

Antônio Marcus Gomes Alves
Pedro Henrique Martins Santos

***AVALIAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO PROVENIENTE DO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA-MG COMO SUBSTITUTO
PARCIAL DE AGREGADOS MIÚDOS CONVENCIONAIS EM ARGAMASSAS
CIMENTÍCIAS***

Ouro Branco – Minas Gerais
Julho de 2023

Antônio Marcus Gomes Alves

Pedro Henrique Martins Santos

***AVALIAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO PROVENIENTE DO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA-MG COMO SUBSTITUTO
PARCIAL DE AGREGADOS MIÚDOS CONVENCIONAIS EM ARGAMASSAS
CIMENTÍCIAS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil, da Universidade Federal de São
João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como
requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Anderson Ravik dos Santos

Ouro Branco – Minas Gerais
Julho de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a	Santos, Pedro Henrique Martins. Avaliação de rejeito de minério de ferro proveniente do rompimento da barragem de Fundão em Mariana como substituto parcial de agregados miúdos convencionais em argamassas cimentícias./ Pedro Henrique Martins Santos; Antônio Marcus Gomes Alves; orientador Anderson Ravik dos Santos. -- Ouro Branco, MG, 2023. 8 f. il. Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) - Universidade Federal de São João del-Rei, 2023. 1. Argamassas 2. Matrizes de cimento Portland 3. Agregados residuais 4. Rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) 5. Manejo de resíduo I. Alves, Antônio Marcus Gomes II. Santos, Anderson Ravik dos, orient. III. Título.
-------	---

Antônio Marcus Gomes Alves

Pedro Henrique Martins Santos

**AVALIAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO PROVENIENTE DO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA-MG COMO
SUBSTITUTO PARCIAL DE AGREGADOS MIÚDOS CONVENCIONAIS EM
ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei,
Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.*

Aprovado em 04 de julho de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 ANDERSON RAVIK DOS SANTOS
Data: 12/07/2023 18:00:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Anderson Ravik dos Santos
(Professor Orientador)

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO NEVES DUARTE
Data: 12/07/2023 17:52:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte
(Professor da Engenharia Civil da UFSJ)

Documento assinado digitalmente
 DOUGLAS MOL RESENDE
Data: 11/07/2023 19:20:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Douglas Mol Resende
(Avaliador convidado)

Documento assinado digitalmente
 VICTOR REZENDE CARVALHO
Data: 12/07/2023 15:15:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Civil Me. Victor Rezende Carvalho
(Avaliador convidado)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a Deus, que nos concedeu força, sabedoria e perseverança durante todo o processo de elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Além disso, nosso profundo agradecimento ao orientador, Anderson Ravik dos Santos. Sua orientação, conhecimento e apoio ao longo de todo o processo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação, disponibilidade e comprometimento foram essenciais para que pudéssemos enfrentar os desafios e superar as dificuldades que surgiram ao longo do caminho. Somos imensamente gratos pela sua paciência, orientações valiosas e incentivo constante.

Gostaríamos também de estender os agradecimentos ao Laboratório de Materiais de Construção, em especial à técnica Andreia da Conceição de Faria. Agradecemos imensamente pela generosidade em compartilhar seu conhecimento e expertise na área. Seu apoio durante as análises laboratoriais e sua disposição em responder nossas dúvidas foram de inestimável valor para o avanço do trabalho. Sem sua colaboração, seria impossível alcançar resultados significativos.

Expressamos nossa gratidão ao Laboratório de Geotecnia e Estradas, especialmente ao técnico Marcus Fillipe Marinho Reis. Seu conhecimento e assistência nas atividades do laboratório foram fundamentais para a obtenção de dados relevantes e confiáveis. Sua dedicação e profissionalismo contribuíram significativamente para o sucesso desta pesquisa.

Agradecemos também a todos os outros colegas, professores e funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Suas contribuições e encorajamentos foram valiosos ao longo dessa jornada. Sem a ajuda e apoio de cada um, este trabalho não seria possível. Somos extremamente gratos por ter tido a oportunidade de contar com pessoas tão especiais ao nosso lado.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção. ” (Paulo Freire)

AVALIAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO PROVENIENTE DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA-MG COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE AGREGADOS MIÚDOS CONVENCIONAIS EM ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS

Antônio Marcus Gomes Alves¹; Pedro Henrique Martins Santos²

1: Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Brasil
Campus Alto Paraopeba (CAP)
Rod. MG 443, KM 7 Fazenda do Cadete, Ouro Branco - MG 36495-000
<https://www.ufsj.edu.br/cap/>

Resumo As atividades de mineração desempenham um papel de grande importância na economia brasileira, porém são responsáveis por impactos ambientais severos, relacionados ao grande volume de resíduos gerados. Os acidentes ocorridos em Mariana e Brumadinho são exemplos dos problemas causados pelo acúmulo e gestão inadequada desses resíduos, sendo necessário buscar alternativas para reduzir sua geração e disposição em barragens e pilhas. O presente trabalho trata da utilização do rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) proveniente do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, como substituto parcial da areia na produção de argamassas para a construção civil. O objetivo do estudo é avaliar os efeitos dessa substituição, considerando o desempenho da argamassa produzida quanto às propriedades mecânicas de resistência à compressão e ao arrancamento. A composição dos traços de argamassa foi determinada substituindo a areia fina e média fina por diferentes porções de rejeito. Os resultados obtidos apontam que a substituição da areia não é a opção mais viável para a incorporação do RBMF na produção de argamassa, sendo indicado para pesquisas futuras explorá-lo como adição. Ainda assim, a substituição com melhor desempenho foi aquela com o menor teor de rejeito no lugar de 25% da parcela fina de areia, que pode ter otimizado a distribuição granulométrica, contribuindo no empacotamento das partículas.

Palavras-chave: matrizes de cimento Portland; argamassas; agregados residuais; rejeito de barragem de minério de ferro; manejo de resíduos

Abstract Mining activities play a significant role in the Brazilian economy. However, they are responsible for severe environmental impacts related to the large volume of waste generated. The accidents in Mariana and Brumadinho are examples of the problems caused by the accumulation of these wastes, necessitating the search for alternatives to reduce their availability. This study focuses on the utilization of iron ore tailings from the rupture of the Fundão Dam in Mariana as a partial substitute for sand in mortar production for the construction industry. This study aims to evaluate the effects of this substitution, considering the performance of the produced mortar in terms of compressive and pull-out strength. The composition of the mortar mixtures was determined by replacing the fine and medium-fine sand with different proportions of the iron ore tailings. The results indicate that sand replacement is not the most viable option for incorporating iron ore tailings into mortar production, suggesting that further research should explore the use of tailings as an as a mineral admixture. Nonetheless, the replacement with the best performance was the one with the lowest tailings content, replacing 25% of the fine sand fraction, which may have contributed to a better gradation in the granulometric range and consequently improved particle packing.

Key-words: mortar, iron ore tailings, sand substitution, environmental impacts

1. INTRODUÇÃO

A atividade de mineração teve sua origem nos primórdios das civilizações, de forma discreta. No entanto, com a chegada da revolução industrial e o rápido crescimento populacional, experimentou um considerável incremento, assumindo um papel vital para a subsistência da humanidade (Leite et al, 2017). Minas Gerais é amplamente reconhecido como o principal estado produtor de minerais do Brasil. A mineração está presente em mais de 250 municípios do estado, sendo que entre os dez maiores municípios mineradores do país, sete estão em Minas Gerais (JUNIOR; OLIVEIRA, 2022).

Embora a mineração desempenhe um papel de grande importância no cenário da economia nacional, é importante ressaltar seu potencial impacto ambiental, devido à produção de resíduos gerados durante o processo de beneficiamento (Andrade, 2014). Segundo Luz (2018), a maioria dos minérios, rochas ou minerais encontrados na crosta terrestre requer algum tipo de beneficiamento para aprimorar suas propriedades físicas e/ou características químicas, a fim de torná-los adequados para uso. O tratamento ou beneficiamento de minérios consiste na separação física ou físico-química dos minerais valiosos dos não valiosos, também conhecidos como ganga. Esse processo tem como objetivo obter uma porção enriquecida, o concentrado, que contém a maior parte dos minerais valiosos, ou simplesmente realizar ajustes na granulometria ou forma dos minerais. Em um sentido mais tradicional, o intuito do tratamento é obter produtos demandados pelo mercado, sem modificar a identidade física e/ou química dos minerais (LUZ, 2018).

De acordo com informações fornecidas pelo Inventário de Resíduos da Mineração, aproximadamente 289 milhões de toneladas de resíduos provenientes do beneficiamento de minério são produzidos anualmente no Brasil. Desta quantidade, cerca de 94,58% é destinada a barragens, enquanto 2,87% é alocada em pilhas de rejeitos. Surpreendentemente, apenas 0,003% ou cerca de 9,9 mil toneladas são efetivamente reutilizadas (FELICETTI, 2018). Na última década foram observados graves problemas ambientais desencadeados por desastres envolvendo o rompimento de barragens de rejeitos. Os acidentes ocorridos em Mariana (MG), em 2015 e posteriormente em Brumadinho (MG), em 2019, serviram de alerta a respeito das complicações geradas pela produção e acúmulo de rejeitos de minério de ferro (RBMF), subproduto da mineração do ferro.

O acidente ocorrido na barragem de Fundão, no município de Mariana (MG), liberou cerca de 39,2 milhões de metros cúbicos de RBMF em uma área de 650 km de extensão (ROJAS E PEREIRA, 2017), obrigando a população da região a conviver com as consequências da inserção desse material no meio ambiente. Segundo Carneiro (2018) a ruptura da barragem de rejeitos pode ter efeitos ambientais significativos na qualidade e disponibilidade da água, na vegetação ribeirinha, na fertilidade do solo e na microbiota. Esses efeitos são causados tanto pelo acúmulo de sedimentos como pela sua toxicidade, especialmente devido à presença de amins, o que pode aumentar o pH da água e do solo.

Com o intuito de mitigar o impacto ambiental do RBMF proveniente da tragédia ocorrida em Mariana, muitos estudos propõem a utilização deste rejeito na concepção de materiais de construção civil, em especial argamassas. A composição da argamassa consiste basicamente em cimento, água e areia, sendo também bastante comum a adição de cal hidratada. Ao incorporar o RBMF como parte da composição da argamassa, é possível reduzir a demanda por recursos naturais além de propor um novo destino ao material residual disposto no meio ambiente. Schiller et al. (2022), por exemplo, mostraram que a substituição dos materiais comumente utilizados por RBMF na composição de argamassas pode trazer resultados satisfatórios; melhorando parâmetros físicos e influenciando nas propriedades mecânicas das misturas.

Fontes (2013), também avalia que é viável utilizar rejeito como matéria-prima de argamassas de assentamento, gerando a redução de impactos ambientais provocados pelas atividades mineradoras. Os resultados evidenciaram que é viável utilizar RBMF em argamassas, como substituto da cal em até 20%, mantendo a trabalhabilidade da mistura; enquanto argamassas produzidas com substituição de agregado natural por RBMF requereram maiores quantidades de água para atingir a mesma trabalhabilidade das argamassas convencionais. Junior e Oliveira (2022) também empregaram RBMF na produção de argamassas, substituindo parcialmente o agregado miúdo convencional em 25, 50 e 100%, em massa. Os resultados obtidos reforçam o potencial do uso de RBMF na produção de argamassas, destacando-se o traço com 25% de resíduo, que apresentou o melhor desempenho mecânico e parâmetros de durabilidade.

Como visto, a incorporação de RBMF em argamassas pode gerar benefícios econômicos, ambientais e sociais, desde que todos os procedimentos sejam realizados com responsabilidade e rigor técnico. Para tanto, é crucial garantir que o rejeito seja devidamente tratado e atenda aos requisitos de qualidade e segurança necessários na construção civil. Além disso, é fundamental realizar testes e estudos adequados para avaliar as propriedades e o desempenho da argamassa produzida com o RBMF, a fim de garantir sua eficiência e durabilidade. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a utilização do RBMF proveniente do rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana, como substituto parcial da areia na produção de argamassas. Uma iniciativa que visa reduzir a disponibilidade de rejeitos dispostos no meio ambiente, além de diminuir o custo de produção da areia, essencial na construção civil, por meio de teores de substituição estratégicos de sua parcela fina e média-fina.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais e caracterização

O RBMF utilizado, disponibilizado pela empresa Vale do Rio Doce, foi coletado e tratado pela mineradora Pedras Congonhas, sob protocolos sigilosos. O rejeito é composto prioritariamente de óxido de Ferro (58%) e sílica (40%) e suas partículas encontram-se numa faixa granulométrica de 0,01 a 70µm, sendo, em média, 50% do material inferior a 8,16µm (Coura, 2018). No presente trabalho, o rejeito foi ainda caracterizado quanto ao limite de liquidez e limite de plasticidade.

Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, para avaliar a plasticidade e consistência do RBMF, foram realizados seguindo as diretrizes da NBR 6459 (ABNT, 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente. Para tanto foram utilizados 200g de RBMF homogeneizado com água destilada, e cada procedimento foi repetido sete vezes. Ao final de cada experimento, o recipiente contendo o material foi levado à estufa por período de 24 horas para se determinar o teor de umidade.

Além do RBMF, foram utilizados para a composição dos traços areia lavada de rio, disponível no Laboratório de Materiais de Construção civil da UFSJ/CAP, e cimento Tupi, tipo CP II E 32. A areia foi submetida ao ensaio de granulometria, realizada em duplicata, utilizando conjunto de peneiras de 4,8; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15mm em agitador de peneiras Bertel, durante 15 minutos.

2.2. Composição dos traços

Para determinação dos traços das amostras, foi utilizada como referência a argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48 proposta pela NBR 7215 (ABNT, 2019) que especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland. A Tabela 1 contém a quantidade de material necessária para moldar seis corpos de prova de argamassa, segundo a norma. Este traço foi utilizado como amostra de controle.

Tabela 1 – Quantidade de Materiais propostos pela NBR 7215 (ABNT, 2019)

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland	624 ± 0,4
Água	300 ± 0,2
Areia normal (fração grossa: 2,4 - 1,2mm)	468 ± 0,3
Areia normal (fração média grossa: 1,2 - 0,6mm)	468 ± 0,3
Areia normal (fração média fina: 0,6 - 0,3mm)	468 ± 0,3
Areia normal (fração fina: 0,30 - 0,15mm)	468 ± 0,3

A partir desta amostra de controle, foram produzidos oito traços de argamassa substituindo a areia por RBMF. Primeiramente, a areia de granulometria fina (F) foi substituída em teores de 25%, 50%, 75% e 100% de RBMF. Mantendo a substituição total da parcela fina de areia pelo rejeito, a parcela média fina (MF) também passou a ser substituída por RBMF em teores de 25%, 50%, 75% e 100%. A Tabela 2 apresenta os traços utilizados, em massa, com as amostras de argamassa com rejeito nomeadas de MF100F75 a MF100F100, a medida que o teor de RBMF diminui. Vale ressaltar que a quantidade de água empregada nos traços com RBMF substituindo a areia fina (MF100F75 a MF100F0) foi a mesma do traço de referência. As demais amostras, em que o RBMF substitui a areia fina e média fina (MF75F0 a MF0F0), demandaram maior quantidade de água devido à perda de trabalhabilidade durante a mistura. Esse acréscimo de água foi fixado e definido em 104 gramas, quantidade julgada necessária para viabilizar a trabalhabilidade do material.

Tabela 2 – Traços utilizados (medidas em gramas)

Traços	Cimento	Água	Areia Grossa	Areia média grossa	Areia média fina	Areia fina	Rejeito
$T_{ref.}$	624	300	468	468	468	468	0
MF100F75	624	300	468	468	468	351	117
MF100F50	624	300	468	468	468	234	234
MF100F25	624	300	468	468	468	117	351
MF100F0	624	300	468	468	468	0	468
MF75F0	624	404	468	468	351	0	585
MF50F0	624	404	468	468	234	0	702
MF25F0	624	404	468	468	117	0	819
MF0F0	624	404	468	468	0	0	936

A mistura dos materiais foi realizada por meio de uma argamassadeira Voges. Foram confeccionados seis corpos de provas cilíndricos para cada traço, em moldes de 50 mm de diâmetro e 100mm de altura, untados com desmoldante. Ainda no molde, as argamassas foram compactadas manualmente em quatro camadas com a ajuda de um socador metálico. Após 24 horas da confecção dos corpos de provas as amostras foram desmoldadas e submersas em um tanque de água saturada com cal. A quantidade sobressalente de argamassa produzida foi utilizada para fixar três pequenos revestimentos cerâmicos (50x50mm) visando a realização do ensaio de arrancamento. O fluxograma apresentado na Figura 1 resume os materiais utilizados e sua caracterização, além dos procedimentos envolvidos na produção dos corpos de prova de argamassa.

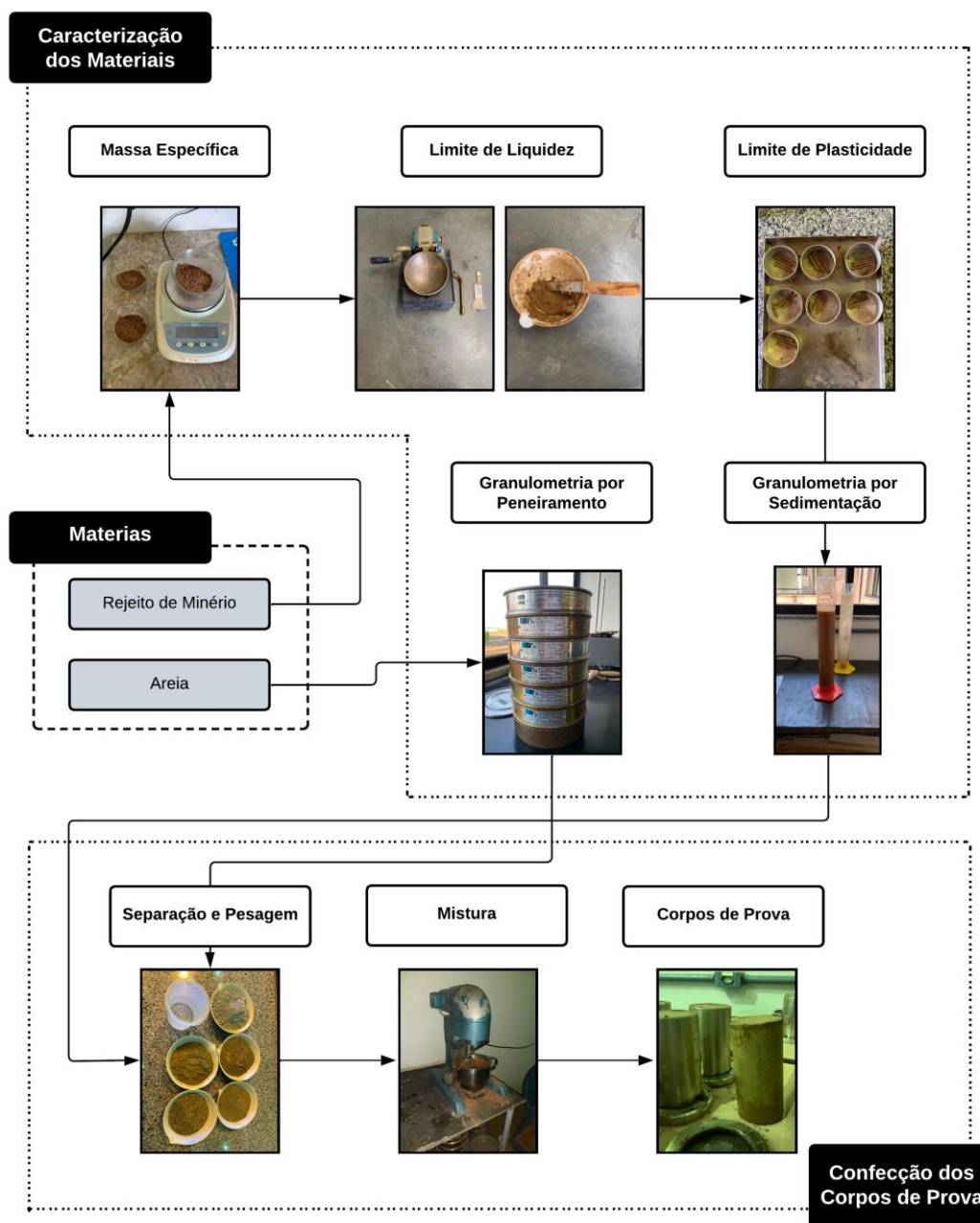


Figura 1 – Fluxograma de procedimentos até a confecção dos corpos de prova

2.3. Ensaios

Após 7, 14 e 28 dias os corpos de provas foram submetidos ao Ensaio de Resistência a Compressão, de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 2019), utilizando prensa hidráulica Pavitest e dois corpos de prova para cada tempo. Depois dos 28 dias, os revestimentos cerâmicos fixados com as argamassas produzidas passaram pelo Ensaio de Arrancamento, seguindo as exigências da NBR 13528 (ABNT, 1995). Para tanto, as chapas metálicas com superfície rosqueável foram coladas sobre o material cerâmico utilizando super cola e o ensaio foi procedido com aparelho para teste de arrancamento da fabricante ACM equipamentos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização do rejeito

Os valores de teor de umidade registrados assim como o número de golpes necessários para fechar a ranhura feita nas amostras de RBMF, resultaram em um limite de liquidez de 19,75%. Não foi possível, entretanto, aferir o índice de plasticidade do Rejeito, uma vez que o material não apresentou características plásticas, não possuindo um Limite de Plasticidade definido. Ainda que o RBMF se difira do solo em origem, composição e estrutura física, ele apresenta o comportamento típico de um silte inorgânico ou areia muito fina, segundo a Classificação dos solos (SUCS): granulometria menor que 0,75 μm ; LL menor 50% e nenhuma rigidez (VARGAS, 2007). O ensaio de granulometria da areia resultou na curva granulométrica apresentada na Figura 2. Percebe-se que a areia é bem graduada e, mesmo em comparação às suas menores partículas, possui granulometria muito superior à do RBMF, que apresenta grãos de em média, 0,008 mm (COURA, 2018).

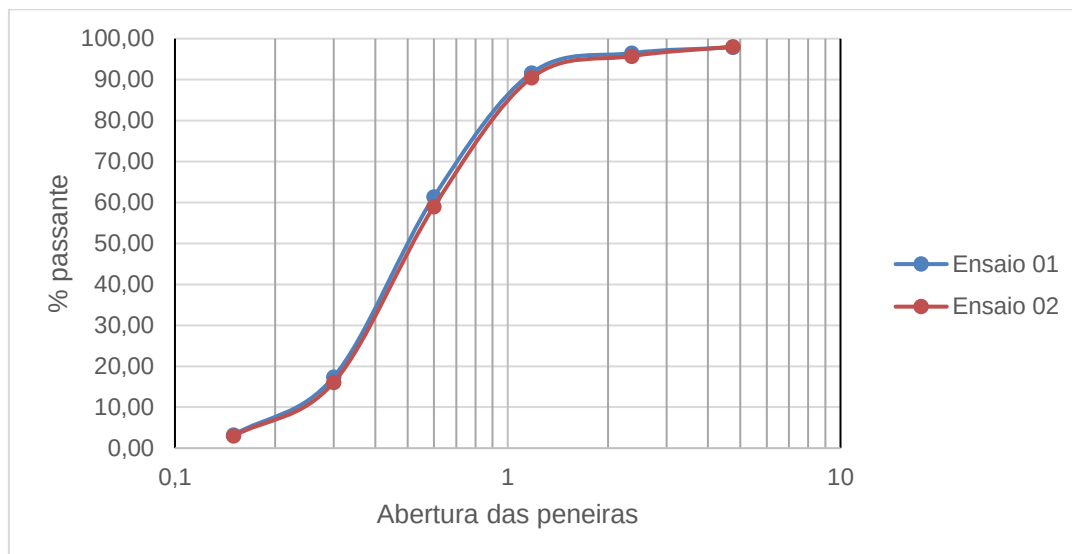


Figura 2 - Curva Granulométrica da areia

3.2. Resistência à Compressão

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova em três tempos de cura da argamassa.

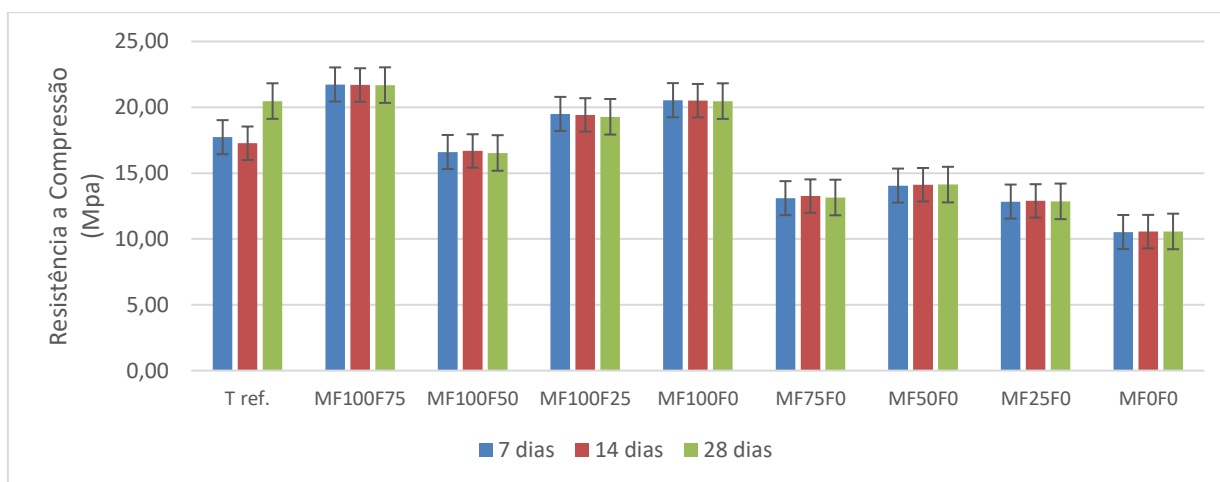


Figura 3 – Resistência à compressão das amostras

Analisando os resultados obtidos, observou-se que as amostras em que a parcela fina da areia foi substituída por RBMF, (MF100F75 a MF100F0) demonstraram um melhor desempenho em comparação às demais, tendo três delas superado o traço de referência. A amostra MF100F75, aquela que possui menor teor de rejeito, foi a que obteve o maior índice de resistência à compressão. A incorporação do RBMF em menor teor provavelmente auxiliou no empacotamento das partículas, preenchendo vazios deixados pela areia fina (ALMADA, 2022).

Percebe-se que a substituição da areia por RBMF em maiores teores não é melhor solução para a incorporação do material na produção de argamassas. Isso porque uma consequência do aumento do teor de RBMF é a maior demanda de água, como foi percebido ao preparar as amostras MF75F0 a MF0F0. Sabe-se que o aumento de água na mistura reduz as propriedades mecânicas das argamassas (AMANCIO, 2021). Almada (2022) também reforça que uma maior proporção de RBMF requer maior quantidade de água e leva à redução da trabalhabilidade. Isso pode ser devido à forma irregular e porosidade das partículas (SHETTIMA, 2016).

Além do fator água/cimento, a maior incorporação de RBMF afeta o empacotamento dos grãos. Como visto no ensaio granulométrico, as partículas de areia, ainda que as menores possíveis, têm dimensões extremamente superiores às partículas de RBMF. Logo, substituir a areia pelo rejeito transforma o agregado bem graduado em um material com graduação aberta, principalmente na ausência dos grãos médios finos. Além disso, partículas mais finas têm maior tendência à aglomeração, o que resultando em um empacotamento menos eficiente dos grãos (LOPES, 2019). Kwan, Ng e Huen (2014) destacam os dois efeitos opostos do teor de finos: em quantidades menores, os finos preenchem os vazios entre as partículas maiores aumentando a densidade do empacotamento do agregado miúdo. Em quantidades maiores, a finura elevada aumenta a área superficial do agregado miúdo, diminuindo a espessura da película de pasta em torno dos agregados.

3.3. Resistência ao Arrancamento

Inicialmente, pretendeu-se manter o traço utilizado para o ensaio de arrancamento igual ao dos corpos de prova ensaiados à compressão. Entretanto, devido à baixa adesão entre a argamassa e as pastilhas, apresentada pelas amostras MF75F0 a MF0F0 em pré-testes, foi necessário aumentar a quantidade de água nelas em 5% em relação aos traços originais, apresentados na Tabela 2. Ainda assim, durante o processo de cura das argamassas, algumas amostras apresentaram descolamento do substrato antes do período de 28 dias (uma da MF100F0 e duas das MF100F25 e MF100F75) o que exigiu seu descarte, comprometendo os valores médios calculados. Por sua vez, todos os corpos de prova possíveis de serem ensaiados apresentaram rompimento na interface argamassa-substrato. Os resultados obtidos são compilados graficamente na Figura 4.

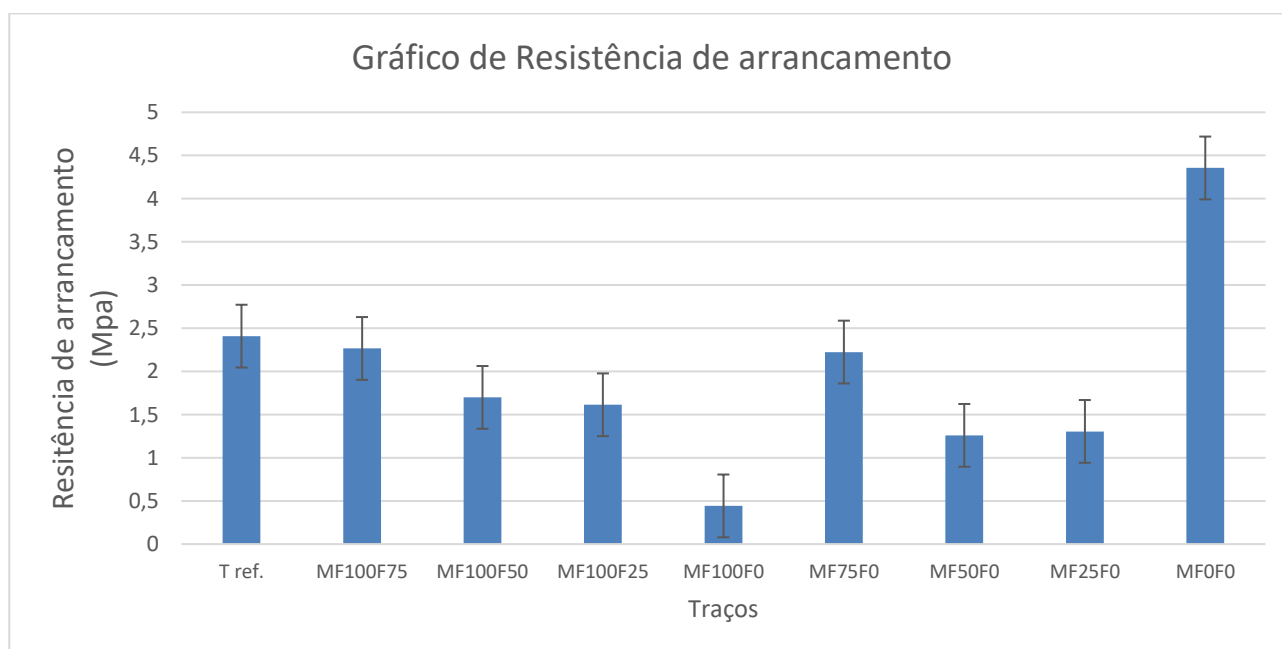


Figura 4 - Resistência ao arrancamento

Percebe-se que a amostra MF100F75, aquela com maior teor de RBMF, obteve destaque no ensaio de arrancamento, alcançando resistência superior à amostra de referência em 80%. Vale lembrar que foi possível realizar o ensaio para as três amostras de ambos os traços. Como a adesão na argamassa refere-se à capacidade do material de se ligar e aderir a uma superfície, acredita-se que a amostra com maior teor de RBMF é capaz de preencher os vazios e rugosidades presentes na superfície de aplicação, aumentando a área de contato e melhorando a aderência, já que partículas finas aderem mais ao substrato (FELICETTI, 2008). Outro fator que se deve destacar é que partículas mais finas retêm maior quantidade de água, melhorando a aderência e justificando o valor de resistência da amostra MF0F0.

4. CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a utilização do RBMF proveniente do rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana, como substituto parcial da areia na produção de argamassas para a construção civil. Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que a substituição da areia não é a opção mais viável para a incorporação do RBMF na produção de argamassa, sendo mais provável que o rejeito desempenhe um melhor papel como adição. Os ensaios de resistência à compressão reforçam esta hipótese, visto que o rejeito melhorou a performance das amostras somente quando utilizado em menor teor no lugar da parcela fina da areia. Neste caso o RBMF funcionou como um complemento à faixa granulométrica do agregado, preenchendo possíveis vazios e auxiliando no empacotamento das partículas.

Em relação à resistência ao arrancamento, as amostras não apresentaram a trabalhabilidade e adesão adequadas para a realização plena do ensaio, sendo que a falta de umidade nos traços dificultou a colagem das pastilhas na placa de concreto. Além disso foram encontradas limitações quanto aos equipamentos e disponibilidade de materiais. Estes fatores afetaram a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. Desta forma, para garantir a validade dos dados e obter uma análise mais precisa, é essencial que o ensaio seja refeito, utilizando métodos e condições aprimorados para superar os entraves anteriores e obter resultados mais confiáveis, capazes de embasar futuras análises e tomadas de decisão.

Sendo assim, fica como recomendação a continuidade deste trabalho com algumas alterações: utilizar o RBMF como adição em detrimento à substituição de agregados na proposição de argamassas; compor traços diferentes para cada ensaio, de acordo com a finalidade de aplicação da argamassa, de preferência equivalentes aos traços usuais utilizados em canteiros de obra; realizar uma maior gama de ensaios envolvendo análises de durabilidade, resistência estrutural e comportamento em condições ambientais adversas, a fim de garantir a segurança e a eficiência do material de construção nos mais diversos âmbitos; analisar a utilização desse RBMF em substituição da cal, dado a sua alta capacidade de retenção de água e proximidade na escala granulométrica.

REFERÊNCIAS

- ALMADA, Bruna Silva et al. Propriedades mecânicas e indicadores de durabilidade de argamassas com adição de rejeito de minério de ferro. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 19, p. 1-11, 2022.
- AMANCIO, Felipe Alves et al. Estudo do comportamento no estado fresco e endurecido de argamassa com escória de aciaria BSSF. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, 2021.
- ANDRADE, L. C. R. (2014). Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 96p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT) - NBR 6459: SOLO – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro/RJ, 2017
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR 7180 – Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2019.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração, Rio de Janeiro, 1995
- CARNEIRO, G. S. G. Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG. Uberlândia 2018.
- COURA, Ítalo Rocha. Avaliação do processamento de compósitos baseados em polietileno de alta densidade e rejeito de mineração de ferro. Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Santiago de Oliveira. 72f. Dissertação (Mestrado) – Ciência e Desenvolvimento de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- FELICETTI, Marcos Alceu. Investigação da influência do tamanho das partículas de materiais pulverulentos sobre a força de adesão em diferentes substratos aplicando a técnica centrífuga. Tese de Doutorado: ENGENHARIA QUÍMICA, UFSCAR/ENGENHARIA QUÍMICA, p. 285, 2008.FEMA, Inventário de barragens do estado de Minas Gerais ano 2017, FEAM, Belo Horizonte, 2018.
- FONTES, Wanna Carvalho. Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)

- Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

JUNIOR, Wallyson Rodrigues de Paula; OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza. Avaliação da utilização do rejeito de minério de ferro na formulação de argamassas. Research, Society and Development, [S. l.], p. 2, 9 mar. 2022.

KWAN, A. K. H.; NG, P. L.; HUEN, K. Y. Effects of fines content on packing density of fine aggregate in concrete. Construction and Building Materials, v. 61, p. 270-277, 2014.

LEITE, Amália Lima; FREITAS, Ivna Gomes; OLIVEIRA, Estephano Bessa; MARINO, Márcia Thelma R. D. ATIVIDADE MINERADORA E IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA EMPRESA CEARENSE: Uso e ocupação das terras e legislação ambiental. I Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas, p. 7282, 2 jul. 2017.

LOPES, Herbert Medeiros Torres. Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, p. 174, 26 abr. 2019.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. In: Tratamento de minérios, 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap.1. p.3-3.

ROJAS, C. M.; PEREIRA, D. B. O rompimento da barragem de Fundão/MG: reflexões preliminares sobre a modus operandi da Samarco/Vale/BHP. In: ANPOCS, 2017, Caxambu. Anais da ANPOCS. Caxambu: ANPOCS, 2017.

SCHILLER, Ana Paula Sturbelle; PINZ, Francielli Priebbernow; KURZ, Monica Navarini; PALIGA, Charlei Marcelo; TORRES, Ariela da Silva. Análise comparativa de argamassas alternativas produzidas com diferentes tipologias de resíduos. Research, Society and Development, [S. l.], ano 2022, p. 01-11, 10 out. 2022.

SHETTIMA, A. U., HUSSIN, M. W., AHMAD, Y., MIRZA, J. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. Construction and Building Materials, v. 120, p. 72–79, 2016

VARGAS, Milton. Introdução à mecânica dos solos. Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de Sao Paulo, 3ª ed. 2007.