

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO E MISTURAS COM SOLOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vivian Toledo Lippi¹; Vitor de Souza Melo²; Cátia de Paula Martins³

Resumo – Este estudo visa contribuir para pesquisas futuras sobre alternativas sustentáveis para a disposição de resíduos da exploração de minério de ferro no Brasil. Criou-se um banco de dados com parâmetros geotécnicos do rejeito de minério de ferro e suas misturas com solo a partir de uma revisão bibliográfica não sistemática de 24 trabalhos, com compilação e análise crítica das informações coletadas acerca de características físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas destes materiais. Identificou-se descrições e faixas com ordem de grandeza para alguns parâmetros. Destacam-se, para o rejeito puro, massa específica dos sólidos (2500 a 3500 kg/m³), índice de vazios (0,3 a 0,8), predominância de areia na distribuição granulométrica, peso específico aparente seco máximo no ensaio de compactação à energia normal (17650 a 26970 N/m³), Índice de Suporte Califórnia (7,07 até 23,46%) e expansão (0,02 até 1,53%). Os parâmetros químicos demonstraram a presença notável de Fe₂O₃ nas amostras do rejeito. A caracterização mineralógica indicou a presença significativa de quartzo e hematita em praticamente todos os trabalhos. Notou-se que as caracterizações física e mecânica foram as mais realizadas e conclui-se que os valores comuns em parâmetros similares são diretrizes valiosas para futuras pesquisas, e que o uso de rejeito de minério de ferro em misturas com solo representa uma alternativa sustentável à disposição em aterros convencionais, apresentando um novo material geotécnico.

Abstract – This study aims to contribute to future research on sustainable alternatives for the disposal of waste from iron ore exploration in Brazil. A database was created with geotechnical parameters of iron ore waste and its mixtures with soil based on a non-systematic bibliographic review of 24 works, with compilation and critical analysis of information collected about physical, mechanical, chemical and mineralogical characteristics of these materials. Descriptions and ranges with orders of magnitude were identified for some parameters. For pure waste, the specific mass of solids (2500 to 3500 kg/m³), void index (0.3 to 0.8), predominance of sand in the granulometric distribution, maximum apparent dry specific weight in the compression at normal energy (17650 to 26970 N/m³), California Support Index (7.07 to 23.46%) and expansion (0.02 to 1.53%). Chemical parameters demonstrated the notable presence of Fe₂O₃ in the waste samples. The mineralogical characterization indicated the significant presence of quartz and hematite in practically all works. It was noted that the physical and mechanical characterizations were the most performed and it is concluded that common values in similar parameters are valuable guidelines for future research, and that the use of iron ore waste in mixtures with soil represents a sustainable alternative to disposal in conventional landfills, presenting a new geotechnical material.

Palavras-Chave – Geotecnia, Reaproveitamento de Materiais, Rejeito de Minério de Ferro, Solo, Sustentabilidade, Parâmetros Geotécnicos.

¹ Eng^a. Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, vivianlipi.engenharia@gmail.com

¹ Eng. Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, vitor.melo@engenharia.ufjf.br

¹ Professora., Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, catia.martins@ufjf.br

1. INTRODUÇÃO

A exploração em larga escala do minério de ferro no Brasil e no mundo gera resíduos que representam uma ameaça ao meio ambiente e à vida se não forem adequadamente gerenciados. Em paralelo, sabe-se que as propriedades do solo podem ser alteradas na mistura com outros materiais, inclusive, resíduos e rejeitos. Como exemplos, têm-se as pesquisas realizadas por Cândido, Martins e Monteiro (2022) e Monteiro *et al.* (2022). Logo, percebe-se que utilizar rejeitos de minério de ferro (RMF) em misturas com solo pode significar uma solução para destinação adequada deste material, além de reduzir a exploração de novas jazidas de solo.

Com os avanços tecnológicos, métodos alternativos para reutilização de rejeito de minério de ferro estão sendo buscados, principalmente na Engenharia. Neste intuito, este estudo foi pautado em uma revisão de literatura não sistemática, com caráter exploratório, que permitiu compilar dados sobre as propriedades físicas, mecânicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas de solos residuais, rejeitos de minério de ferro e diferentes proporções de misturas entre tais materiais.

1.1. Objetivo

O objetivo principal deste artigo consistiu em criar um banco de dados com os parâmetros geotécnicos, químicos e mineralógicos de solos, rejeito de minério de ferro e misturas solo-rejeito com o intuito de contribuir para um banco de dados a ser utilizado por futuras pesquisas e despertar a possibilidade de seu reaproveitamento na Geotecnia, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental.

2. METODOLOGIA

Uma revisão bibliográfica, não sistemática, foi realizada para a posterior tabulação de dados numéricos, tomando como base as referências utilizadas por Cândido, Martins e Monteiro (2022) e Monteiro *et al.* (2022). Além disso, buscou-se por novas pesquisas na literatura nacional e internacional que fossem relevantes para complementar este estudo; ao todo, analisou-se dados de 24 trabalhos (dentre artigos, teses e dissertações).

Foram desenvolvidos textos-resumos com as principais considerações de cada trabalho analisado, seguindo um padrão ao conter nome do(s) autor(es), ano e local do estudo, objetivos propostos, ensaios realizados, percentuais de misturas utilizados (quando aplicável) e as conclusões obtidas. Paralelamente, elaborou-se uma planilha contendo abas conforme os tipos de de caracterização mais estudados nos trabalhos analisados: física, mecânica, química e mineralógica.

Em seguida, realizou-se uma análise crítica dos dados obtidos para identificar padrões, similaridades ou dispersões e muitas diferenças entre os parâmetros de caracterização; determinou-se os parâmetros mais relevantes (que foram encontrados por mais autores), possibilitando comparações mais assertivas e verificando também se é possível definir um valor de referência para algum dado em futuras situações de laboratório e/ou prática, ou seja, visando obter algo passível de ser adotado quando não se tem aquele dado. Logo, para melhor expressar os dados mais representativos da tabulação feita, foram criados gráficos de dispersão que apontam a tendência de alguns parâmetros de ensaios para os diferentes materiais e autores apresentados.

É importante mencionar que eventuais ensaios específicos, realizados por alguns autores, que não estavam alinhados com o escopo desta pesquisa, foram desconsiderados. A comparação entre os estudos foi realizada apenas em relação a materiais e processos semelhantes entre si.

Os parâmetros presentes em cada tipo de caracterização foram: índices físicos, limites de consistência e dados de granulometria para a caracterização física, dados referentes aos ensaios de Compactação, Índice de Suporte Califórnia, Permeabilidade, Resistência à Compressão Não Confinada, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Resistência ao Cisalhamento Direto Convencional, Triaxial Estático, Triaxial Dinâmico e Adensamento Edométrico Convencional

compreendendo a caracterização mecânica, composição química, LOI - perda ao fogo e dados do espectro de FTIR para a caracterização química e composição mineralógica, cores, consistência, foliação - mergulho médio e padrão de difração obtido por DRX e dados do difratograma para a caracterização mineralógica.

É interessante ressaltar que cada autor realizou um tipo de estudo de acordo com seus interesses, portanto nem todos fizeram todas as caracterizações listadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das análises dos estudos referentes ao tema proposto, foi possível construir um panorama geral acerca dos quatro tipos de caracterizações referente a pelo menos um dos materiais estudados (solo, rejeito ou misturas); desta forma, notou-se que dentre os 24 autores analisados, a maioria realizou as caracterizações física e mecânica, sendo respectivamente 95,8% (23 autores) e 83,3% (20 autores), enquanto que apenas 37,5% (9 autores) e 29,2% (7 autores) realizaram, respectivamente, as caracterizações química e mineralógica. Além disso, notou-se que o enfoque maior dos autores foi para a caracterização do rejeito.

3.1 Caracterização Física

Em relação à caracterização física, foi possível notar que dos 24 autores estudados, 22 realizaram caracterização física do rejeito e 8 do solo, enquanto que apenas 4 apresentaram a caracterização física de misturas, sendo que cada uma delas contém suas particularidades e, portanto, realizar comparações entre os resultados encontrados não faria sentido para este caso.

Na caracterização física houve uma maior frequência na determinação da massa específica dos grãos, no índice de vazios, nos limites de consistência e na granulometria dos materiais.

Quanto aos índices físicos, observou-se um padrão entre os valores de massa específica do rejeito (que situam-se, em sua maioria, em torno de 2500 a 3500 kg/m³) e também de massa específica do solo (tendo sua maioria de valores variando entre 3000 e 4000 kg/m³); notou-se também que os valores de índice de vazios para os rejeitos situam-se, em sua maioria, entre 0,3 e 0,8. Quanto aos limites de consistência, também conhecidos como limites de Atterberg, sabe-se que estes são ensaios necessários para haver um melhor entendimento sobre a consistência do material, fornecendo valores de limites de liquidez, plasticidade, contração e também do índice de plasticidade; apesar de não ser observado um padrão de similaridade entre os resultados, vale ressaltar que quando definidos como NP nos trabalhos analisados, isto significa que os materiais não são plásticos, ou seja, não permitem que sejam moldados visto que esfarelam com facilidade. Quanto à granulometria, observou-se que muitos trabalhos trouxeram a porcentagem granulométrica do material estudado, seja rejeito, solo ou misturas; notou-se que a grande maioria não apresentou porcentagem de pedregulho e também foi possível perceber que, tanto para os rejeitos quanto para os solos, a maior porcentagem presente em cada distribuição é de areia (apesar de não haver um padrão de similaridade observado entre os valores desta categoria).

Logo, observou-se uma predominância na caracterização física do rejeito, que foi classificado quanto à granulometria, de acordo com suas porcentagem de areia, silte e argila. Fonseca e Villar (2014) utilizaram um rejeito com 37% de areia, 49% de silte e 14% de argila, enquanto Silva et al. (2010) analisaram um rejeito com a proporção de 35% de areia, 50% de silte e 15% de argila. Os solos por eles estudados foram classificados como silte areno-argilosos. Rodrigues (2018), por sua vez, utilizou um rejeito com a proporção de 95% de areia, 0,4% de silte e 4,6% de argila e um solo na proporção de 85,7% de areia, 4,1% de silte e 9,8% de argila. Assim, pode-se afirmar que os autores analisaram previamente o solo e o rejeito para só então realizar análises críticas quanto aos resultados dos ensaios, que podem variar de acordo com o tipo de granulometria dos materiais.

3.2 Caracterização Mecânica

No que tange à caracterização mecânica percebeu-se que entre os 24 autores presentes nesta pesquisa, 15 fizeram a caracterização mecânica do rejeito puro, 11 estudaram misturas e apenas 8 analisaram o solo puro.

Sabe-se que a caracterização mecânica é importante para analisar o comportamento do material ao receber algum esforço mecânico. Diversos são os tipos de ensaios que podem ser realizados a depender do parâmetro que necessita ser determinado. Os autores estudados utilizaram os resultados dos ensaios para caracterizarem mecanicamente o solo, rejeito e misturas que foram alvos de suas pesquisas. Além disso, observou-se que os ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia foram os mais realizados entre os autores.

Quanto aos ensaios de compactação, para o rejeito, a energia normal foi a mais utilizada, enquanto que para os solos e as misturas foi a intermediária. O peso específico aparente seco máximo, tal como o teor de umidade ótimo, foram determinados em diversos trabalhos; para o rejeito, observou-se similaridade nos valores encontrados de peso específico aparente seco máximo, que em sua maioria situam-se entre 17,65 e 26,97 kN/m³. Índice de suporte Califórnia e permeabilidade também foram ensaios bastante recorrentes nos trabalhos analisados, mas apenas o parâmetro de expansão apresentou algum padrão notável de valores. Quanto ao ensaio de resistência à compressão não confinada, notou-se que a maioria dos autores não o realizou e dos 8 que o fizeram, apenas 1 utilizou-se de cura úmida, enquanto que os 7 restantes realizaram cura ao ar. Foi observado ainda que este ensaio foi realizado, na grande maioria das vezes, apenas para as misturas estudadas por cada autor. Os demais ensaios citados anteriormente foram realizados pontualmente por poucos autores e, desta maneira, a base de dados para comparação fica comprometida.

Os autores Gratão *et al.* (2006), Coelho (2008), Silva *et al.* (2010), Campanha (2011), Abbade *et al.* (2012), Bastos (2013), Oliveira (2013), Fonseca e Villar (2014), Dantas (2015), Rodrigues (2018), Silveira *et al.* (2018), Dantas (2019), Cândido (2020) e Carneiro (2020) realizaram o ensaio de compactação para classificar rejeito, solo e misturas (quando existiram) em relação ao peso específico aparente máximo e teor de umidade ótimo, sendo que as energias utilizadas variaram entre normal e intermediária. A Figura 1 apresenta, respectivamente, os dados referentes aos ensaios de compactação do rejeito e do solo, ambos para as energias normal e intermediária.

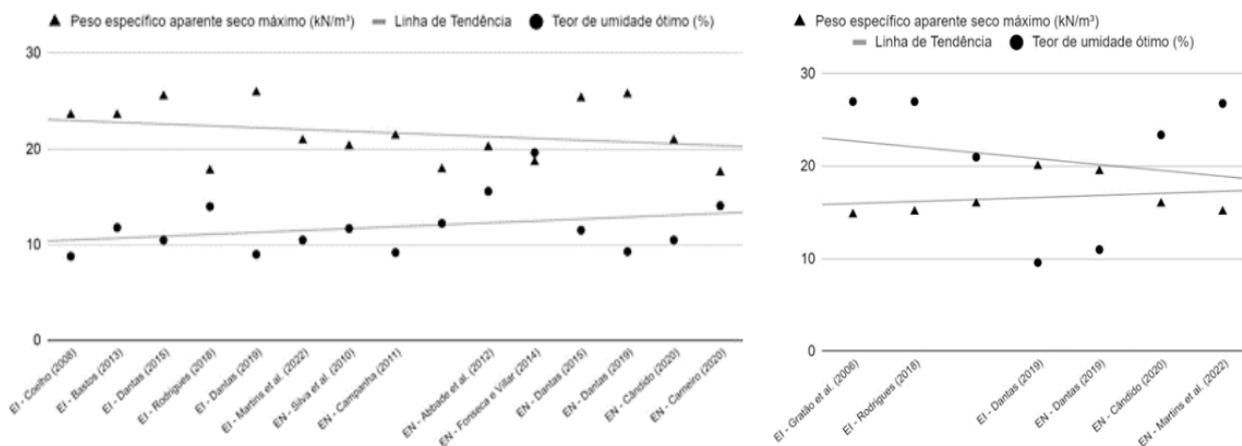


Figura 1. Gráficos de dispersão com dados, respectivamente, do Ensaio de Compactação para RMF e para o solo, ambos nas energias normal e intermediária.

É possível perceber que os valores obtidos para os solos foram mais variáveis entre si, o que se explica devido ao fato de que os solos utilizados nas pesquisas analisadas foram diferentes para cada autor estudado.

Os materiais utilizados nas misturas com RMF também variaram de acordo com os diferentes focos das pesquisas estudadas, portanto não faz sentido realizar comparações entre as misturas, que além de tudo ocorreram em diferentes proporções para cada estudo.

O ensaio de índice de suporte Califórnia foi realizado para o solo puro por Dantas (2015), Rodrigues (2018) e Dantas (2019). Os valores de ISC e expansão obtidos, tal como os teores de umidade ótimos correlacionados, podem ser observados no gráfico de dispersão da Figura 2.

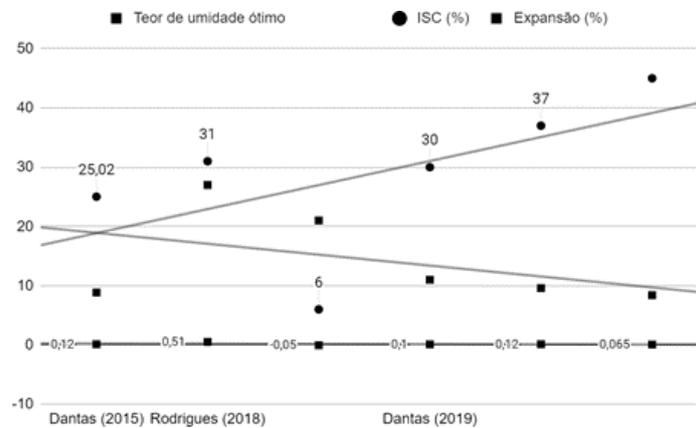


Figura 2. Gráfico de dispersão com dados do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia para solo.

A Figura 3 apresenta, por sua vez, os gráficos de dispersão com dados de ISC e expansão relativos ao rejeito, respectivamente. Os autores que apresentaram estes dados foram Coelho (2008), Campanha (2011), Bastos (2013), Dantas (2015), Rodrigues (2018) e Dantas (2019).

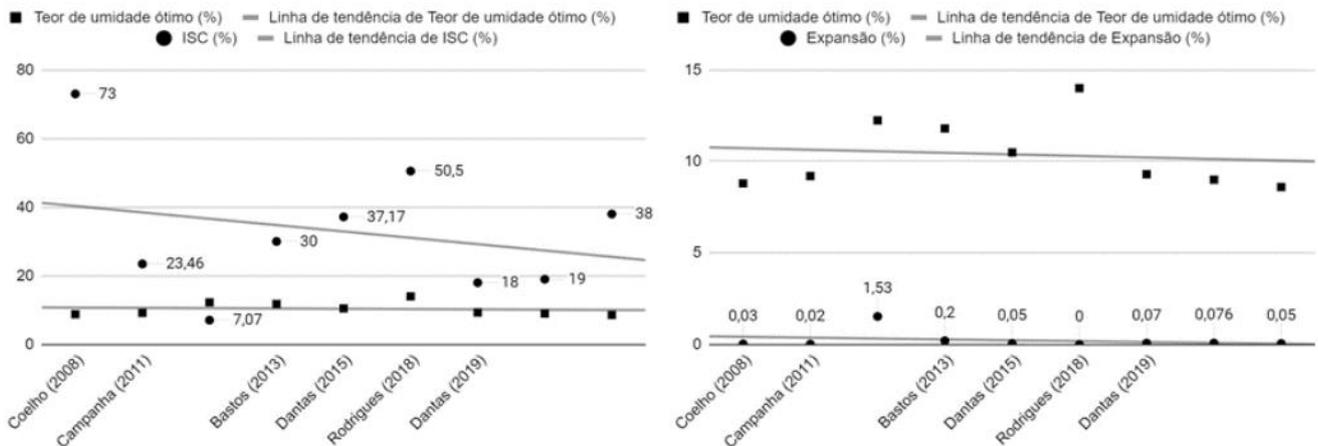


Figura 3. Gráficos de dispersão com dados, respectivamente, de ISC e expansão do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia para rejeito.

Nota-se que, tanto para o solo quanto para o rejeito, houve similaridade entre os valores de expansão encontrados. Por outro lado, os resultados de ISC não foram tão próximos entre os autores que apresentaram estes dados.

Em relação ao ensaio de resistência à compressão simples, observou-se que apenas Campanha (2011) realizou-o a partir do método de cura úmida, utilizando misturas de rejeito de flotação e concentração com cimento; suas análises de resistência foram feitas aos 3, 7 e 28 dias de cura úmida. Em relação às misturas de rejeito de flotação com diferentes proporções de cimento, percebeu-se que os valores de RCS variaram entre $3,07 \times 10^8$ e $1,00 \times 10^9$ kPa para 3 dias de cura, $5,19 \times 10^8$ e $1,14 \times 10^9$ kPa para 7 dias e $8,54 \times 10^8$ e $2,06 \times 10^9$ kPa para 28 dias; já para as misturas de rejeito de concentração com diferentes proporções de cimento, as faixas de valores para cura de 3, 7 e 28 dias foram, respectivamente, entre $1,05 \times 10^8$ e $3,01 \times 10^8$ kPa, entre $1,33 \times 10^8$ e $5,02 \times 10^8$ kPa e entre $2,18 \times 10^8$ e $9,64 \times 10^8$ kPa. Notou-se, portanto, que houve um

crescimento dos valores de resistência com o passar do tempo. Os autores que realizaram cura ao ar foram Bastos (2013), Rodrigues (2018), Salgado (2018), Santos (2018), Dantas (2019), Carneiro (2020), Tong, Niu, Wang e Lu (2021) e Martins *et al.* (2022), mas nenhuma similaridade foi encontrada entre os valores apresentados.

Dentre os trabalhos levantados, apenas Carneiro (2020) apresentou resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, por ter feito estudos com rejeito-polímero e rejeito-polímero-fibra. Cada mistura apresentou diferentes resultados: a proporção de 1:4 rejeito-polímero resultou em 110 kPa, enquanto que essa mesma proporção de mistura com adição de fibra de polipropileno resultou em 210 kPa; já para a proporção de 1:2 rejeito-polímero, o resultado obtido foi de 440 kPa, sendo que a adição da fibra nesta mistura fez o resultado aumentar para 600 kPa. Desta forma, é possível perceber que a fibra aumenta a resistência à compressão diametral das misturas de rejeito e polímero.

O ensaio de resistência ao cisalhamento direto convencional, por sua vez, tem como objetivo analisar os parâmetros de tensão de pico e tensão residual dos materiais. Foram poucos os autores que o realizaram, mas dentre eles vale destacar Silva *et al.* (2010), que realizaram o ensaio com amostras de rejeitos em diferentes condições de saturação e Fonseca e Villar (2014), que analisaram amostras de rejeitos em diferentes condições de adensamento e saturação. Como as condições de execução deste ensaio foram muito específicas, além de quase nenhum autor apresentar tais resultados, não é válido realizar comparações neste caso.

O ensaio triaxial dinâmico, que permite obter o módulo de resiliência, foi realizado apenas por Rodrigues (2018), Silveira *et al.* (2018), Cândido (2020) e Carneiro (2020), mas não foi observado um padrão de similaridade entre eles.

3.3 Caracterização Química

A caracterização química, por sua vez, foi realizada para o rejeito puro por 7 autores, para misturas por 2 autores e por solo por também 2 autores, dentre os 24 analisados ao todo.

Os aspectos trazidos por cada autor para a caracterização química demonstram uma individualidade de cada material estudado, uma vez que os valores e dados obtidos são sempre muito particulares, não havendo quase nenhuma similaridade (a não ser a presença notável de óxido de ferro III - Fe₂O₃ - na composição química de amostras de rejeito de minério de ferro, o que já era de se esperar, naturalmente) entre eles. E isto, aliado ao fato de que este tipo de caracterização foi realizado por menos da metade dos autores, compromete a realização de uma análise comparativa mais criteriosa e detalhada.

Vale destacar que Santos (2018), Ferreira *et al.* (2020) e Cândido (2020) realizaram estudos com rejeito de minério de ferro que apresentaram as características químicas apontadas na Tabela 1. Além disso, Cândido (2020) procedeu também a análise química do solo estudado.

Tabela 1 – Caracterização química do rejeito de minério de ferro e solo

Autor	Material	Compostos químicos (%)											
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	SO ₂	SO ₃	TiO ₂	MgO	Na ₂ O	Outros
Santos (2018)	rejeito de minério de ferro	56,229	56,229	3,11	0,040	0,145	0,067	0,059	-	-	-	-	0,331
Ferreira <i>et al.</i> (2020)	rejeito de ferro	54,4	21,8	11,9	0,10	-	0,51	-	-	0,32	0,29	0,1	2,33
Cândido (2020)		56,453	32,251	8,859	0,12	0,794	-	-	-	0,249	-	-	0,529
Cândido (2020)	solo	26,531	26,531	43,528	0,425				0,228	3,055			0,665

3.4 Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica, por fim, foi o tipo menos realizado dentre os demais já citados neste texto. Menos da metade dos autores apresenta dados e parâmetros referentes a esta caracterização e isso compromete a análise comparativa mais detalhada e aprofundada acerca do tema. Porém, um fato relevante a ser citado é que nos dados obtidos no difratograma, para autores que trouxeram tais informações, foi possível notar a presença de quartzo e hematita em quantidades significativas em quase todos os trabalhos.

Busch *et al.* (1999) utilizaram nos ensaios solos de origens diferentes, o que ocasionou em diferenças na composição mineralógica: os solos residuais de rochas do grupo Caraça apresentaram quartzitos e filitos; os solos de formação Gandarela são constituídos de dolomitos e itabiritos dolomíticos; o solo do grupo Itabira apresentam em sua composição itabirito, itabiritos filíticos e dolomíticos; o solo da formação Santo Antônio apresentou quartzitos e filitos e, por fim, o solo Aluvião Arenoso apresentou hematita na composição mineralógica.

Echeverri Vergara (2012) realizou a pesquisa com duas amostras de rejeitos, os quais apresentaram os seguintes compostos mineralógicos: amostra 1 com quartzo e hematita e amostra 2 com vermiculita, quartzo, hematita, magnetita e anatásio. Santos (2018) utilizou um rejeito em que as frações mais finas são predominantemente hematitas, enquanto que as mais grossas são quartzo. Silva (2017) utilizou 4 rejeitos de origens diferentes, os quais apresentaram similaridades em suas propriedades mineralógicas: o RMF 1 (da Mina de Fábrica) apresentou presença de principalmente quartzo e hematita e de caulinita e goethita em menor quantidade; o RMF 2 (da Mina da Alegria) apresentou presença de grande quantidade de quartzo, seguido em menor quantidade por espinela e hematita; o RMF 3 (da Mina Casa de Pedra) apresentou presença de 85% de quartzo, como componente principal, e 15% de hematita, como elemento secundário; por fim, o RMF 4 (da Mina Oeste) apresentou presença de quartzo, em maior quantidade (62%), e caulinita e goethita em menor quantidade; vale ressaltar que essa amostra indicou, pelo ensaio de espectrometria, a menor fração de minerais de ferro em sua composição, sendo de apenas 14%.

4. CONCLUSÕES

Percebeu-se que as caracterizações física e mecânica possuem mais parâmetros de interesse entre os estudos comparadas às caracterizações química e mineralógica. É importante ressaltar que apenas 4 entre os 24 artigos analisados fizeram todos os tipos de caracterização abordados nesta pesquisa.

Além disso, pôde-se notar que era interessante realizar comparações e análises em relação aos trabalhos que estudaram o rejeito de minério de ferro puro, uma vez que os solos e as misturas possuíam certas características pautadas em individualidades, dificultando uma comparação mais criteriosa entre os valores de parâmetros e ensaios provenientes de diferentes estudos. Outrossim, percebeu-se que em alguns casos, principalmente em se tratando do RMF puro, é possível sinalizar um padrão de valores e ocorrências, sendo estes dados plausíveis de serem utilizados como referência em eventuais necessidades ou falta de dados mais precisos.

Para o rejeito puro, notou-se similaridade entre seus valores de massa específica e índice de vazios, além da areia ser o material predominante nas distribuições granulométricas realizadas. Nos ensaios de compactação, a energia mais utilizada foi a normal e observou-se um padrão de valores encontrados para o peso específico aparente seco máximo. Com o ensaio de índice de suporte Califórnia, notou-se que os valores de expansão foram bem próximos. A presença notável de óxido de ferro III na caracterização química rejeito, também é algo a se destacar. Por fim, com os dados obtidos do difratograma, foi possível observar quartzo e hematita em quantidades significativas nas amostras de rejeito analisadas.

Para o solo, observou-se um padrão na faixa de valores de massa específica e percebe-se que a areia é a maior porcentagem observada nas distribuições granulométricas. A energia intermediária foi a mais utilizada para os solos no ensaio de compactação, mas não foi observado um padrão de similaridade entre seus resultados. Com o ensaio de ISC, notou-se que os valores

de expansão ficaram bem próximos entre si. Os resultados do difratograma mostraram a presença de hematita e quartzo em praticamente todos os trabalhos que trouxeram esse dado.

Por fim, após as análises realizadas neste estudo, notou-se a existência de algumas faixas de valores para os parâmetros supracitados, sendo então subsídios para pesquisas futuras. E, ainda, desperta para as lacunas possíveis de serem preenchidas com dados de projetos de pesquisas a serem implementados.

Com base nas observações apontadas frente às caracterizações físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas, é possível inferir à respeito do potencial de reaproveitamento do rejeito de minério de ferro como material geotécnico, havendo a possibilidade de sua aplicação na condição pura ou misturado ao solo, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Universidade Federal de Juiz de Fora pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, ABBADE, P. U. B.; FONSECA, R. F.; VILLAR, L. F. S. “*Caracterização Geotécnica E Definição De Parâmetros Hidráulicos E De Resistência De Um Rejeito De Minério De Ferro.*” In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 16., 2012, Porto de Galinhas. Anais eletrônicos... Porto de Galinhas: ABMS, 2012. 8 p.
- BASTOS, L. A. de C. “*Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária.*” Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal De Ouro Preto, 2013, 97 p. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6523>>. Acesso em: 16 fev 2022.
- BUSCH, R. G.; ABRÃO, P. C.; OLIVEIRA, S. L.; ABRÃO, G. S.; NETO, A. DA C. S. “*Barragem executada com rejeitos de minério de ferro.*” In: REGEO/ Geossintéticos, 4., 1999, São José dos Campos. Anais eletrônicos ... São José dos Campos: ITA, 1999. 11 p.
- CAMPANHA, Â. “*Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro para Uso em Pavimentação.*” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2011, 86 p. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3752>>. Acesso em 15 fev 2022.
- CÂNDIDO, Vivian Bignoto da Rocha. “*Estudo do Rejeito de Minério de Ferro e Misturas com Solo Compactado.*” 2020. 71 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2020.
- CARNEIRO, A. A. “*Comportamento mecânico de um rejeito de minério de ferro estabilizado com polímero e do compósito rejeito-polímero reforçado com fibras de polipropileno.*” Tese de Doutorado, Publicação G.DM- 162/20 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2020, 146p. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/39772>>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- COELHO, E. F. F. “*Estudo do comportamento mecânico de rejeitos de minério de ferro reforçados com fibras sintéticas.*” Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Ouro Preto, 2008, 83 p. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/3154>>. Acesso em: 17 fev 2022.
- DANTAS, A. A. N. “*Avaliação do comportamento mecânico, geoquímico, mineralógico e geoambiental de um rejeito de minério de ferro incorporado a um solo laterítico para fins rodoviários.*” Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília, 2019, 226 p. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/37720>>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- DANTAS, A. A. N. “*Caracterização de resíduos oriundos do beneficiamento do minério de ferro para uso em pavimentação.*” Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015, 107p. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/19871>>. Acesso em: 03 mar 2022.

- ECHEVERRI VERGARA, J. “*Aplicabilidade dos rejeitos de mineração de ferro para utilização em filtros de barragens.*” Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geotecnia), Universidade de Brasília, 2012, 112 p. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/13648>>. Acesso em 16 fev 2022.
- FERREIRA, J. P.; SANTOS, F. M. A.; TAVARES, S. G.; AGUILAR, M. T. P. “*Obtenção de geopolímero a partir do metacaulim com adição de rejeito de mineração depositado na Barragem de Córrego do Feijão (Brumadinho – MG, Brasil).*” In: CONRESOL – CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 3., 2020, Gramado-RS. Anais eletrônicos... Gramado, 2020. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/V-005.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- FONSECA, R. F.; VILLAR, L. F. S. “*Caracterização Geotécnica e Reológica de um Rejeito de Minério de Ferro.*” In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. Anais eletrônicos... Goiânia: ABMS, 2014. 8 p.
- GRATÃO, L. S.; PEREIRA, E. L.; RIBEIRO, L. F. M. “*Utilização de um rejeito de mineração como alternativa para estabilização de um solo tropical da região Centro-oeste.*” In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 13., 2006, Curitiba. Anais eletrônicos... Curitiba: ABMS, 2006. 6 p.
- OLIVEIRA, T. M. de. “*Caracterização de misturas de rejeitos de minério de ferro melhoradas com adição de cimento com vistas à aplicação em estradas e aterros.*” Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental), Universidade Federal de Viçosa, 2013, 88 p. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3807>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- RODRIGUES, K. H. P. “*Estudo de estabilização granulométrica de solos utilizando rejeito de mineração.*” Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018, 108 f. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/9879>>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- SALGADO, L. de M. “*Blocos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de mineração e cinzas de bagaço de cana de açúcar.*” Dissertação de Mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2018, 88 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/32353>>. Acesso em: 6 mar 2022.
- SANTOS, T. G. “*Reaproveitamento de rejeitos de minério de ferro e ouro com base em uma caracterização tecnológica e geoambiental.*” Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2018, 91 p. Disponível em:<<https://repositorio.unb.br/handle/10482/34120>> . Acesso em: 25 fev. 2022.
- SILVA, R. G. O. da. “*Caracterização de concreto asfáltico elaborado com rejeitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero.*” Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017, 205 p.
- SILVEIRA, V. L.; NETTO, Q. M.; GUIMARÃES, A. C. R. (2018) “*Caracterização de agregado oriundo de mineração para uso em pavimentação.*” In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 19., 2018, Salvador. Anais eletrônicos... Salvador: ABMS, 2018. 10 p.
- TONG, Jiannan; NIU, Xujing; WANG, Yonghua; LU, Yunhua. “*Strength Characteristics of Iron Tailings Blended Soil as a Road Base Material*”. Applied Sciences, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 7587, 18 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11167587>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/16/7587/htm>>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- Vivian Bignoto da Rocha Cândido; Cátia de Paula Martins; Paula Rosa Monteiro. “*Revisão Bibliográfica: Utilização de Rejeito de Minério de Ferro na Geotecnia.*” In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/revisao-bibliografica-da-utilizacao-de-rejeito-de-minerio-de-ferro-na-geotecnia?lang=pt-br>> Acesso em: 16 jan. 2023.