

Caracterização Geotécnica dos Rejeitos de Mineração das Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul

Isabella Belmudes Schneider

Discente da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande/RS, Brasil, isabs2000@gmail.com

Karina Retzlaff Camargo

Docente da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande/RS, Brasil, karinacamargo@furg.br

Saymon Porto Servi

Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Rio Grande/RS, Brasil, saymon_servi@hotmail.com

Alexandre Felipe Bruch

Docente da Universidade Federal de Pelotas (UFPe), Pelotas/RS, Brasil, afbruch@gmail.com

RESUMO: A mineração é descrita como uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração, lavra e beneficiamento de minérios presentes na crosta terrestre. Dessa atividade, devido à baixa concentração de minérios de interesse associados aos minerais brutos, são originados os rejeitos de mineração. Estes resíduos podem causar impactos sociais e ambientais irreversíveis ao meio em que estão inseridos. Neste contexto, durante cerca de 100 anos as Minas do Camaquã foram cenário da extração do minério de cobre. Sabe-se que no período final de exploração, foi construída uma barragem de rejeitos num meandro do Arroio João Dias, que atualmente encontra-se inativada com seus resíduos expostos. Assim, o presente trabalho tem por objetivo realizar a caracterização geotécnica dos diferentes materiais que compõem os rejeitos de mineração das Minas do Camaquã. Em síntese, os resultados apontam para uma variabilidade granulométrica e no comportamento plástico dos materiais, a qual se entende estar associada ao período de deposição dos rejeitos. Justifica-se esta variação pelas mudanças tecnológicas ocorridas no processo de exploração das jazidas, assim como pelo processo de uma provável evolução pedológica, que nos rejeitos mais antigos pode ser mais significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense, Bacia Sedimentar, Mineração de Cobre, Barragem de Rejeitos, Caracterização Geotécnica.

ABSTRACT: Mining is described as an economic and industrial activity that consists of the research, exploration, mining, and processing of minerals found in the Earth's crust. Due to the low concentration of ores of interest associated with raw minerals, tailings is generated from this activity. This tailings can cause irreversible social and environmental impacts on the environment in which it is found. In this context, the Camaquã Mines were the scene of copper ore extraction for around 100 years. It is known that during the final period of exploitation, a tailings dam was built in a meander of the João Dias stream. The dam is currently inactive and its tailings are exposed. Therefore, this study aims to carry out a geotechnical characterization of the different materials that make up the mining tailings from Minas do Camaquã. In summary, the results point to a variability in the granulometry and plastic behavior of the materials, which is understood to be associated with the period in which the tailings were deposited. This variation is justified by the technological changes that occurred in the process of exploiting the deposits, as well as the process of probable pedological evolution, which in older tailings may be more significant.

KEYWORDS: Crystalline Shield of Rio Grande do Sul, Sedimentary Basin, Copper Mining, Tailings Dam, Geotechnical Characterization.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, no Brasil a indústria de extração mineral possui significativa relevância na economia nacional (CARDOZO *et al.*, 2016). A mineração compreende atividades destinadas a pesquisar, extrair e tratar ou beneficiar recursos minerais, transformando-os atrativos economicamente e socialmente (IBRAM, 2016). No processo de beneficiamento do minério, embora existam técnicas avançadas para tal atividade, inevitavelmente são gerados os rejeitos de mineração.

Os rejeitos ou resíduos de mineração são constituídos por uma combinação de rochas fragmentadas, agentes químicos e água utilizada no processo de beneficiamento (SERVI *et al.*, 2022). Conforme o tipo de minério processado e a forma de tratamento empregada, as características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas do rejeito podem variar (ESPÓSITO, 2000). Estes materiais são normalmente dispostos em barragens ou diques de contenção, que podem ser construídos com o uso de solos, estéreis ou o próprio rejeito (DUARTE, 2008).

As Minas do Camaquã estão localizadas no Escudo Sul-Rio-Grandense, no município de Caçapava do Sul, na porção central do estado do Rio Grande do Sul. A região encontra-se na Bacia do Rio Camaquã, a qual é geologicamente resultante dos processos tectônicos-magmáticos tardios do cinturão Dom Feliciano, sendo um espaço deposicional de diversos tipos de bacias sedimentares (PAIM *et al.*, 2000). A descoberta do minério de cobre (Cu) na região se deu em meados de 1870, quando o proprietário das terras daquela localidade constatou rochas distintas com tonalidades esverdeadas (PAIM *et al.*, 2000). Conforme Andrade *et al.* (2001), o cobre pode ser encontrado na forma oxidada de baixo teor, localizado nas camadas mais superficiais da crosta terrestre, ou sulfetado de elevado teor, presente em camadas mais profundas da crosta. Entre algumas de suas utilizações na indústria, destaca-se a confecção de fios e cabos elétricos, devido a sua excelente capacidade de condução de eletricidade e calor (MATIAS *et al.*, 2007).

O esgotamento das reservas de interesse na região ocorreu por volta da década de 1990. Entretanto, até este período as minas foram exploradas por organizações nacionais e estrangeiras (SILVA, 2019). Sabe-se que no período final de exploração, foi construída uma barragem de rejeitos num meandro do arroio João Dias, afluente do Rio Camaquã. O volume de rejeito medido na estrutura de contenção é de cerca de 4.243.310 m³, ocupando uma área de 157,15 ha (BRUCH, 2014). Atualmente, após quase 30 anos do fim da exploração, os rejeitos provindos das atividades de extração continuam expostos na localidade.

Segundo Andrade *et al.* (2016), ainda que inativas, as barragens de rejeitos são fontes de impactos ao meio físico, biológico e socioeconômico. Trindade *et al.* (2015) destaca que a incorporação desses rejeitos em outros setores é uma alternativa viável e ecologicamente correta, pois reduz o volume de materiais descartados na natureza e contribui com a redução da exploração de recursos naturais. Nesse sentido, a caracterização geotécnica desses materiais tem relevância para compreensão de seus comportamentos e para obtenção de parâmetros numa possível reutilização em projetos de engenharia (BACCO, 2020). Dentro deste contexto, este trabalho tem por objetivo dar início à pesquisa sobre a possibilidade de uso geotécnico alternativo para o rejeito de mineração das Minas do Camaquã. Especificamente são apresentados neste trabalho a identificação e caracterização geotécnica dos diferentes materiais que compõem os rejeitos de mineração daquela localidade.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Inicialmente foi realizada uma saída de campo à região das Minas do Camaquã, na qual foi observada a variabilidade, por técnicas tátil-visuais, dos rejeitos encontrados tanto diretamente no leito do arroio João Dias, quanto do encontrado na barragem. Por isso, foram coletadas manualmente oito diferentes amostras deformadas de rejeitos de mineração da região das Minas do Camaquã. A Tabela 1 apresenta as coordenadas projetadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) de cada ponto de coleta das amostras deformadas e a Figura 1 o mapa de localização destes pontos.

Tabela 1. Coordenadas projetadas UTM

Amostra	Coordenadas	
P1	6.577.602 mN	267.762 mE
P2	6.577.629 mN	267.746 mE
P3	6.577.630 mN	267.753 mE
P4	6.577.554 mN	267.634 mE
P5	6.578.537 mN	268.350 mE
P6	6.578.115 mN	268.838 mE
P7	6.577.192 mN	269.033 mE
P8	6.577.215 mN	268.958 mE

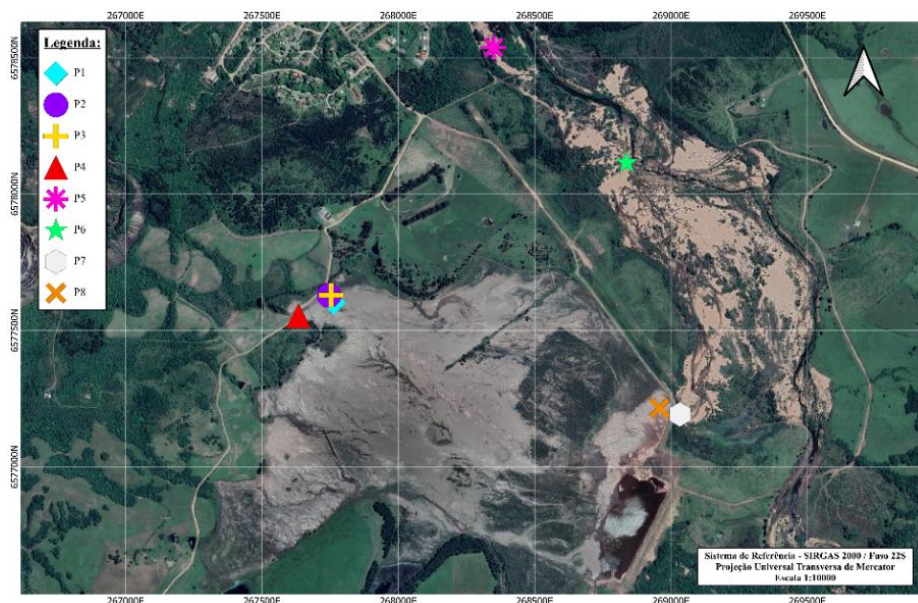


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras

Posteriormente à coleta, os materiais foram acondicionados em recipientes e transportados para o Laboratório de Geotecnia e Concreto Prof. Dr. Claudio Renato Rodrigues Dias da Universidade Federal do Rio Grande (LGC-FURG), onde foi realizada a pesquisa. No laboratório, as amostras foram colocadas em estufas a 100 °C e a 60 °C. Os rejeitos com maiores teores de matéria orgânica, que se encontravam em campo próximos à superfície terrestre, foram mantidos em estufa a 60 °C, com o propósito de impedir a queima do material orgânico.

2.2 Métodos

Conceitualmente, solos são produtos da decomposição por agentes químicos e físicos das rochas que compõem a crosta terrestre (PINTO, 2006). Nesse sentido, Servi *et al.* (2022) classificam os rejeitos como materiais geotécnicos não convencionais, pois não possuem significativa evolução pedológica. Entretanto, é comum na literatura a realização de experimentos que avaliam o comportamento de materiais convencionais para analisar rejeitos de mineração, conforme realizado por este trabalho. Assim, foram realizados ensaios de caracterização geotécnica perante os procedimentos prescritos para solos, com determinação do peso específico real dos grãos, por ensaio de picnômetro, dos limites de Atterberg e da distribuição granulométrica das amostras de rejeito.

Inicialmente, foi determinado o peso específico real dos grãos, conforme a NBR 6458 (ABNT, 2016). Por conseguinte, foram realizados os ensaios de limites de Atterberg, para determinação do limite de liquidez e do limite de plasticidade, conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente. Desses ensaios, foram determinados o índice de plasticidade e o índice de atividade coloidal. Para análise da distribuição granulométrica, foram seguidos os procedimentos descritos pela NBR 7181 (ABNT, 2016), a qual normatiza a realização dos ensaios de peneiramento e sedimentação.

A NBR 7181 (ABNT, 2016) indica a utilização do hexametáfosfato de sódio como agente dispersor para deflocular os grãos, com o propósito de garantir que o resultado do ensaio esteja de acordo com a real distribuição granulométrica do material. Entretanto, Senft *et al.* (2011) destacam a possibilidade de interferência nos resultados devido a interação química das partículas de rejeito e o agente dispersor. Perante este relato, foram produzidos ensaios com e sem o uso do defloculante, a fim de avaliar e comparar os efeitos químicos na dispersividade dos grãos finos do rejeito. Conforme os ensaios de peneiramento, sedimentação e limites de Atterberg, foi realizada a classificação geotécnica textural, pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) (ASTM D2487, 2017) e pelo sistema *Highway Research Board* (HRB) (ASTM D3282, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados do peso específico real dos grãos (γ_s). Observa-se resultados variando entre 26,0 kN/m³ e 28,0 kN/m³. Nierwinski (2019) destaca a influência da presença de elementos metálicos na composição de rejeitos de mineração, que acabam contribuindo no aumento dos valores da massa específica real dos grãos quando comparados a solos convencionais. Em relação aos materiais estudados no presente trabalho, acredita-se que os valores observados sejam oriundos de baixos teores de metais de elevada densidade (*e.g.*, ferro e cobre), uma vez que os resultados não se diferenciam dos normalmente encontrados para areias quartzosas.

Tabela 2. Peso específico real dos grãos

Amostra	Peso Específico Real dos Grãos (kN/m ³) - γ_s
P1	26,9
P2	26,2
P3	26,9
P4	28,1
P5	26,2
P6	26,6
P7	26,5
P8	26,7

Servi (2022), a partir de uma vasta revisão bibliográfica, apresenta como ordem de grandeza comumente encontrada para rejeitos de mineração valores de peso específico real dos grãos na faixa entre 28 kN/m³ e 36 kN/m³, o que não confere com a maioria dos resultados obtidos para as oito amostras de rejeito ensaiadas. Vale salientar que características como tipo de minério extraído, de beneficiamento adotado e de tratamento químico alteram as características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas do rejeito, o que torna o rejeito um material distinto que pode diferir daqueles produzidos em outras localidades e condições (NIERWINSKI, 2019).

As Figuras 2 e 3 ilustram as curvas granulométricas produzidas de cada uma das amostras deformadas, com (C) e sem (S) o uso do defloculante no ensaio de sedimentação, respectivamente. Comparando-se as duas figuras, observa-se que as curvas produzidas sem o uso de defloculante apresentam uma parcela menor de grãos finos de rejeito quando comparadas aos ensaios em que se utilizou o agente dispersor. Isto denota que o agente não causou o efeito descrito por Senft *et al.* (2011). Tendo isto em vista e o fato de que as normas técnicas brasileira preconizam a utilização do agente químico dispersante, a Tabela 3, onde ϕ

representa o diâmetro equivalente dos grãos, apresenta as frações granulométricas das amostras obtidas através de ensaios com uso do agente.

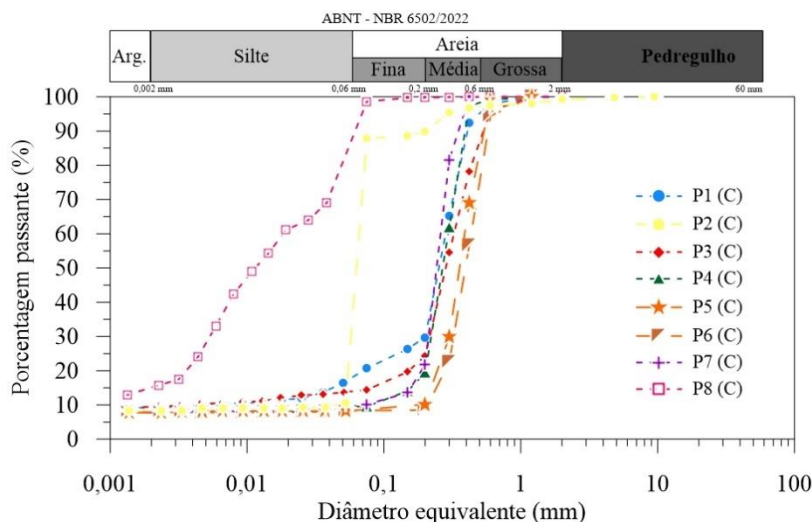


Figura 2. Curvas granulométricas com defloculante

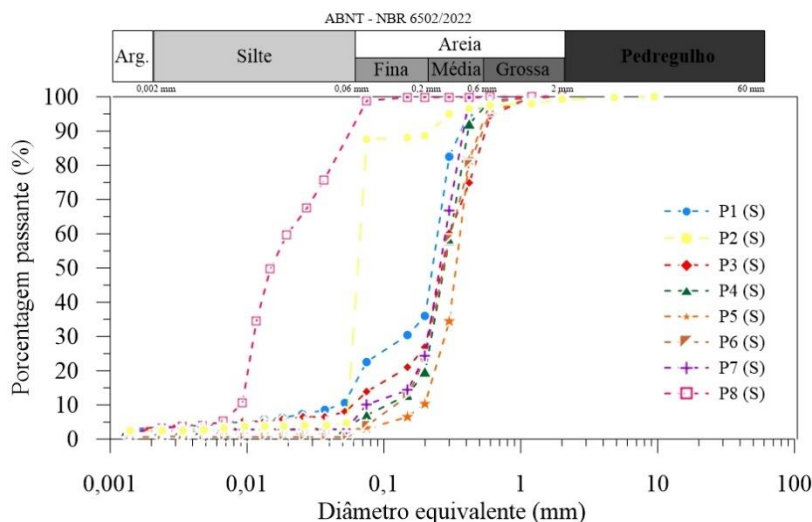


Figura 3. Curvas granulométricas sem defloculante

Observa-se que, especialmente, a amostra P8 apresenta composição das frações granulométricas bastante diferente das demais amostras, com fração silte significativamente maior, em detrimento da fração areia. Justifica-se esta ocorrência pela localização do rejeito, o qual fica bastante distante da zona de despejo dos rejeitos na barragem.

Tabela 3. Frações granulométricas das amostras com hexametáfosfato de sódio

Amostra	Areia (%)		Argila (%)
	$0,06\text{mm} < \phi \leq 2\text{mm}$	$0,002\text{mm} < \phi \leq 0,06\text{mm}$	$\phi \leq 0,002\text{mm}$
P1	82	8	10
P2	70	29	1
P3	86	5	9
P4	90	2	8
P5	91	1	8
P6	91	1	8
P7	90	2	8
P8	10	75	15

A Tabela 4 apresenta a classificação textural, HRB e SUCS das amostras. Texturalmente, as amostras P1 a P7 são classificadas como areia argilo-siltosa e areia silto-argilosa. Assim, a única contrastante é a amostra P8, a qual é classificada como um silte argilo-arenoso. A amostra P2, conforme classificação textural, apresenta como proporção maior a fração de areia. Já pelo SUCS, a amostra é classificada como um silte orgânico. Embora a fração siltosa identificada pela classificação textural não seja irrelevante, os grãos arenosos são demasiadamente maioria, o que não se pode notar pela classificação SUCS. Semelhantemente, a amostra P8, perante a classificação textural, é dita como um silte argilo-arenoso e pelo SUCS é definida como uma argila pouco plástica. Como justificativa para estas variações, pode-se dizer que por tratar-se de um material geotécnico não-convencional, rejeitos de mineração nem sempre se adequam às classificações comumente adotadas para solos, além do fato das classificações internacionais considerarem como solos siltosos materiais com diâmetro menor ou igual a 0,074mm.

Tabela 4. Classificações geotécnicas das amostras com hexametáfosfato de sódio

Amostra	Classificação Textural	Classificação HRB	Classificação SUCS
P1	Areia argilo-siltosa	A-2-4 (0)	Areia siltosa (SM)
P2	Areia silto-argilosa	A-8 (0)	Silte orgânico (OL)
P3	Areia argilo-siltosa	A-2-4 (0)	Areia siltosa (SM)
P4	Areia argilo-siltosa	A-3 (0)	Areia mal graduada (SP)
P5	Areia argilo-siltosa	A-3 (0)	Areia mal graduada (SP)
P6	Areia argilo-siltosa	A-3 (0)	Areia mal graduada (SP)
P7	Areia argilo-siltosa	A-3 (0)	Areia mal graduada (SP)
P8	Silte argilo-arenoso	A-6 (10)	Argila pouco plástica (CL)

Em relação a classificação pelo sistema *Highway Research Board*, conforme explicita a ASTM D3282 (2015), materiais do grupo A-2-4 e A-3 apresentam boa capacidade de suporte quando utilizados em camadas de subleitos para pavimentos. Ademais, materiais do grupo A-6 apresentam mudanças de volume quando estão em estados seco e úmido e são considerados de fraco suporte para subleitos. Já o grupo A-8, baseia-se na inspeção visual da presença de matéria orgânica e são ditos inadequados para utilização em aterros e subleitos.

Quanto a definição do índice de grupo das amostras, perante a ASTM D3282 (2015) materiais que não apresentam plasticidade devem ser atribuídos do índice de grupo zero. A norma também declara que solos com valores de índice de grupo próximos de zero apresentam ótima capacidade de suporte e solos com índices próximos de vinte indicam baixo suporte para subleitos de pavimentos. O rejeito P8, foi o único material a apresentar plasticidade, sendo possível verificar índice de grupo diferente de zero. Destaca-se que o índice de grupo encontrado para a amostra P8, verificado na Tabela 4, resume um material com mediana aplicabilidade em sistemas de pavimentação.

Em comparação com a classificação geotécnica textural, a classificação pelo sistema HRB não apresentou nítidas desconformidades. Só houve discordância em relação ao material oito. Pelo HRB, trata-se de um solo com fração maior em grãos de argila, quanto texturalmente refere-se a um silte argilo-arenoso. Já quando comparada à classificação pelo SUCS, foram evidenciados resultados semelhantes pelos dois métodos, o que possivelmente está associado à consideração do fator plasticidade na classificação.

A única amostra que apresentou limites de plasticidade foi a P8. O material encontra-se na crista da barragem de rejeitos, a qual foi construída no período final de exploração das minas, num meandro do Arroio João Dias. Foi encontrado, como limite de liquidez, o teor de umidade de 33% e como limite de plasticidade,

o teor de 19%. O índice de plasticidade é de 14% e o índice de atividade coloidal é de 0,93, sendo um material medianamente plástico e de atividade coloidal normal. Conforme Soares (2010), normalmente o índice de plasticidade de rejeitos de mineração não atinge resultados maiores que 25%, o que concorda com o índice verificado para a amostra P8.

Das demais amostras, não foi possível verificar resultados para limite de liquidez e plasticidade. Durante o ensaio para determinação do limite de liquidez, utilizando o aparelho de Casagrande, os rejeitos fluíram pela interface do aparelho já nos primeiros golpes efetuados. Essa condição não se alterou mesmo variando a umidade das amostras em algumas tentativas. Já o limite de plasticidade, não foi possível verificar resultados em virtude da impossibilidade de conferir o modelo cilíndrico proposto pela NBR 7180 (ABNT, 2016), devido aos baixos teores de coesão entre os grãos do material. Estes resultados denotam o comportamento não-plástico de sete dos oito rejeitos avaliados.

A não plasticidade dos materiais está relacionada com a forma dos grãos. A forma lamelar, frequentemente característica em argilas, apresenta uma distribuição de cargas não uniforme. Essa não uniformidade facilita a atração entre partículas e confere a plasticidade ao material. Partindo desse princípio, em rejeitos de mineração, normalmente, não verifica-se essa atração iônica entre os grãos pois a maioria dos rejeitos resultantes de processos de beneficiamento não apresentam plasticidade (SOARES, 2010).

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados apresentados neste trabalho, foi constatado que, texturalmente as frações granulométricas das amostras do rejeito de minério de cobre são, em maioria, análogas a areias. As classificações geotécnicas obtidas pelo Sistema Único de Classificação de Solos e pelo *Highway Research Board* se assemelham, sendo verificadas algumas variações quando comparadas à classificação textural. Em relação aos limites de consistência, os materiais não apresentaram plasticidade, exceto a amostra coletada na crista da barragem de rejeitos, que apresentou 33% de limite de liquidez e 19% de limite de plasticidade. Ademais, os ensaios utilizando picnômetro evidenciaram valores entre 26 kN/m³ a 28 kN/m³ de peso específico real dos grãos dos oito rejeitos ensaiados.

Em suma, os resultados constataram materiais finos com baixa ou mediana coesão entre os grãos. Destaca-se que materiais granulares finos são mais suscetíveis a fenômenos de liquefação, quando em condição saturada e não-drenada. Dessa forma, é importante salientar a importância dos estudos envolvendo rejeitos de mineração, a fim de evoluir no conhecimento a respeito do comportamento desses materiais e assim, prevenir desastres sociais, econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, L. C. R., Marques, E. A. G., Peixoto, R. A. F. (2016) Perspectivas para reaproveitamento de rejeitos da mineração do ferro como materiais de construção. *Geografias*, 33 p.
- Andrade, M. L. A., Cunha, L. M. S., Gandra, G. T. (2001) O cobre em ascensão no cenário mundial. *Biblioteca Digital do Banco Nacional do Desenvolvimento*, 67 p.
- ASTM International (2017). ASTM D2487: *Standard test method for classification of soils for engineering purpose – unified soil classification system*.
- ASTM International (2015). ASTM D3282: *Standard practice for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo - determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo - determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502. *Solos e rochas – terminologia*. Rio de Janeiro.
- Bacco, A. P. (2020) *Caracterização física, química, mineralógica e mecânica de um rejeito de mineração*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 10 p.
- Cardozo, F. A. C., Pimenta, M. M., Zingano, A. C. (2016) Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão. *Holos*, 20 (4), 77 p.
- Duarte, A. P. (2008) *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia/ UFMG, 7 p.
- Espósito, T. J. (2000) *Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeitos construídas por aterro hidráulico*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Brasília, 6 p.
- Ferreira, D. B. (2018) *Liquefação de rejeitos de minério de ferro – estudo de caso: sistema pontal em Itabira/MG*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto/ UFOP, 1 p.
- Instituto Brasileiro de Mineração (2016) *Gestão e manejo de rejeitos de mineração*. Brasília, 128 p.
- Matias, M. A., Silva, C. A. T., Vieira, L. (2007) Fractalidade em séries temporais: uma aplicação para uma série histórica de preços de minério de cobre. In: Congresso USP de Controladoria e Contabilidade. *Anais...* v. 7, 4 p.
- Nierwinski, H. P. (2019) *Classificação e comportamento geomecânico de rejeitos de mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ UFRGS, p. 18-30.
- Paim, P. S. G., Lopes, R. C. (2000) Geologia das Minas do Camaquã. *Minas do Camaquã: um estudo multidisciplinar*, 1 ed., Unisinos, São Leopoldo, RS, BR, 111 p.
- Pinto, C., S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, 3ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, BR, 14 p.
- Santos, A. B. P. (2006) *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, 7 p.
- Senft, D., Masala, S., Nik, S., Martens, S., Esposito, G. M., Eaton, T. (2011). Comparison of particle size distributions obtained by laser diffraction and sievehydrometer methods for oil sand tailings. In: Pan-Am CGS Geotechnical Conference, Toronto. *Anais...* v. 14, 7 p.
- Servi, S. P. (2022) *Comportamento mecânico de resíduo de minério de ferro estabilizado com agentes aglomerantes*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, p. 40-41.
- Servi, S. P., Lotero, A., Silva, J. P. S., Bastos, C., Consoli, N. C. (2022). 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*, Elsevier BV, 349, p. 1-14.
- Soares, L. (2010) *Tratamento de Minérios*, 5nd ed., CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ, BR, p. 844.
- Trindade, A. O., Soares, L. O., Neto, R. O., Souza, L. E., Abichequer, L. A., Gonçalves, I. G., Caron, F. (2015). Caracterização dos rejeitos das minas do Camaquã para reaproveitamento sustentável. *Remoa*, 120 p.