

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E GEOMECÂNICA DE UM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Souza ST ¹; Ferreira LD ²; Baudson DRS ³

Resumo – Este estudo apresenta a caracterização física, mineralógica e mecânica de um rejeito de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero (QF), Minas Gerais. Foram realizadas análises granulométricas, ensaios de compactação Proctor Normal, permeabilidade, triaxiais drenados (CID) e adensamento, seguindo as normas técnicas específicas. O material apresentou predominância de areia e silte, baixo teor de argila, umidade ótima de 13% e peso específico máximo seco de 20 kN/m³. Os parâmetros geotécnicos revelaram ângulo de atrito de 35°, coesão nula, e permeabilidade entre $1,10 \times 10^{-4}$ e $1,77 \times 10^{-5}$ cm/s. A análise mineralógica identificou quartzo (85,3%) e hematita (14,0%) como principais constituintes. A curva de adensamento indicou baixa compressibilidade ($C_c=0,0909$), tensão de pré-adensamento de aproximadamente 300 kPa e índice de recompressão igual a $C_r=0,0174$, compatíveis com materiais granulares.

Abstract – This study presents the physical, mineralogical, and mechanical characterization of an iron ore tailings from the Iron Quadrangle (QF), Minas Gerais. Granulometric analyses, Proctor compaction tests at Normal Energy, permeability, drained triaxial (CID) and consolidation were performed, following specific technical standards. The material presented a predominance of sand and silt, with low clay content, and optimum moisture content of 13%, maximum density of 20 kN/m³. The geotechnical configurations revealed a friction angle of 35°, zero cohesion, and permeability between 1.10×10^{-4} and 7.15×10^{-5} cm/s. The mineralogical analysis includes quartz (85.3%) and hematite (14.0%) as the main constituents. The consolidation curve indicated low compressibility ($C_c=0.0909$), pre-consolidation stress of approximately 300 kPa and recompression index equal to $C_r=0.0174$, compatible with granular materials.

Palavras-Chave – Rejeito de minério de ferro; Pilhas drenadas; Comportamento geotécnico; Quadrilátero Ferrífero; Disposição a seco.

Keywords - Iron ore tailings; Dry stacking; Geotechnical behavior; Iron Quadrangle; Dry disposal.

¹ Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, (31)998538539, sabrinatoledo99@yahoo.com.br

² Prof. Dr. Departamento de Engenharia Urbana, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas – NUGEO/UFOP; Universidade Federal de Ouro Preto. (31) 3559-1160, lucas@ufop.edu.br

³ Técnico de Laboratório, MSc, Universidade Federal de Ouro Preto, (31) 99225-5922, diogo.baudson@ufop.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A mineração desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo o minério de ferro um dos principais produtos exportados pelo país. Em 2022 e 2023, cerca de 344 e 378 milhões de toneladas desse minério foram exportadas, respectivamente, representando aproximadamente 59,6% do faturamento total do setor mineral (IBRAM, 2023; ANM 2022 e 2023). O Quadrilátero Ferrífero, localizado no estado de Minas Gerais, destaca-se como uma das principais províncias minerais do mundo, concentrando grande parte da produção nacional de minério de ferro (GUIMARÃES, 2011; ANM 2022 E 2023).

A crescente produção mineral gera volumes expressivos de rejeitos, que são subprodutos do processo de beneficiamento do minério, sendo necessária a disposição adequada destes materiais para minimizar impactos ambientais e riscos geotécnicos, armazenados em Instalações conhecidas como TSFs (*Tailings Storage Facilities*). Historicamente, a disposição desses rejeitos tem sido feita por meio de barragens, um método amplamente utilizado no Brasil. No entanto, as recentes rupturas de barragens, como as ocorridas em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), evidenciaram os riscos associados a essa prática, resultando em impactos socioambientais significativos e levando à adoção de novas regulamentações (FREIRE, 2022). Como resposta a esses desastres, a Agência Nacional de Mineração (ANM) publicou diversas resoluções e portarias, com destaque para as Resoluções nº 13/2019, ANM 95/2022, ANM 130/2023 e ANM 175/2024, proibindo a utilização de barragens alteadas a montante e, associada a outras normativas, restringindo a utilização de outras formas de barramento. Isso possibilitou a ampliação de outras formas de disposição, tais como o empilhamento drenado de rejeitos filtrados (*dry stack facilities*) ou a disposição em cavas (*In-Pit Tailings Storage Facilities*).

A migração para a disposição de rejeitos filtrados em pilhas exige uma compreensão aprofundada do comportamento geomecânico desses materiais, onde a composição granulométrica, o teor de finos e a permeabilidade destes materiais influenciam diretamente a estabilidade das estruturas (SILVA, 2017). Estudos demonstram que o aumento da fração de finos pode impactar a densidade real dos grãos, a compactação, a resistência ao cisalhamento e a condutividade hidráulica, fatores que devem ser considerados no dimensionamento e na operação das estruturas (FREIRE, 2022).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal realizar a caracterização física, mineralógica e geomecânica de um rejeito de minério de ferro proveniente do Quadrilátero Ferrífero, visando avaliar seu comportamento para fins de disposição em pilhas drenadas. A análise detalhada desses aspectos é essencial para garantir maior segurança operacional e reduzir os impactos ambientais associados à mineração. Com isso, espera-se que os resultados obtidos auxiliem no aprimoramento das técnicas de disposição de rejeitos e na prevenção de acidentes, contribuindo para a evolução da mineração brasileira em direção a práticas mais seguras e ambientalmente responsáveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais utilizados no estudo e os métodos adotados para a caracterização do rejeito de minério de ferro analisado.

2.1. Materiais

Foram analisados rejeitos de minério de ferro provenientes de uma usina de beneficiamento localizada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Ao longo do trabalho estes materiais serão denominados como Rejeito Total, Rejeito Grosso e Rejeito Fino. O Rejeito Total pode ser subdividido em duas frações principais: i) Rejeito grosso: proveniente do processo de flotação e constituído predominantemente por partículas com dimensões de areia; ii) Rejeito fino: obtido da etapa de deslamagem, caracterizado pela presença de partículas com granulometria típica das frações silte e argila.

A separação dessas frações ocorre durante o beneficiamento do minério de ferro, sendo o rejeito grosso direcionado para filtragem e posterior empilhamento, enquanto o rejeito fino, também

denominado como lama (por apresentar baixo teor de sólidos), é tradicionalmente disposto em barragens ou integrado a processos de disposição a seco (após espessamento e desaguamento). A Figura 1 apresenta um fluxograma ilustrando o processo de beneficiamento que dá origem aos rejeitos, com destaque para as etapas de flotação e deslamagem.

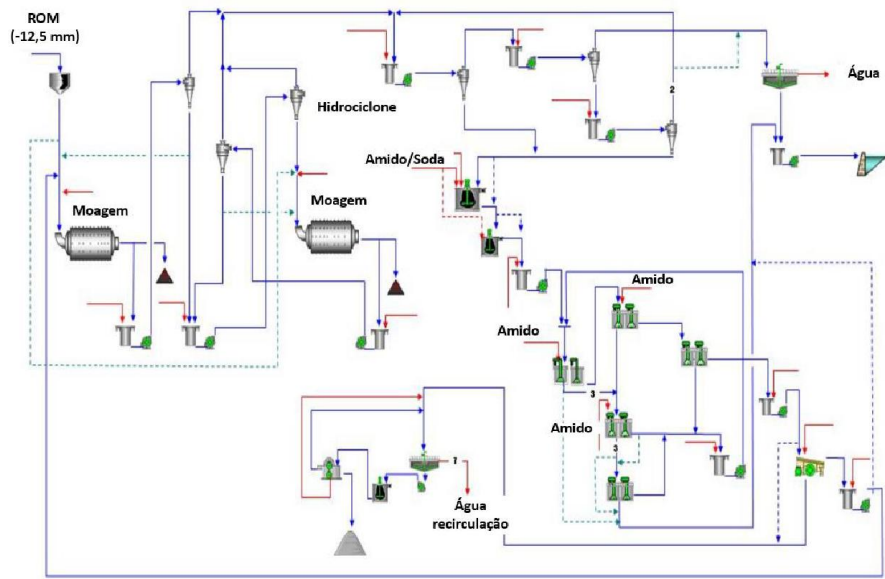


Figura 1. Fluxograma do processamento de rejeitos de minério de ferro (Adaptado de Freire, 2022).

Visando a compreensão do comportamento destes materiais, foram realizados ensaios laboratoriais para determinar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do material. A caracterização incluiu ensaios granulométricos, determinação dos limites de consistência, massa específica dos sólidos, compactação Proctor Normal e ensaios de resistência. Todos os procedimentos laboratoriais foram executados conforme normas técnicas estabelecidas. A seguir serão detalhados os métodos empregados para realização dos ensaios.

2.2. Caracterização física e tecnológica

Os ensaios de caracterização foram realizados nos laboratórios de mecânica dos solos do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA), centro de pesquisa que congrega os laboratórios do Núcleo de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto (NUGEO). Todos os ensaios foram realizados segundo procedimentos padronizados por normas técnicas nacionais e internacionais, sendo apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Normas técnicas de referência para os ensaios realizados

Ensaio	Normas
Granulometria	ABNT NBR 7181
Limite de Liquidez (LL)	ABNT NBR 6459
Limite de Plasticidade (LP)	ABNT NBR 7180
Massa específica dos grãos	ABNT 6458
Compactação	ABNT NBR 7182
Permeabilidade	ABNT NBR 14545
Adensamento	ABNT NBR 16853
Triaxial CID	ASTM D7181-20

As análises químicas do Rejeito Total e suas frações foram feitas no laboratório de Análises de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa, sendo utilizados os métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (Embrapa, 1997). As

análises consistiram na determinação do pH (em água, soluções de KCl e CaCl₂) e condutividade elétrica equivalente (CEE).

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização são apresentados de forma resumida na Tabela 2. As amostras utilizadas nos ensaios foram o Rejeito Total (RT) e as suas duas frações granulométricas: retida e passante na peneira de #200 (0,075 mm). Além do Rejeito Total, foi analisado outro rejeito de minério de ferro do QF, identificado como Rejeito Grosso. Na Tabela 2, são apresentados os percentuais das diferentes frações granulométricas das amostras, considerando ensaios executados sem defloculante (S/D), com defloculante (C/D) - hexametáfosfato de sódio - e análises via granulometria a laser (L). Sendo os últimos apenas para comparar as metodologias via sedimentação (ABNT NBR 7181) e laser. Foram realizados ensaios de compactação na energia Proctor Normal com todas as amostras, visando obter os principais parâmetros do ensaio, como o peso específico seco máximo (γ_d) e o teor de umidade ótimo (W_{ot}), que também foram utilizados na moldagem e preparação dos corpos de provas em outros ensaios (adensamento, permeabilidade e resistência).

Tabela 2. Resumo dos resultados da caracterização dos rejeitos

Parâmetros	Rejeito Total			Rejeito Passante #200			Rejeito Retido #200			Rejeito grosso		
Granulometria												
	C/D	S/D	L	C/D	S/D	L	C/D	S/D	L	C/D	S/D	L
P (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AG (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0
AM (%)	0,0	0,0	0,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	15,0	16,0	12,6
AF (%)	28,0	52,0	38,7	19,0	13,0	22,1	78,0	85,0	79,1	71,5	72,0	68,2
S (%)	69,2	48,0	58,4	77,0	87,0	75,4	19,0	15,0	17,6	10,0	10,0	18,3
A (%)	2,8	0,0	2,5	4,0	0,0	2,5	3,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
LL	NL			NL			NL			NL		
LP	NP			NP			NP			NP		
γ _s	31,50 kN/m³			33,28 kN/m³			27,91 kN/m³			28,47 kN/m³		
γ _d	20,0 kN/m³			20,55 kN/m³			18,75 kN/m³			17,45 kN/m³		
W _{ot}	12,85 %			15,5%			13,75 %			13,95 %		
K _{20°}	3,88e-05			-			-			3,75e-04		
pH (H ₂ O)	6,25			6,38			6,40			-		
pH (KCl)	6,07			6,04			5,98			-		
pH (CaCl ₂)	5,55			5,69			5,68			-		
CEE	52 μS/cm			45 μS/cm			48 μS/cm			-		

* P: pedregulho; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; S: silte; A: argila; LL: limite de liquidez; LP: limite de plasticidade; γ_s : peso específico dos sólidos; γ_d : peso específico seco máximo; W_{ot} : umidade ótima. K_{20° : coeficiente de permeabilidade a 20°C obtido em permeâmetro de carga variável.

A figura 2 mostra as curvas granulométricas dos materiais estudados, trazendo uma comparação entre o método de sedimentação (utilizando defloculante) e a granulometria a laser. Nota-se que as curvas das duas metodologias não se sobrepõem, mas representam quantitativos aproximados, em que todos os materiais apresentam predominância de partículas nas dimensões de silte (S) e areia fina (AF)

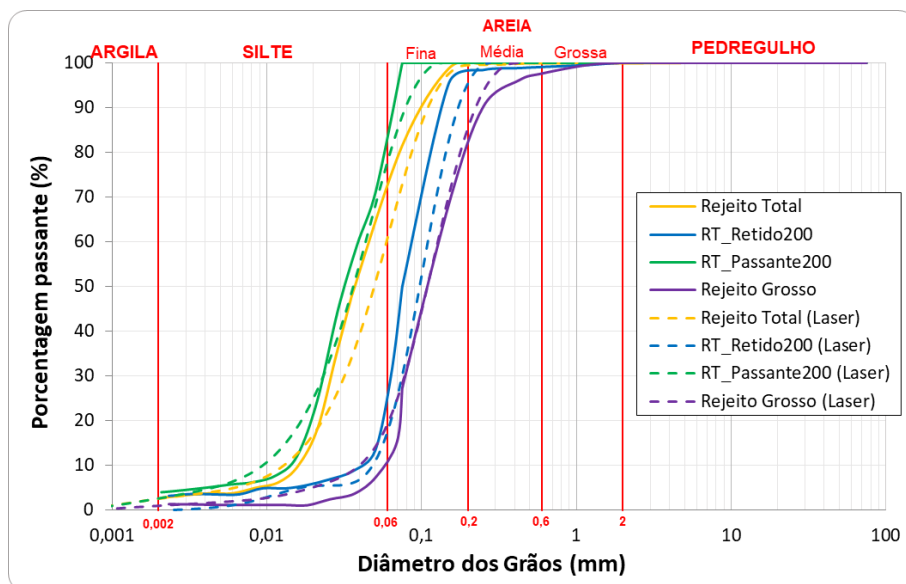


Figura 2. Curvas granulométricas. (Desenvolvida pelos autores).

Ensaio de difração de raios X também foram realizados nas amostras, sendo estes executados no Laboratório de Polímeros e Microestrutura do CTGA/NUGEO, onde um resumo destas análises é apresentado na Tabela 3, constando também os valores estimados dos percentuais em peso de cada material.

Tabela 3. Resumo da análise mineralógica dos rejeitos (Difração de raios X)

Material	Composição	% peso
Rejeito Total	Quartzo (SiO_2)	85,3
	Hematita (Fe_2O_3)	14,0
	Óxido de alumínio (Al_2O_3)	0,6
	Goethita (FeHO_2)	0,2
Rejeito Passante #200	Goethita (FeHO_2)	59,3
	Quartzo (SiO_2)	34,1
	Óxido de alumínio (Al_2O_3)	3,8
	Hematita (Fe_2O_3)	2,9
Rejeito Grosso	Quartzo (SiO_2)	93,8
	Óxido de alumínio (Al_2O_3)	3,2
	Manganês (MnO_2)	2,1
	Hematita (Fe_2O_3)	0,8
	Goethita (FeHO_2)	0,1

A classificação dos materiais como não plásticos (NP) confirmaram sua natureza granular e não coesiva (pouca presença de argilominerais) típica de rejeitos de mineração, o peso específico dos sólidos variou de 27,91 kN/m³ (fração grossa) a 33,28 kN/m³ (fração fina), refletindo diferenças na composição mineralógica das duas frações, com a presença de minerais mais densos e ricos em ferro, tais como a goethita e hematita (Tabela 3).

Os resultados demonstram diferenças significativas entre as frações do rejeito. O rejeito total apresentou predominância de silte (28%), e baixo teor de partículas com dimensões de argila (2,8%), sugerindo média a baixa permeabilidade, conforme será mostrado a seguir (Tabela 4). A fração grossa (retida #200) é composta principalmente por areia fina (75,5%), estando associado a uma baixa compressibilidade. Em contraste, a fração fina (passante #200) apresentou a maior quantidade de silte (77%), reduzindo de forma expressiva a permeabilidade do material, o que exige maiores cuidados relacionados à poropressão e outros gatilhos que possam resultar em liquefação.

3. COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO

O comportamento geomecânico dos rejeitos é fator determinante para fundamentar as análises de estabilidade quando dispostos em pilhas ou barragens. A resistência ao cisalhamento, a compressibilidade e a permeabilidade são parâmetros essenciais para avaliar a viabilidade da disposição e prever possíveis riscos de instabilidade.

Inicialmente, as amostras foram submetidas a ensaios de compactação Proctor com energia Normal, sem reuso de material, conforme as orientações da NBR 7182 (ABNT, 2016). A figura 3 apresenta as curvas de compactação dos materiais estudados. As amostras com maior teor de finos apresentaram os maiores pesos específicos, refletindo a composição mineralógica destes materiais. O teor de umidade ótima variou entre 12,9 e 15,5%. Os valores obtidos neste ensaio nortearam a moldagem de corpos de provas para execução dos ensaios de adensamento e resistência.

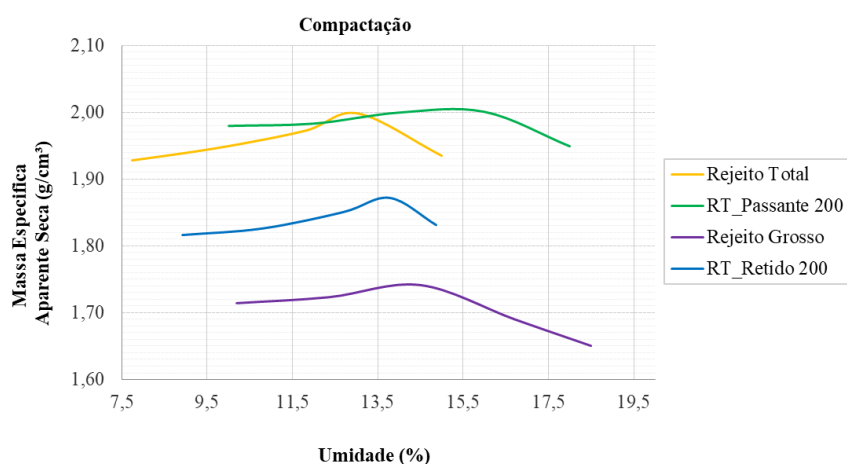


Figura 3. Curvas de compactação. (Desenvolvido pelos autores).

Foram realizados ensaios triaxiais isotrópicos drenados (CID) na amostra de Rejeito Total para avaliar a resistência e o comportamento tensão-deformação do material. Os níveis de tensão adotados foram 100, 200 e 400 kPa. Estes níveis não representam condições de empilhamento para aterros com maiores alturas, contudo, é um intervalo que representa construções convencionais. Os corpos de prova foram compactados com amostras reconstituídas, utilizando o grau de compactação igual a 100% em relação ao peso específico seco máximo obtido no ensaio Proctor Normal. Para moldagem de todos os corpos de prova foi utilizada a técnica de preparação de amostras denominada *moist-tamping* (MT), permitindo compactar o material em camadas sucessivas até a obtenção do peso específico desejado. Os ensaios drenados permitem observar o comportamento do material sob condições em que há dissipação das poropressões.

Na figura 4 são apresentadas as curvas tensão versus deformação dos corpos de prova ensaiados.

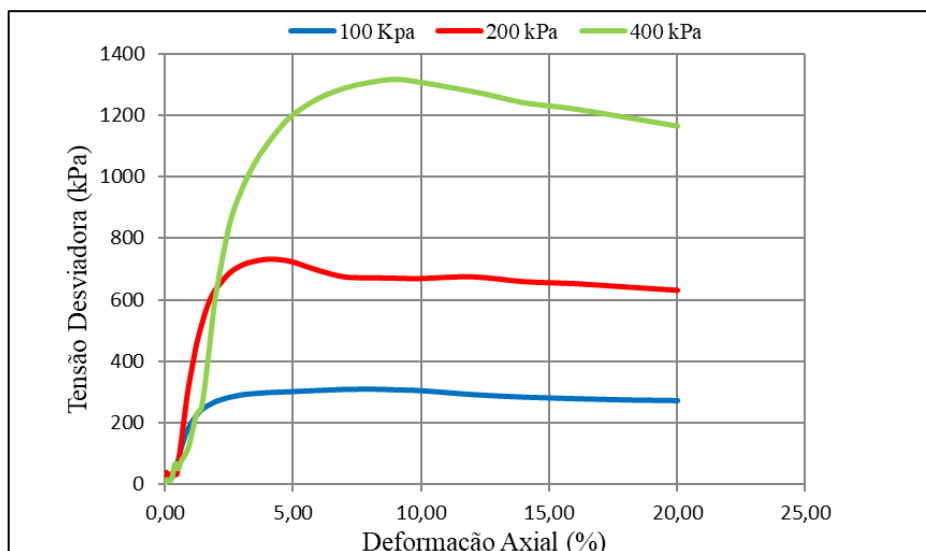


Figura 4. Tensão x Deformação do ensaio triaxial CID (Desenvolvido pelos autores).

A figura 5 apresenta a envoltória de resistência e os círculos de Mohr, em termos de tensões totais obtidos pelo ensaio.

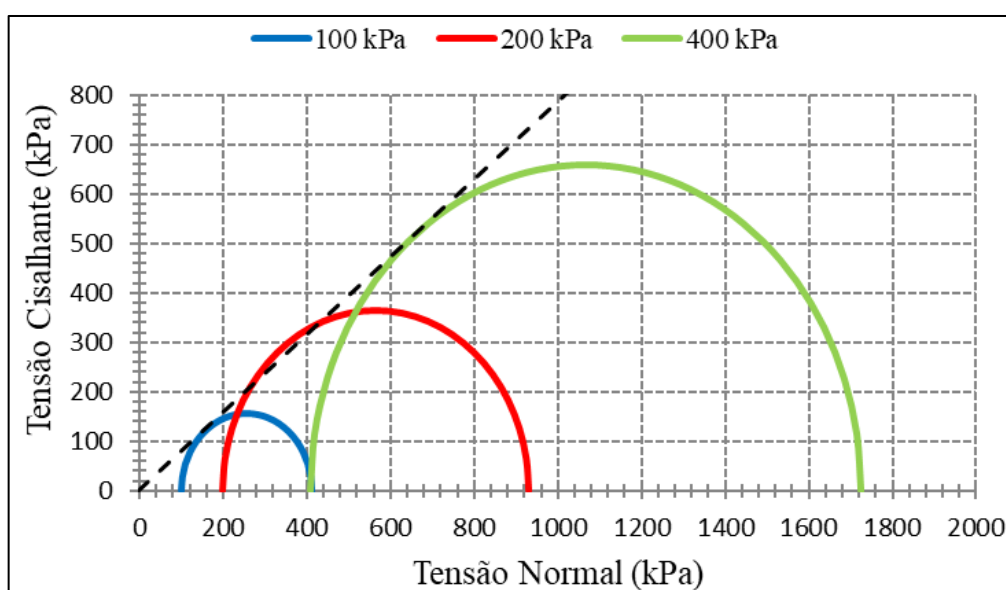


Figura 5. Envoltória de Resistência e Círculos de Mohr em termos de Tensões Totais (Desenvolvido pelos autores).

Os ensaios triaxiais CID realizados revelaram um comportamento mecânico característico de materiais granulares compactados. A análise da curva tensão-deformação (Figura 4) demonstrou que o rejeito desenvolve resistência progressiva quando submetido a carregamentos, atingindo um pico de tensão antes da ruptura. Este padrão é típico de solos arenosos compactados, onde as partículas reorganizam-se gradualmente sob esforço até alcançarem sua máxima resistência.

A envoltória obtida (Figura 5) permitiu determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento. O ângulo de atrito interno (ϕ), aproximadamente 35°, corrobora os valores encontrados na literatura para solos granulares e rejeitos de mineração (Bowles, 1977; SILVA, 2017; Gonçalves, 2021), confirmando a natureza predominantemente friccional do material. Por outro lado, o intercepto coesivo (c) mostrou-se praticamente nulo, como era esperado para um material granular não coesivo e sem cimentação entre as partículas. Estes resultados evidenciam que a resistência do rejeito depende essencialmente do atrito interno entre seus grãos, sendo este o mecanismo predominante de resistência quando submetido a esforços cisalhantes.

A Figura 6 apresenta a curva de adensamento da amostra de Rejeito Total. O ensaio foi conduzido com carregamentos que alcançaram 3200 kPa, seguido de três estágios de descarregamento. A partir da curva foram estimados o índice de compressão (C_c), igual a 0,0909, o índice de recompressão (C_r), igual a 0,0174, e a tensão de pré-adensamento, aproximadamente 300 kPa, obtida pelo método de Pacheco Silva.

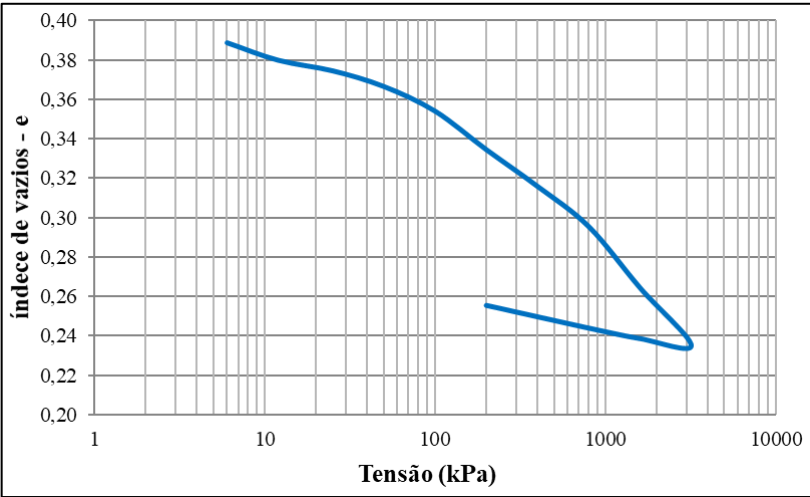


Figura 6. Curva de Adensamento do RT. (Desenvolvido pelos autores).

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de permeabilidade hidráulica (k_{20}) das amostras de Rejeito Total e Rejeito Grosso corrigidos para temperatura de 20°C. O ensaio foi realizado na célula de adensamento, sendo utilizado um corpo de prova obtido pela moldagem de um anel metálico ($D = 5\text{ cm}$; $H = 2\text{ cm}$) em uma amostra compactada obtida pelo ensaio de compactação. Os ensaios de permeabilidade foram executados após a montagem do corpo de prova e após os carregamentos nas tensões de 400 e 800 kPa. Para a obtenção do coeficiente de permeabilidade do Rejeito Grosso também foram executados ensaios em permeâmetro de parede rígida, conforme orientações da NBR 14545 (ABNT, 2021). As diferenças entre os valores obtidos nos ensaios (permeâmetro de parede rígida e permeabilidade em ensaios de adensamento) podem ser justificadas pelas dimensões do corpo de prova, contudo, os valores obtidos estão próximos. Verifica-se ainda que os coeficientes permaneceram na mesma ordem de grandeza mesmo após o processo de adensamento.

Tabela 4. Permeabilidade

Material	Condição	k_{20} (cm/s) Adensamento	k_{20} (cm/s) Permeâmetro
Rejeito Grosso	Pós-Compactação	-	3,65E-04
RT	Pós-Compactação	1,77E-05	1,19E-05
	400 kPa	1,27E-05	-
	800 kPa	1,15E-05	-

Os ensaios de adensamento demonstraram que o rejeito apresenta baixa compressibilidade (Figura 6), comportamento característico de materiais granulares, com rápida dissipação das poropressões. Esta propriedade, aliada aos resultados das curvas de compactação (Figura 3), indicaram peso específico seco máximo de aproximadamente 20 kN/m³, alcançado na umidade ótima de 12%, demonstrando que o material pode ser adequadamente compactado seguindo práticas consagradas de empilhamento seguro (FREIRE, 2022).

A permeabilidade, que variou de $1,10 \times 10^{-4}$ cm/s (pós-compactação) a $7,15 \times 10^{-5}$ cm/s (sob 800 kPa), combinada com a resistência ao cisalhamento ($\phi=35^\circ$), comprova a adequação do material ao empilhamento drenado. Entretanto, a ausência de coesão ($c=0$) exige cuidados especiais no

projeto, particularmente quanto à inclinação dos taludes, que deve ser mantida abaixo de 30° (SILVA, 2017) para garantir estabilidade. Esta recomendação é especialmente relevante no Quadrilátero Ferrífero, onde chuvas intensas podem aumentar os riscos de erosão e colapso em materiais não coesivos. A redução de 35% na permeabilidade sob carga máxima não compromete significativamente a drenagem, mas reforça a necessidade de compactação adequada, especialmente nas camadas inferiores das pilhas, onde as tensões são mais elevadas

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo ilustram a viabilidade técnica da disposição a seco de rejeitos de minério de ferro em pilhas drenadas, em conformidade com a Resolução ANM 13/2019. A caracterização geotécnica revelou propriedades fundamentais para esta alternativa mais segura: baixa compressibilidade ($C_c = 0,0909$), permeabilidade adequada ($1,10 \times 10^{-4}$ a $7,15 \times 10^{-5}$ cm/s) mesmo sob cargas mais elevadas, e significativa resistência ao cisalhamento ($\phi=35^\circ$). A tensão de pré-adensamento de 300 kPa, determinada pelo método de Pacheco Silva, e o índice de recompressão $C_r = 0,0174$ fornecem parâmetros cruciais para o dimensionamento das estruturas de disposição.

A análise demonstrou que o material apresenta comportamento típico de solos granulares, com rápida dissipação de poropressões e peso específico seco máximo, de 20 kN/m³ obtido na umidade ótima de 12%. Essas características, aliadas à ausência de plasticidade e ao pH neutro (6,25), confirmam sua aptidão para empilhamento drenado. Contudo, a quase ausência de coesão ($c=0$) exige inclinação de taludes inferiores a 30° para garantir estabilidade, conforme recomendado por Silva (2017).

Embora os resultados sejam satisfatórios, o estudo aponta a necessidade de pesquisas complementares sobre o comportamento em campo, sugerindo o monitoramento contínuo da umidade e avaliando os efeitos referentes aos ciclos climáticos na degradação do material.

A redução de 35% na permeabilidade sob carga de 800 kPa (Tabela 4) não compromete significativamente a drenagem, mas reforça a importância da compactação adequada, especialmente nas camadas inferiores das pilhas. Recomenda-se atenção especial às condições climáticas do Quadrilátero Ferrífero, onde eventos pluviais intensos podem potencializar processos erosivos.

Em síntese, esta pesquisa colabora com a ampliação do conhecimento científico sobre a caracterização geotécnica e do comportamento geomecânico de rejeitos de mineração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFOP, CAPES e CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao Núcleo de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto (NUGEO) pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Solo – Análise Granulométrica. NBR 7181. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 16 p. 2016.
- ABNT. Solo – Determinação do limite de liquidez. NBR 6459. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 9 p. 2016.
- ABNT. Solo – Determinação do limite de plasticidade. NBR 7180. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 7 p. 2016.
- ABNT. Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. NBR 6458. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 14 p. 2016.
- ABNT. Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. NBR 16853. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 2020.
- ABNT. Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. NBR 14545. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 2021.
- ABNT. Solo – Ensaio de Compactação. NBR 7182. Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro – RJ, 9 p. 2020.
- Agência Nacional de Mineração, ANM. Anuário mineral brasileiro principais substâncias Metálicas. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro> [acesso em 29 de março de 2023].
- Agência Nacional de Mineração, ANM. Anuário mineral brasileiro principais substâncias Metálicas. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro> [acesso em 29 de março de 2023].
- Instituto Brasileiro de Mineração, IBRAM. Mineração em números. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf> [acesso em 29 de março de 2023]
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. 2020. ASTM D7181 - 20: Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- Bowles, J.E., 1977. Foundation analysis and design. New York: McGraw- Hill.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo, 2ª Ed., 1ª reimpressão, Rio de Janeiro, EMBRAPA, 212 p., 1997.
- FREIRE, A. S. Influência do teor de finos no comportamento geomecânico de um rejeito de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. 2022. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.
- GONÇALVES, R. R. S. M. Comportamento geomecânico de rejeito de bauxita sob diferentes condições de confinamento e carregamento. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2021.
- GUIMARÃES, N. C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- SILVA, C. G. C. Estudo da influência do teor de finos no comportamento de um rejeito de minério de ferro a partir de ensaios edométricos. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.