

Aproveitamento do rejeito de minério de ferro da Mina do Andrade para a confecção de blocos intertravados

Raphael Mendes Rosa da Silva¹ 

Rafael Mayrink Nunes¹ 

Francielle Câmara Nogueira² 

Fabiane Leocádia da Silva^{1*} 

Resumo

Este trabalho estuda a possibilidade de aproveitamento do rejeito da concentração de minério de ferro da Mina do Andrade para composição do traço de blocos intertravados de concreto (*Pavers*), em substituição à areia. Inicialmente, foi realizada a caracterização do rejeito através da análise granulométrica, determinação da umidade, análise química e difração de raios-X. Na segunda etapa do trabalho, foram confeccionados corpos de prova dos blocos de concreto com adição do rejeito nas proporções de 0%, 50% e 100% em substituição à parte da areia. Em seguida, foram realizados testes de compressão, de absorção de água e de porosidade, no período de 7 e 28 dias após a construção dos corpos de prova. A caracterização mostrou que esse material possui propriedades físicas similares aos agregados miúdos utilizados em blocos de concreto. Em relação aos corpos de prova construídos com os diferentes traços de concreto, destacou-se o corpo de prova Areia/Rejeito, que após os primeiros 7 dias de cura em água obteve os maiores resultados de força máxima. Após 28 dias, a resistência de todos os corpos de prova aumentaram. Apesar dos corpos de prova não atingirem os parâmetros necessários para imediata aplicação do rejeito como agregado miúdo em pisos intertravados, existe a possibilidade da utilização deste material em substituição parcial da areia na construção de ecoprodutos.

Palavras-chave: *Pavers*; Rejeito de minério de ferro; Sustentabilidade; Pavimentação.

Use of the iron ore tailings from Andrade Mine for production of interlocking concrete pavers

Abstract

This paper evaluates the feasibility of using iron ore tailings from Andrade's Mine concentration plants as an aggregate to compose the trace of interlocking concrete blocks (*Pavers*), in place of the sand. The characterization of the tailings through the particle size analysis, moisture determination, chemical analysis and X-ray diffraction was carried out. The specimens of the concrete blocks were made with proportions 0%, 50% and 100% of tailings/sand. Compressive strength, water absorption and porosity tests were performed with 7 and 28 days after the construction of the specimens. The results showed that this material has physical properties similar to fine aggregates used in concrete blocks. In relation to the specimens constructed with the different concrete traces, the sand/tailings specimen stood out, which after the first 7 days of curing in water obtained the highest maximum strength results. After 28 days, the resistance of all specimens increased. Although the specimens do not reach the necessary parameters for immediate application of the tailings for production of interlocking concrete pavers, there is the possibility of using this material in partial replacement of sand in the construction of eco-products.

Keywords: *Pavers*; Iron ore tailings; Sustainability; Paving.

1 Introdução

A comercialização do minério de ferro possui extrema importância para o desenvolvimento econômico brasileiro.

Entretanto, a extração deste bem mineral é responsável pela geração de grandes impactos sócio-ambientais no país. Isso

¹Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, João Monlevade, MG, Brasil.

²Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

*Autor correspondente: fabiane.silva@uemg.br



porque a quantidade de resíduos gerados no processo de beneficiamento do minério de ferro, que representa o maior volume entre todos os minerais processados no país [1], são dispostos principalmente em barragens de rejeitos que impactam o ecossistema da região e a população devido a instabilidade destas instalações.

O estado de Minas Gerais, maior produtor de minério de ferro do país, possui 347 barragens de minério catalogadas pela Agência Nacional de Mineração em 2022 [2]. Após os acidentes ocorridos devido as rupturas das barragens de Mariana – MG (2015) e Brumadinho – MG (2019) e com o avanço da legislação ambiental, as mineradoras passaram a se interessar no desenvolvimento de tecnologias de gestão de resíduos que resultem em soluções para utilização dos rejeitos gerados em seus processos. Neste sentido, o aproveitamento de rejeitos surge como fator de redução de custos de produção, fonte adicional de renda e diminuição dos impactos ambientais da exploração mineral [3].

A viabilidade de reaproveitamento dos resíduos dispostos nas barragens está diretamente ligado à suas características físicas e químicas, o que torna muito importante a determinação de suas propriedades [4]. Estudos recentes mostram que a construção civil possui grande potencial para aproveitar o rejeito proveniente do beneficiamento de minério de ferro como agregados para fabricação de argamassa, misturas asfálticas, indústria da cerâmica, blocos de concreto e materiais para o setor de pavimentação. A utilização de pavimentos com blocos intertravados de concreto, por exemplo, vem crescendo em todo o mundo, e a confecção desses blocos reutilizando rejeitos de minério de ferro tem se tornado viável, uma vez que as características físico-químicas do rejeito tendem a aumentar a resistência à compressão do concreto. Além disso, a adição deste contribui para reduzir o consumo da matéria prima natural utilizada para a fabricação do concreto e promove um destino para o rejeito do minério de ferro.

Sant’Ana [5] estudou a utilização de resíduos de barragens de minério de ferro para confeccionar blocos intertravados. Os resultados de sua pesquisa mostraram que a utilização deste material trouxe uma redução da porosidade dos blocos e um aumento de densidade, resultando em um aumento de resistência mecânica do mesmo. A análise de Silva [6] com os resíduos da concentração de minério de ferro na produção *pavers* mostrou que existe viabilidade de substituir os agregados finos e grossos na concretagem de blocos. Além do aumento da resistência mecânica, os blocos pré-moldados de concreto não representaram riscos ao meio ambiente quando submetidos a intempéries.

Com as restrições de deposição de rejeitos em barragens, a Mina do Andrade, pertencente ao grupo ArcelorMittal, que implementou em 2020 o Projeto Itabirito cujo objetivo é beneficiar de itabirito friável com teor médio de ferro 52% [7] tem estudado formas de aproveitamento do rejeito gerado em sua planta de beneficiamento. Dentro deste contexto, desenvolveu-se este trabalho que propôs realizar a caracterização e analisar a viabilidade de utilização deste

material para composição do traço de blocos intertravados de concreto, em substituição à areia. Tais blocos, podem ser utilizados na pavimentação de pontos estratégicos da Mina melhorando as vias de acesso, diminuindo a poeira causada pelo tráfego de caminhões e carros diminuindo o impacto impactos socioambientais não somente da atividade mineradora como também da indústria da construção civil.

2 Materiais e métodos

A amostra de rejeito foi coletada na usina de concentração do minério itabirítico da Mina do Andrade pertencente a ArcelorMittal. Para compor a amostra global, foram retiradas 17 alíquotas em pontos aleatórios da pilha de rejeito da Mina do Andrade totalizando 29,9 kg.

A primeira etapa deste trabalho, constituiu a caracterização do rejeito através da análise granulométrica e determinação da umidade. Também foram realizadas a caracterização química e a identificação dos minerais presentes na amostra. Já na segunda etapa do trabalho, ocorreu a confecção dos corpos de prova dos blocos de concreto com adição do rejeito nas proporções de 0%, 50% e 100% em substituição à parte da areia. Em seguida, foram realizados testes de compressão, de absorção de água e de porosidade, no período de 7 e 28 dias após a construção dos corpos de prova.

2.1 Preparação da amostra de rejeito Mina do Andrade

A preparação da amostra inicial para os testes de caracterização envolveu etapas de homogeneização em lona e quarteramento em pilha cônica. A amostra global foi dividida sucessivas vezes produzindo alíquotas com média de 0,133 kg, destinadas a testes granulométricos e a análises química e mineralógica.

2.2 Análise granulométrica do rejeito Mina do Andrade

A caracterização granulométrica do rejeito foi feita por peneiramento a seco, tendo como foco da análise a peneira de abertura de 150 μm , visto que, a construção de blocos intertravados com a substituição de pedriscos por rejeitos grossos (acima de 150 μm) oriundos do processo de concentração de minério de ferro tem potencial para aumentar a resistência mecânica dos blocos de concreto [8].

Foram escolhidas uma sequência de 6 peneiras variando de 2000 μm até 38 μm de abertura. A massa ensaiada no peneiramento foi igual a 0,138 kg e o tempo do ensaio foi de 10 minutos.

2.3 Análise química do rejeito

A determinação dos teores dos elementos e compostos presentes na amostra foi feita via fluorescência de raios X,

no laboratório físico da ArcelorMittal Mina do Andrade. Foi utilizado o espectrômetro *Zetium da Panalytical* para as análises quantitativas. Para garantir redução dos efeitos de matriz e ganhos na reprodutibilidade e exatidão da análise, a amostra foi anteriormente pulverizada e fundida. Para a fusão do rejeito do minério de ferro da Mina do Andrade foram utilizados boratos de lítio na proporção de 0,6 gramas de rejeito para 6 gramas de fundente. Após a preparação, a amostra foi submetida a um tubo de emissão de raios X que excitam seus elementos. Os elementos emitem linhas espectrais com energias características cuja intensidade está relacionada à concentração do elemento na amostra, isto é, cada intensidade elementar medida e convertida em forma de concentração, representando um elemento químico analisado na amostra em questão. O banco de dados para o método analítico quantitativo utilizado foi o Minérios de Ferro, código MAN-2. Neles são analisados os elementos Mn, Fe, P, SiO₂, Al₂O₃, CaO, TiO₂, MgO e outros.

2.4 Análise mineralógica do rejeito

A composição mineralógica foi obtida qualitativamente através da difração de raios X, pelo método do pó. As análises foram efetuadas no difratômetro modelo D2 *Phaser* (Bruker), locado no Laboratório Nanolab da REDEMAT/UFOP. As varreduras foram efetuadas entre 2° e 70°, respectivamente, com *step size* de 0,018°. O tempo de análise foi de aproximadamente 17 minutos, sendo 1 segundo o tempo de passo e 8 rotações por minuto a velocidade de rotação do *spinner*. As fases cristalinas foram identificadas e interpretadas pelo software *X'Pert High Score Plus 3.0 Panalytical*.

2.5 Confeção dos corpos de prova de concreto (blocos intertravados)

Para a confecção dos corpos de prova (CP) foi determinado o traço: cimento, agregado fino e agregado graúdo, na proporção 1:3:2 (em volume) que é o modelo mais convencional utilizado pela maioria dos pedreiros autônomos. As matérias primas (Figura 1) utilizadas para a composição do traço do concreto foram:

- cimento Portland de Alto Forno CP III-32;
- agregado fino: areia comercial e/ou rejeito da concentração de minério de ferro;
- agregado graúdo: Brita 0 de faixa granulométrica entre 2,36 mm e 12,5 mm.

Os agregados finos foram desagregados e secos a temperatura ambiente.

Os corpos de prova confeccionados foram divididos em três grupos: CP Padrão, CP Areia/Rejeito e CP Rejeito, de acordo com a composição de seu traço como mostra a Tabela 1.

Os traços foram produzidos utilizando a proporção de água (0,75) e de cimento foram mantidas constantes de



Figura 1. Materiais utilizados para confecção dos corpos de prova (A) areia comercial; (B) rejeito de minério de ferro; (C) brita 0.

Tabela 1. Composição dos corpos de prova

CP Padrão	CP Areia/ Rejeito	CP Rejeito
1 Cimento	1 Cimento	1 Cimento
3 Areia	1,5 Areia + 1,5 Rejeito	3 Rejeito
2 Brita	2 Brita	2 Brita

acordo com a correlação da resistência à compressão em função de água/cimento - Lei de Abrams [9].

Em todos os testes, os materiais foram misturados à mão, em um recipiente inerte de polipropileno, sendo adicionados na ordem: agregados graúdos, agregados finos, cimento e água. Seguindo as recomendações da NBR 5738/2015, o molde cilíndrico foi confeccionado em material não reagente com o concreto (PVC), com diâmetro da base de 100 mm e altura de 200 mm [10]. Os moldes foram untados com um agente desmoldante à base de cera líquida, gordura orgânica e aditivos para facilitar a remoção do corpo de prova do molde.

O preenchimento do molde com o concreto foi dividido em duas camadas de tamanhos iguais. A compactação do material foi feita utilizando uma haste de extremidade semiesférica.

Em cada camada, foram desferidos 12 golpes em pontos diferentes. Foram confeccionados no total 18 corpos de prova, 6 para cada tipo de traço produzido. Todos foram armazenados em um galpão com umidade, temperatura e luz controladas durante as primeiras 24 horas até o desmoldamento (Figura 2). Em seguida, todos os corpos de prova desmoldados foram identificados e armazenados imersos em água para a cura do concreto.

Para a comparação dos resultados de resistência à compressão e à umidade, os corpos de prova foram divididos em dois lotes de acordo com tempo de cura. O primeiro lote foi retirado da água após 7 dias da desmoldagem e o segundo lote foi removido após 28 dias.

Os valores de absorção de água foram calculados utilizando a Equação 1 seguindo as recomendações da NBR 12118/2010 [11]. A determinação da massa dos corpos

de prova seco foi mensurada após 24 horas em estufa a 100 °C e a determinação da massa saturada dos corpos de prova foram realizadas após 24 horas submersos em água a temperatura ambiente.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

a: absorção total (%); *m₁*: massa do corpo de prova seco em estufa (g); *m₂*: massa do corpo de prova saturado (g).

2.6 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil do Centro Tecnológico (CTec) da UEMG, após a cura de 7 e 28 dias, assim como recomendado na NBR 5738/2015 [10]. Os corpos de prova selecionados foram rompidos utilizando uma prensa hidráulica de capacidade máxima de 2000kN da marca EMIC. Todas as análises foram realizadas no software *INSTRON* Plataforma *Bluehill Universal*, versão 4.03. A Equação 2 foi utilizada para a determinação da resistência à compressão:

$$F_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (2)$$

Em que:

F_c: resistência à compressão, em mega Pascal;

F: força máxima, em Newtons;

D: diâmetro do corpo de prova, em milímetros;

Antes dos ensaios de compressão todos os corpos de prova foram submetidos a um processo de capeamento a base de enxofre conforme orientação da NBR 5738/2015 [10].

3 Resultados e discussão

3.1 Distribuição granulométrica do rejeito Mina do Andrade

A curva granulométrica do rejeito utilizado está apresentada no gráfico da Figura 3.

A granulometria é um parâmetro físico importante na escolha de agregados para fabricação de blocos intertravados de concreto, uma vez que interfere na plasticidade da massa, na porosidade resistência mecânica dos mesmos. Analisando a distribuição granulométrica do rejeito utilizado neste estudo foi possível observar que 66,4% das partículas ficaram retidas nas peneiras de 150 e 106 μm.

O percentual máximo de material passante na peneira 75μm estabelecido pela norma NBR 7211 para agregados miudos pode variar entre 3 e 5%, para os concretos submetidos e protegidos do desgaste superficial, respectivamente [12]. O rejeito deste estudo apresentou ordem de 14,5% menores que 75 μm. o modulo de finura da amostra analisada foi igual a 86,71 classificando a areia como fina.

A caracterização granulométrica de uma amostra de rejeito de sinter feed realizada por Costa et al. [3] mostrou

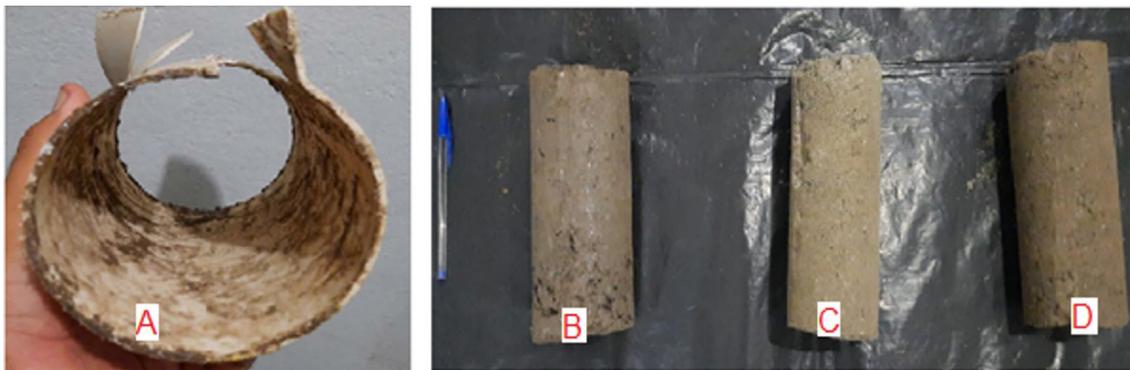


Figura 2. Desmoldagem corpos de prova (A); Molde (B) CP Rejeito (C); CP Padrão (D); CP Areia/Rejeito.

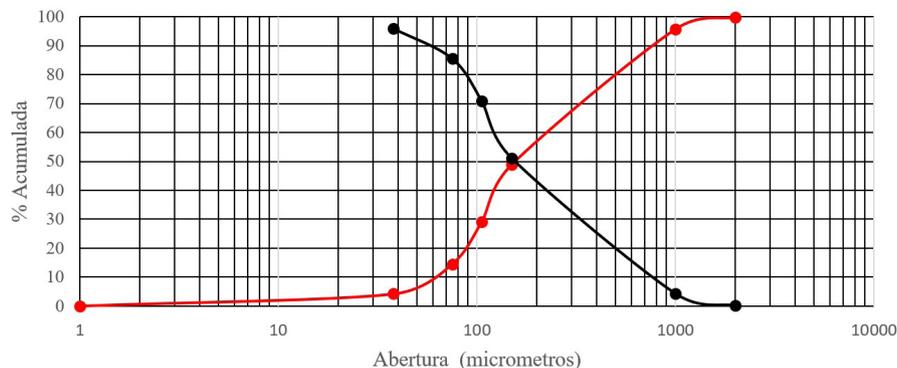


Figura 3. Curva granulométrica do rejeito Mina do Andrade.

valores distintos dos encontrados nesta pesquisa. O material estudado por estes autores apresentou características de uma areia grossa, no limite superior da faixa ótima da norma NBR 7211 e com módulo de finura igual a 3,09 e baixa porcentagem de material retido nas peneiras 0,3 e 0,15 mm [3].

3.2 Caracterização química do rejeito Mina do Andrade

A análise química do rejeito está apresentado na Tabela 2. O teor de sílica (SiO_2) ficou próximo a 65% e o teor de ferro contido no rejeito foi igual a 18,31%. Os autores Costa et al. [3] também caracterizaram uma amostra de rejeito de sinter feed visando o aproveitamento do mesmo como agregado na produção do concreto e encontraram teores iguais a 55,85% Fe e 14,78% SiO_2 . Resultados semelhantes foram obtidos por Gomes et al. [13] ao realizarem a caracterização dos finos de uma barragem de rejeito da mineração de ferro do Quadrilátero Ferrífero/MG encontrando teores médios de 48,08% de Fe_2O_3 , 20,58% de SiO_2 e 3,16% de Al_2O_3 . A literatura mostra que os rejeitos de minério de ferro são constituídos basicamente por óxidos de ferro, óxido de silício e óxido de alumínio. Entretanto, a distribuição desses compostos depende principalmente do processo de beneficiamento do minério de ferro, do tipo de minério que foi beneficiado e da profundidade de coleta das amostras dentro das barragens. Andrade et al. [4] salientam que alta concentração dos óxidos de ferro encontrados em muitas amostras de rejeitos, deve-se a quantidade de minérios com altos teores de ferro que já foram beneficiados por processos com baixa eficiência.

3.3 Caracterização mineralógica do rejeito Mina do Andrade

No difratograma de raios X foram adotados os seguintes símbolos: Qz para o Quartzo; Hem para Hematita;

Kln para Caulinita; Bt para Biotita [14]. Notam-se picos mais intensos do quartzo (SiO_2) e picos menos intensos da hematita (Fe_2O_3) da caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) que é um mineral comumente associado com o rejeito do minério de ferro (Figura 4).

A densidade da amostra determinada por picnometria foi igual a $3,14 \text{ g/cm}^3$. A presença hematita no rejeito de sinter feed faz com que esse material apresente densidade superior aos materiais arenosos utilizados correntemente na produção de concretos. O utilização de um agregado com maior massa específica na produção do concreto para pavimentação pode contribuir para aumentar a estabilidade da pavimentação, constituindo pavimentos menos sujeitos a deformações decorrentes das solicitações externa [3].

3.4 Análise da resistência à compressão dos corpos de prova

A Figura 5 apresenta, respectivamente, os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova com 7 e 28 dias de cura em água.

Os fatores que contribuem para a resistência do concreto são: qualidade do aglomerante, natureza e composição dos agregados, relação cimento/agregados, eficiência da mistura, cura, idade, dimensões e forma do corpo de prova e alguns casos de adição de finos especiais [6].

Para o tempo de cura de 7 dias, observou-se que o maior resultado de resistência a compressão foi alcançado pelo corpo de prova confeccionado com a areia e rejeito, superando em 30% a força de ruptura quando comparado ao CP Padrão. O CP Rejeito obteve resultados inferiores aos dois outros grupos de corpos de prova, tendo 58% da tensão de ruptura em comparação ao CP Areia/Rejeito.

Para o tempo de cura de 28 dias, houve um maior crescimento das forças e tensões no CP Padrão. Com 28 dias de cura em água, o CP Padrão aumentou sua resistência à compressão em 3,4 vezes quando comparado a cura de

Tabela 2. Distribuição dos principais elementos químicos do rejeito Mina do Andrade

Teor (%)	Fe	SiO_2	Al_2O_3	P	Mn	CaO	TiO_2	MgO
Rejeito Andrade	18,31	64,93	2,315	0,093	0,105	0,608	0,073	2,275

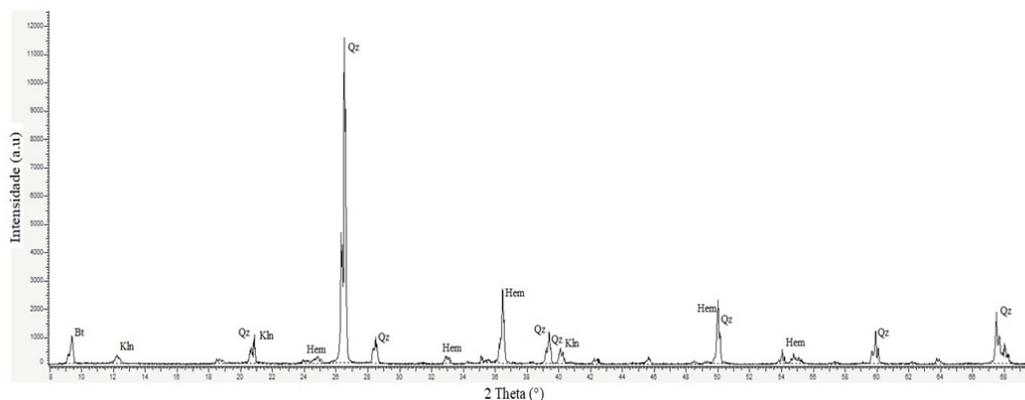


Figura 4. Difratograma de raios X do rejeito Mina do Andrade.

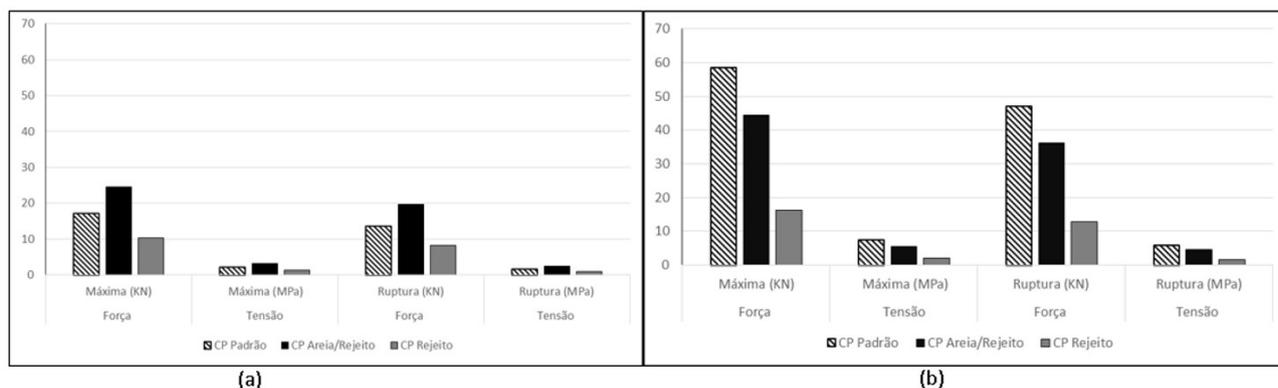


Figura 5. Resistência à compressão corpos de prova para (a) 7 dias; (b) 28 dias de cura.

7 dias. No CP Areia/Rejeito também houve um aumento da resistência à compressão após os 28 dias, porém sua força máxima foi 24% menor do que o CP Padrão com o mesmo tempo de cura. Apesar do aumento dos valores de resistência à compressão do CP Rejeito de 7 para 28 dias, quando comparado aos outros dois grupos de corpos de prova, sua resistência à compressão foi pequena.

A comparação dos resultados da resistência à compressão dos corpos de prova com outros estudos é complexa, uma vez que rotas de processamento distintas geram rejeitos com propriedades químicas, mineralógicas e granulométricas únicas. Esse fato dificulta a comparação da resistência a compressão de blocos de concretos formados por rejeitos de minério de ferro provenientes de processo de beneficiamento diferentes. Comparando os resultados do bloco de concreto padrão, com pesquisas anteriores [3,6,8], observou-se que a resistência a compressão do CP padrão, deste estudo, foi menor, tanto para 7 dias de cura como para 28 dias de cura, como pode ser visto na Tabela 3,

ANBR 9781 especifica, conforme a Tabela 4, o valor mínimo da resistência à compressão de acordo com o tráfego do local a serem inseridos os blocos intertravados [15]. De acordo com os valores encontrados neste trabalho, nenhum dos corpos de prova produzidos tem a resistência à compressão suficiente para a utilização em tráfegos simples de pedestres e veículos leves ou tráfegos especiais.

Apesar dos baixos resultados da resistência à compressão obtidos pelos corpos de prova é importante ressaltar que existem coerência entre os testes realizados. Ao comparar os dados apresentados nas Figuras 5, observa-se que houve um crescimento significativo da resistência a compressão de todos os corpos de prova após 28 dias de cura, como esperado. Várias hipóteses podem ser levantadas para explicar a baixa resistência a compressão de blocos intertravados, como:

- a) separação de finos do rejeito: conforme análise granulométrica, 49% do rejeito é composto por partículas menores que 150 μm . Os minerais presentes majoritariamente nessa fração no rejeito são sílica, variações de caulinita e talco. Esses minerais são

Tabela 3. Comparação da resistência à compressão em concreto de referência

Cura	CP Padrão	Padrão Silva (2014)	Padrão Costa (2014)
7 Dias	2,2 MPa	21,0 Mpa	20,2 Mpa
28 Dias	7,5 MPa	30,0 Mpa	34,9 Mpa

Tabela 4. Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f _{pk}) aos 28 dias
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35 Mpa
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50 Mpa

Fonte: NBR 9781 [15].

higroscópicos e depois da cura em água de 7 a 28 dias tendem a expandir sua forma causando microtrincas, reduzindo valores de compressão.

- b) formato dos grãos das partículas de rejeito Mina do Andrade: os grãos do rejeito Mina do Andrade são predominantemente arredondados. As partículas com esse formato, podem aumentar a quantidade de vazios e a porosidade do concreto contribuindo para a redução da resistência a compressão.
- c) qualidade dos agregados miúdos e graúdos: seria necessário a caracterização desses insumos para determinar a qualidade do traço;
- d) relação água/cimento: neste trabalho adotou-se uma relação de água/cimento de 0,75. Segundo a NBR 6118 essa relação deve ser menor ou igual a 0,65 [16].
- e) qualidade do capeamento: o capeamento realizado nos corpos de prova para torná-los planos podem ter influenciado diretamente na resistência à compressão. Ensaio com corpos de prova sem o capeamento e planejados através de desbastes podem atingir resultados mais reais.

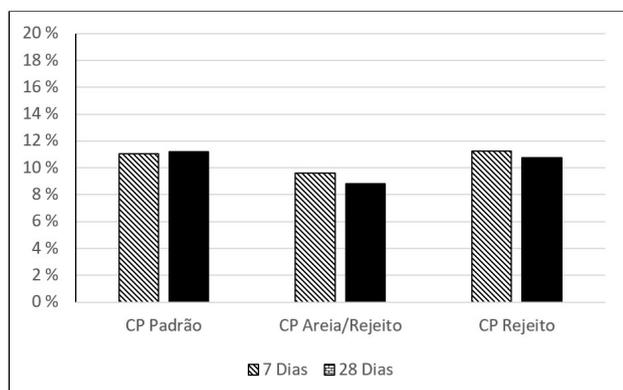


Figura 6. Absorção de água em corpos de prova 7 e 28 dias de cura.

3.5 Análise da absorção de água nos corpos de prova

Conforme apresentado no gráfico da Figura 6, houve pouca variação na absorção de água para os mesmos tipos de corpos de prova em diferentes tempo de cura. Os corpos de prova Areia/Rejeito tiveram a menor absorção de água, alcançando média de 9,2%. Já os corpos de prova Padrão e Rejeito tiveram média de, aproximadamente, 11% de absorção de água, independente do tempo de cura.

Quanto a absorção de água em pisos intertravados a NBR 9781/2013 diz que a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7% [15]. Nenhum dos corpos de prova confeccionados, incluindo o CP Padrão, alcançaram valores menores que 6%, portanto não são indicados para o uso de pavimentação.

4 Conclusões

A caracterização do rejeito Mina do Andrade mostrou que esse material possui propriedades físicas similares aos

agregados miúdos utilizados em blocos de concreto. Em relação aos corpos de prova construídos com os diferentes traços de concreto, destacou-se o CP Areia/Rejeito, que após os primeiros 7 dias de cura em água obteve os melhores resultados de força máxima. Após 28 dias, a resistência de todos os corpos de prova aumentaram. O CP Areia/Rejeito obteve 24% de força máxima a menos se comparado ao CP Padrão. Entretanto, nenhum corpo de prova atingiu a resistência à compressão mínima de 35 MPa para a utilização de pavimentação.

Para os testes de absorção de água todos os corpos de prova tiveram uma baixa variação de absorção entre os períodos de 7 e 28 dias de cura. O CP Areia/Rejeito teve o menor índice de absorção de água. Contudo, nenhum corpo de prova atingiu o valor de absorção de água permitido pela NBR 9781 [15].

Apesar dos CP não atingirem os parâmetros necessários para imediata aplicação do rejeito Mina do Andrade como agregado miúdo em pisos intertravados, existe a possibilidade da utilização deste material em substituição parcial da areia na construção de ecoprodutos, como blocos vazados de concretos simples com a função estrutural e cerâmicas (telhas, tijolos e etc).

Para resultados da resistência à compressão maiores, faz-se necessário maiores estudos sob a qualidade dos insumos adicionados no traço de concreto. Sugere-se, também, novos testes com relação água/cimento menor ou igual a 0,65 e a separação de partículas finas (menores que 150µm) do rejeito.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade do Estado de Minas Gerais, ao Nanolab da Universidade Federal de Ouro Preto e à Arcelor Mittal que tanto contribuíram para o desenvolvimento desse estudo.

Referências

- Oliveira ICS, Faxina AL. Rejeito de minério de ferro como agregado mineral fino em misturas asfálticas. *Transportes*. 2021 [acesso em 13 set 2022];29(3):2391. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/2391>
- Agência Nacional de Mineração – ANM. Estatísticas 2022. Brasília: ANM; 2022 [acesso em 13 set 2022]. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Estatistica>
- Costa AV, Gumieri AG, Brandão PRG. Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed. *Rev IBRACON Estrut Mater*. 2014;7(2):244-259.
- Andrade LCR, Marques EAG, Peixoto RAF. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. *GEOgrafias*. 2017 [acesso em 13 set 2022];12(1):32-44. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13413>
- Sant' Ana JN Fo. Estudos de Reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados [dissertação]. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; 2013. 130 p.

- 6 Silva FL. Aproveitamento e reciclagem de resíduos de concentração de minério de ferro na produção de *pavers* e cerâmica [dissertação]. Ouro Preto: REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto; 2014. 109 p.
- 7 Januzzi A. O pragmático gerente da Mina do Andrade. Entrevista concedida a Têbis Oliveira. Guaratinguetá: Liebherr Brasil; 2019 [acesso em 17 nov 2020]. Disponível em: http://www.inthemine.com.br/site/wp-content/uploads/2019/06/ITM79_personalidadel.pdf
- 8 Silva FL, Araujo FGS, Castro CG, Mendes JJ, Kruger FL. Recycling of concentration tailings of iron ore for the production of concrete block (pavers). *Mater Sci Forum*. 2014;775-776:631-634.
- 9 Helene PRL, Terzian P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI; 1992. 349 p.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 5738: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT; 2015. 9 p.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 12118: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2010. 14 p.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7211: agregados para o concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT; 2005. 11 p.
- 13 Gomes MA, Pereira CA, Peres AEC. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. *Rem: Rev. Esc. Minas*. 2011;64(2):233-236.
- 14 Whitney DL, Evans BW. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Ame Mineralogist*. 2010;95:185-187.
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 9781: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2013. 21 p.
- 16 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT; 2014. 221 p.

Recebido em: 8 Nov. 2021

Aceito em: 10 Fev. 2023