carga constante e variável e de resistência ao cisalhamento, perante o ensaio de cisalhamento direto normatizado pela ASTM D3080 (2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do peso específico real dos grãos foi baseada na realização de ensaios em triplicata, utilizando um picnômetro de 500mL. Os resultados evidenciaram um valor médio de 34kN/m³. Este valor está acima dos resultados encontrados para solos convencionais, que se encontram na faixa de 25 a 28kN/m³. Entretanto, encontra-se na ordem de grandeza para rejeitos de mineração, que apresentam valores entre 28 a 36kN/m³. Para análise granulométrica da fração fina do material, foram produzidas sedimentações com e sem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio), a fim de verificar o possível efeito reverso de agregação dos grãos finos do rejeito. Dessa forma, a Figura 1 ilustra as curvas granulométricas do rejeito de minério de cobre com (RMC-C) e sem (RMC-S) o uso do defloculante. Os resultados evidenciam que o agente dispersor contribui para a dispersão das partículas e não causa o efeito reverso de agregação.

Figura 1 - Curvas granulométricas

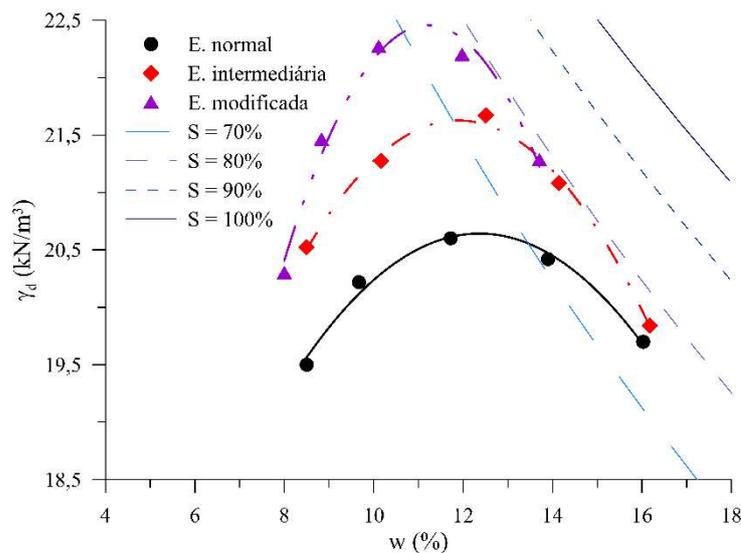


Fonte: Os autores.

As frações granulométricas obtidas foram de 48,9% de areia, 33,2% de silte e 17,9% de argila, sendo classificado texturalmente como uma areia siltosa com argila. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o material é classificado como um silte-arenoso. Já para a classificação *Transportation Research Board* (TRB), o material se enquadra ao grupo A-4(5), considerado um silte não plástico com bom comportamento mecânico em camadas de subleito de rodovias. Em relação aos limites de Atterberg, não foram obtidos resultados para os ensaios de limite de liquidez e de plasticidade, sendo possível inferir que o rejeito analisado apresenta um comportamento não plástico.

Conforme o ensaio de índice de vazios máximo, constatou-se um valor médio de 1,12, este resultado assemelha-se aos encontrados na literatura para areias mal graduadas. Já o ensaio de índice de vazios mínimo, durante seu procedimento, o rejeito fluiu através da interface cilindro-peso, o que impossibilitou esta avaliação. Perante o ensaio Proctor de compactação, na energia normal, foi encontrado um peso específico aparente seco máximo (γ_d) de 20,6kN/m³ e uma umidade ótima (w) de 12,4%. Nas energias intermediária e modificada, os resultados obtidos para peso específico aparente seco máximo foram respectivamente iguais a 21,6 e 22,5kN/m³ e para umidade ótima iguais a 11,9 e 11,2%. Em relação a solos siltsos convencionais, os valores obtidos pela compactação do rejeito não se assemelham aos verificados para estes solos. Entretanto, é importante destacar a relação entre os elevados valores de peso específico aparente seco máximo e o alto valor de peso específico real dos grãos. A Figura 2 ilustra as curvas de compactação produzidas para cada energia, assim como as curvas que representam o grau de saturação (S) nas faixas de 70% a 100%.

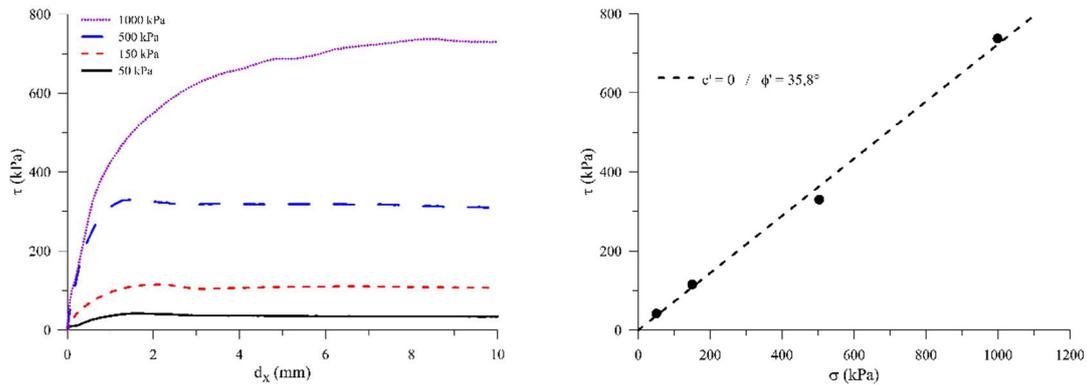
Figura 2 – Curvas de compactação



Fonte: Os autores.

Os valores obtidos pelo ensaio à carga constante e variável foram de $3,4 \times 10^{-7}$ e $3,0 \times 10^{-7}$ m/s, respectivamente, para um peso específico aparente seco de 20,6kN/m³. Conforme o ensaio de cisalhamento direto, foram desenvolvidas as curvas tensão cisalhante (τ) por deslocamento (dx). Estas curvas estão ilustradas na Figura 3, assim como a relação entre tensão normal aplicada (σ) e tensão cisalhante. A partir do critério de ruptura de Mohr-Coloumb, é constatado que o material apresenta coesão efetiva nula e ângulo de atrito de pico efetivo de 35,8°. O ângulo de atrito residual efetivo é da ordem de 34,4°, estando o material desestruturado nesta condição, devido à alta deformação imposta.

Figura 3 – Curvas de tensões



Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

Os resultados verificados neste estudo, permitiram inferir que o rejeito de minério de cobre tem frações de grãos análogas ao de um solo silto-arenoso com presença de argila. Nota-se, pelo ensaio de compactação Proctor, elevados valores de peso específico aparente seco quando comparados a solos convencionais de mesma granulometria, sendo possivelmente justificados pelo alto valor de peso específico real dos grãos. Além destas constatações, conforme o ensaio de cisalhamento direto, não foi verificada coesão e constatou-se um ângulo de atrito de pico efetivo de $35,8^\circ$ e residual de $34,4^\circ$. Por fim, é importante salientar a relevância da aplicação de diferentes métodos para avaliar o comportamento dos rejeitos de mineração, tendo em vista que os acidentes provocados por estes materiais causam danos econômicos, ambientais e sociais difíceis de serem remediados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3080: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions**. 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16840: Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos**. 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16840: Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos**. 2020.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. In: LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap 1, p.3-23.

SERVI, S. P.; SANTOS, M. C.; CAMARGO, K. R.; BASTOS, C. A. B.; CONSOLI, N, C. Comportamento mecânico do rejeito de minério de cobre. **X CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL E IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS**, Salvador, v.1, p. 1-7, 2023.