



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

STUDY ON THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF IRON ORE WASTE IN THE PROPERTIES OF THE PORTLAND CEMENT CONCRETE

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE RELAVES DE MINERAL DE HIERRO EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

Diogo Wagnacker Nascimento ¹, Geilma Lima Vieira ², Cláudia Rodrigues Teles ^{3*}, & Rita de Cássia Feroni ⁴

^{1,2} Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil, Vitória, Brazil

^{3,4} Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES).

¹ diogowagnacker@gmail.com ² geilma.vieira@gmail.com ³ claudiateles44@gmail.com ⁴ ritaferoni@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 12.06.2023

Aprovado: 06.07.2023

Disponibilizado: 13.07.2023

PALAVRAS-CHAVE: Resistência mecânica; Concreto; Disposição de rejeitos.

KEYWORDS: Mechanical resistance; Concrete; Tailing disposal.

PALABRAS CLAVE: Resistencia mecánica; Concreto; Eliminación de relaves.

*Autor Correspondente: Teles, C. R.

RESUMO

A extração de minério de ferro no Brasil possui papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, contribuindo com o sustento de diversas famílias em grande parte do território nacional. Entretanto, a indústria mineradora encontra problemas relacionados à gestão dos seus resíduos a fim de reduzir os impactos causados pelo acúmulo dos rejeitos provenientes dessa atividade. A fim de minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pela atividade de mineração, este trabalho propõe o uso de rejeitos de minério de ferro para produção de concretos. O resíduo utilizado tem origem na atividade de mineração do estado de Minas Gerais, especificamente na barragem de rejeitos de Fundão, Mariana/MG. Para este trabalho, foram confeccionados concretos com relação água/cimento de 0,45 e 0,60, com adições de 0%, 5%, 10% e 15% de resíduo de beneficiamento de minério de ferro (RBMF). Foi avaliado a influência das adições do resíduo sobre a resistência mecânica dos concretos com os ensaios de resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão axial. No que se refere à resistência mecânica, as adições de 10% do RBMF, nos concretos com relação $a/c = 0,45$ e $0,60$, apresentaram melhores resultados em relação às suas referências.

ABSTRACT

The extraction of iron ore in Brazil has a fundamental role in economic and social development, contributing to the livelihood of several families in a large part of the national territory. However, the mining industry encounters

problems related to the management of its waste in order to reduce the impacts caused by the accumulation of waste from this activity. In order to minimize the environmental, social and economic impacts caused by the mining activity, this work proposes the use of iron ore tailings for the production of concrete. The waste used originates from the mining activity in the state of Minas Gerais, specifically in the tailings dam in Fundão, Mariana - MG. In the present study, concretes were made with a water/cement ratio of 0.45 and 0.60, with additions of 0%, 5%, 10% and 15% iron ore tailing (IOT). The influence of residue additions on the mechanical strength of concretes was evaluated with the tests of tensile strength by diametrical compression and resistance to axial compression. With regard to mechanical strength, the additions of 10% of RBMF, in concretes with respect to $a/c = 0.45$ and 0.60 , presented better results in relation to their references.

RESUMEN

La extracción de mineral de hierro en Brasil juega un papel fundamental en el desarrollo económico y social, contribuyendo al sustento de varias familias en gran parte del territorio nacional. Sin embargo, la industria minera se encuentra con problemas relacionados con el manejo de sus residuos con el fin de reducir los impactos causados por la acumulación de residuos de esta actividad. Con el fin de minimizar los impactos ambientales, sociales y económicos ocasionados por la actividad minera, este trabajo propone el uso de relaves de mineral de hierro para la producción de concreto. Los residuos utilizados provienen de la actividad minera en el estado de Minas Gerais, específicamente en el tranque de relaves de Fundão, Mariana - MG. Para este trabajo se realizaron hormigones con relación agua/cemento de 0,45 y 0,60, con adiciones de 0%, 5%, 10% y 15% de residuos del procesamiento de mineral de hierro (RBMF). La influencia de las adiciones de residuos sobre la resistencia mecánica del hormigón se evaluó mediante ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral y resistencia a la compresión axial. En cuanto a la resistencia mecánica, adiciones de 10% de RBMF, en hormigones con relación $a/c = 0,45$ y $0,60$, mostraron mejores resultados en relación a sus referencias.



INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente como o segundo maior produtor de minério de ferro, com uma produção estimada em torno de 16% da produção mundial em 2022 (United States Geological Survey, 2023). Estima-se que para cada tonelada de minério de ferro produzida é gerada cerca de 0,4 toneladas de rejeitos, cujo aproveitamento, reduziria sua quantidade nas barragens, facilitando a manutenção, aumentando a segurança, e em alguns casos, tornaria as barragens desnecessárias (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2016). Paralelo a isso, a indústria de concreto consome anualmente, mais de 10 bilhões de toneladas de areia e rocha na sua produção (Medjigbodo et al., 2018), impacto que poderia ser minimizado, uma vez que, segundo Shettima et al. (2016) ao utilizar o rejeito de minério de ferro como material na indústria da construção, o resíduo é reciclado e reutilizado, podendo produzir produtos sustentáveis. Assim, torna-se fundamental para o aumento da sustentabilidade no setor de construção civil a adoção de matérias-primas com característica inovadora, alta qualidade, com menores preços e menores impactos ambientais (Lopes et al., 2020).

Segundo Andrade et al. (2017), os usos alternativos para os rejeitos de barragens estão associados à sua composição, sendo necessário o levantamento de suas propriedades. Estudos destacam que o rejeito de minério de ferro é composto principalmente por sílica, óxidos de ferro e alumina (Fontes et al., 2016; 2019), não apresenta características perigosas (Fontes et al., 2016; Shettima et al., 2016) e é classificado como um material fino, denso, estável e cristalino (Lopes et al., 2018; Fontes et al., 2019).

Estudos relacionados à produção de diferentes tipos de concreto vêm sendo desenvolvidos com a utilização do rejeito de minério de ferro. Trabalhos como de Shettima et al. (2016) e Zhang et al. (2020), tem empregado o rejeito de minério de ferro como substituto do agregado na fabricação de concreto, apresentando resultados satisfatórios, como por exemplo, melhor resistência à compressão para algumas porcentagens de rejeito de minério de ferro. O estudo de Franco et al. (2014), destaca que a adição de rejeito de minério de ferro ao concreto mostrou-se mais viável do que a substituição do agregado miúdo pelo rejeito, uma vez que, por ser um rejeito fino, ele favorece o efeito *filler* ao reduzir poros, gerar uma composição mais homogênea e conferir propriedade isotrópica ao concreto.

Diante do exposto e como destacado recentemente no estudo de Duarte et al. (2022), apesar da importância da mineração de ferro para a economia brasileira, a atividade gera volumes significativos de rejeitos com alto teor de ferro nos processos de beneficiamento do minério. Nota-se, assim, a importância da investigação contínua a respeito das propriedades e aplicação do resíduo originado do beneficiamento de minério de ferro em setores como da construção civil. Dessa forma, o presente trabalho utilizou o rejeito de minério de ferro proveniente da barragem de Fundão em Mariana/MG, para analisar as interações de sua aplicação em misturas de concretos, com adições de diferentes porcentagens do resíduo, no intervalo de 0 a 15% em relação à massa de cimento, tendo como foco avaliar as propriedades mecânicas do concreto, assim como, a lixiviação de contaminantes. Adicionalmente, o estudo



visa contribuir com o gerenciamento desse resíduo que é gerado em grandes quantidades e vem trazendo transtornos à sociedade e ao meio ambiente.

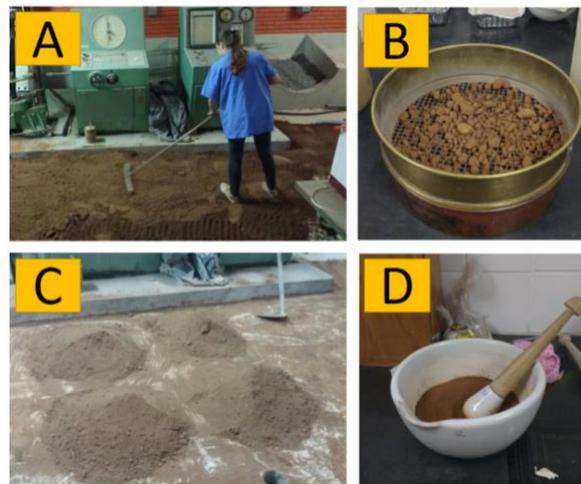
METODOLOGIA

Coleta e Homogeneização

O rejeito, denominado Resíduo de Beneficiamento de Minério de Ferro (RBMF), utilizado nesta pesquisa é proveniente da lama de rejeitos de minério de ferro da barragem de Fundão após o seu rompimento. A lama de rejeitos atingiu diversas comunidades no trecho compreendido entre a barragem (localizada no município de Mariana/MG) e a foz do Rio Doce, localizada no estado do Espírito Santo. O material foi coletado no distrito de Bento Rodrigues em Mariana/MG, utilizando-se a metodologia para a coleta de resíduos NBR 10.007 (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2004d).

Após a coleta, o resíduo foi transportado em bombona de 100 litros, com tampa, até o Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção para as análises de suas características físicas, químicas, mineralógicas, ambientais e microestruturais. Para a realização das análises de caracterização do RBMF, esse foi seco ao ar por 48 h, destorroado, peneirado em peneira de 4,76 mm e quarteadado. Essas etapas podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1. Homogeneização do material: (a) Secagem ao ar por 48h (b) Peneiramento (c) Quarteamento (d) Destorroamento.



Caracterização dos Agregados

A análise da massa específica, seguiu os procedimentos recomendados pela NBR 16.605 (ABNT, 2017), utilizando-se o frasco de Le Chatelier neste ensaio. Foi avaliado a finura do material a partir dos ensaios de área específica conforme NBR 16.372 (ABNT, 2015) e material retido na peneira 0,075 mm de acordo com a NBR 11.579 (ABNT, 2013). A composição detalhada foi obtida por meio do ensaio de fluorescência de raios X (FRX) e difração de raio X (DRX). Para avaliar a distribuição granulométrica do RBMF foi realizado ensaio por meio de um granulômetro a laser. A caracterização mineralógica e microestrutural foram realizadas por difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Para a realização do procedimento experimental foram utilizados: Cimento Portland CP V - ARI; como agregado miúdo utilizou-se areia branca extraída de jazida, com dimensão máxima



característica (DMC) de 2,36 mm; como agregado graúdo foi utilizado brita nº 1, com DMC de 19 mm; e rejeito de beneficiamento de minério de ferro (RBMF) proveniente da barragem de Fundão, localizada em Mariana/MG, que foi utilizado como adição nas percentagens de 0%, 5%, 10% e 15% em relação à massa do cimento. A dosagem dos concretos foi realizada baseando-se no método proposto por Helene e Terzian (1992), conhecido como método IPT/EPUSP. Além do teor de adição, variou-se também a relação água/cimento, utilizando os valores de 0,45 e 0,60. Os corpos de prova foram curados submersos em água saturada com cal, sendo então ensaiados em períodos de 28, 91 e 180 dias. Os traços utilizados podem se vistos na Tabela 1. O concreto REF45 trata-se do concreto de referência para relação água/cimento (a/c) igual a 0,45 e o REF60 para a relação a/c igual a 0,6. Em ambos os casos, não há a presença do resíduo.

Tabela 1. Traços utilizados nos concretos

Concreto	Relação água/cimento	Cimento	Resíduo	Areia	Brita	Consumo de cimento (kg/m ³)
REF45	0,45	1	0	1,51	2,33	463,56
AD545		1	0,05	1,51	2,33	459,23
AD1045		1	0,10	1,51	2,33	454,97
AD1545		1	0,15	1,51	2,33	450,73
REF60	0,60	1	0	2,81	3,52	309,30
AD560		1	0,05	2,81	3,52	307,30
AD1060		1	0,10	2,81	3,52	305,38
AD1560		1	0,15	2,81	3,52	303,50

Classificação Ambiental do Resíduo e Lixiviação de Contaminantes em Concretos

A classificação ambiental do resíduo foi realizada segundo procedimento descrito na NBR 10.004 (ABNT, 2004a), utilizando os ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo, descritos nas normas NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e NBR 10.006 (ABNT, 2004c). O teste de lixiviação de contaminantes em concreto foi realizado por Spagnol et al. (2018). Os ensaios seguiram a norma EA NEN 7.375:2004 - *Leaching characteristics of mounded or monolithic building and waste materials* (UKEPA, 2005).

Análise dos Resultados

Os resultados foram submetidos à análise variância (ANOVA), realizada por meio do programa *Statistica 10.0* (STATSOFT, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação de Resíduo e Caracterização dos Agregados

Quanto à classificação do resíduo pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a), o mesmo pode ser classificado como não perigoso, uma vez que os resultados do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos limites definidos pela norma. Considerando que a concentração de ferro no extrato solubilizado do resíduo ter sido superior ao estabelecido por norma, o material é classificado como não inerte. Resíduos com classificação não perigosos e não inertes são intitulados pela



norma como resíduos de classe IIA e podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.

De acordo com a Tabela 2, a superfície específica igual a 1.474 cm²/g demonstra características de um material fino. Para a utilização de algum resíduo para adição em concretos é imprescindível que suas partículas possuam uma granulometria compatível com os microporos, preenchendo esses interstícios e contribuindo para um maior desempenho dos concretos, o que caracteriza seu efeito *filler* (Gonçalves, 2000).

Tabela 2. Características do RBMF

Propriedades	Normas	Resultados
Massa Específica (g/cm ³)	NBR 16.605 (ABNT,2017)	3,06
Massa Unitária (kg/m ³)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1.660
Volume de vazios (%)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	45,39
Área Específica - Blaine (cm ² /g)	NBR 16.372 (ABNT, 2015)	1.474
Material retido na peneira #200 (%)	NBR 11.579 (ABNT, 2012)	39,02
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	1,37
Dimensão máxima características (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	0,6

Os resultados das análises da composição química do RBMF, realizadas por fluorescência de raio X (Tabela 3) no presente estudo, a partir de resíduo coletado nas proximidades da barragem de Fundão, se assemelham bastante às encontradas no estudo de Carrasco et al. (2017), cujo resíduo foi coletado diretamente em uma das barragens da mineradora. Para ambos os estudos, encontrou-se quantidades semelhantes de silicatos, óxidos de ferro (hematita) e aluminatos, que são os minerais que apresentam maiores concentrações no rejeito.

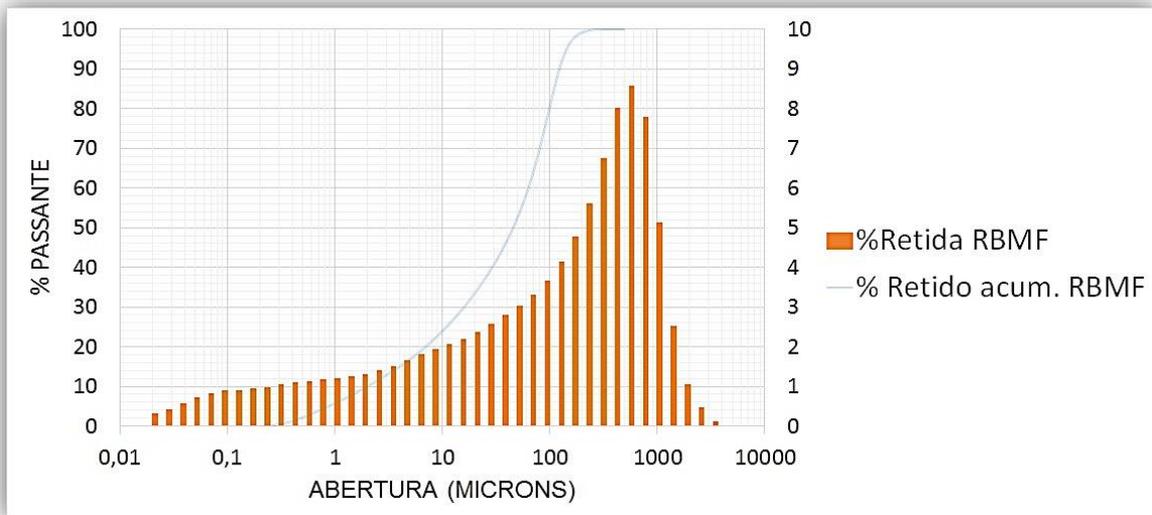
Verifica-se a partir da Figura 3 que a massa específica obtida do RBMF é bem próxima à do cimento CPV – ARI, utilizado na pesquisa, sendo 3,06 g/cm³ e 3,09 g/cm³ respectivamente. Isso ocorre pela presença de óxidos de ferro na composição do resíduo, como mostra a Figura 4, podendo proporcionar uma maior densidade, resistência e durabilidade aos concretos (Shettima et al., 2016).

Tabela 3. Composição química do RBMF a partir de estudos anteriores e para o presente trabalho.

	Fontes et al. (2016)	Shettima et al. (2016)	Carrasco et al. (2017)	RBMF (autor)	
Composição Química (%)	SiO ₂	24,19	56,0	45,72	54,7
	Fe ₃ O ₂	45,92	8,3	34,26	39,1
	Al ₂ O ₃	4,82	10,0	2,06	3,3
	K ₂ O	-	1,5	-	0,2
	TiO ₂	-	-	-	0,1
	P ₂ O ₅	0,096	-	0,051	0,1
	CaO	-	4,3	-	0,1
	MnO	0,025	1,7	3,03	0,1
	MgO	-	-	-	0,1
	NaO ₂	-	-	-	<0,1
	SO ₃	-	-	-	<0,1
	P.F.	4,06	3,3	-	2,18

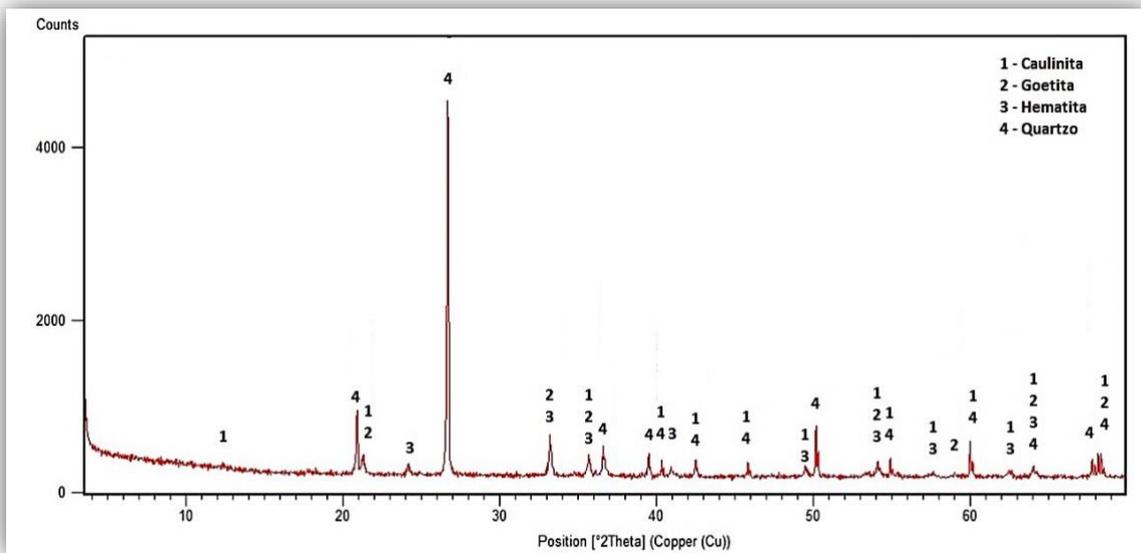


Figura 3. Distribuição granulométrica do RBMF



O difratograma obtido para a amostra de RBMF estudada é apresentado na Figura 4. Por meio da difração de raios X pode-se notar a presença de minerais como goethita, hematita, quartzo e caulinita. Os óxidos de ferro, tais como a hematita e goethita são provenientes de perdas no processo de beneficiamento do minério de ferro. Pode-se observar ainda a presença de caulinita, o que demonstra a presença de argila no rejeito. A presença de quartzo é bastante benéfica para o seu aproveitamento na construção civil, uma vez que é um composto presente em agregados e adições minerais, evidenciando o possível uso em concretos.

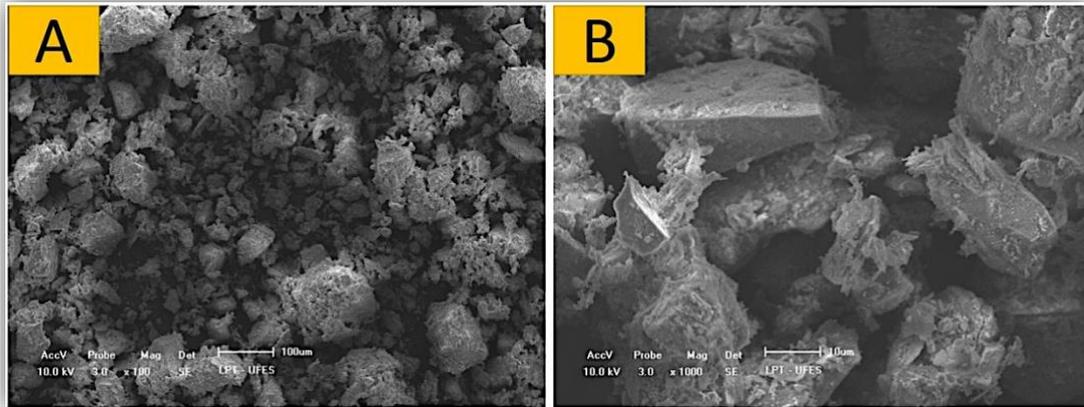
Figura 4. Difratograma de raios X.



As análises microestruturais do resíduo foram obtidas pelo MEV. Nota-se na Figura 5 (a) e (b) que o RBMF possui grãos com superfície angulosa e também dimensões que variam de 100µm a 10µm.



Figura 5. Micrografia do RBMF: (a) Ampliação 100x (b) Ampliação 1000x.

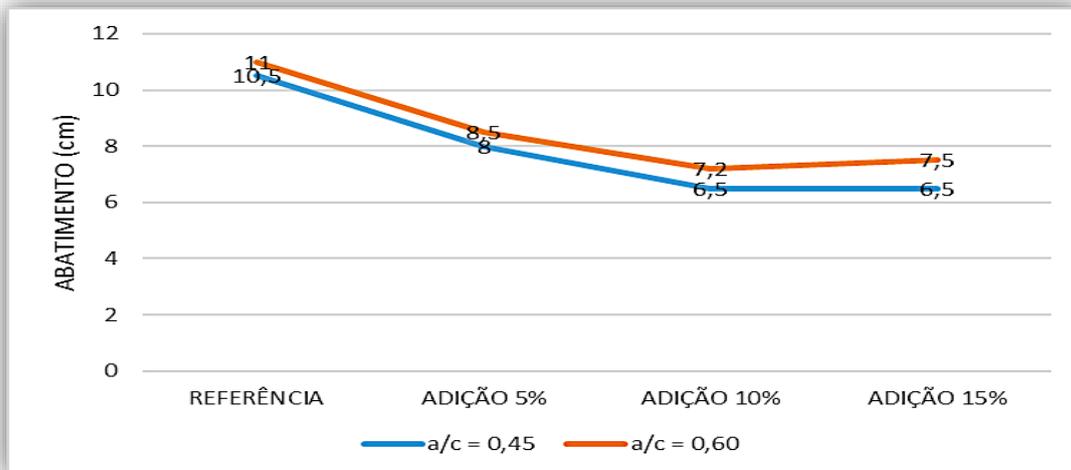


Ensaio em Concretos

Concreto no estado fresco

O ensaio de abatimento pelo tronco de cone foi realizado segundo o que recomenda a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). O abatimento especificado, 10 ± 2 cm, foi atingido por todos os concretos de referência (REF45 e REF60). Na Figura 6 é possível verificar o comportamento dos concretos produzidos em função de seu abatimento e do percentual de adição do resíduo.

Figura 6. Influência do percentual de adição de RBMF sobre a consistência dos concretos.



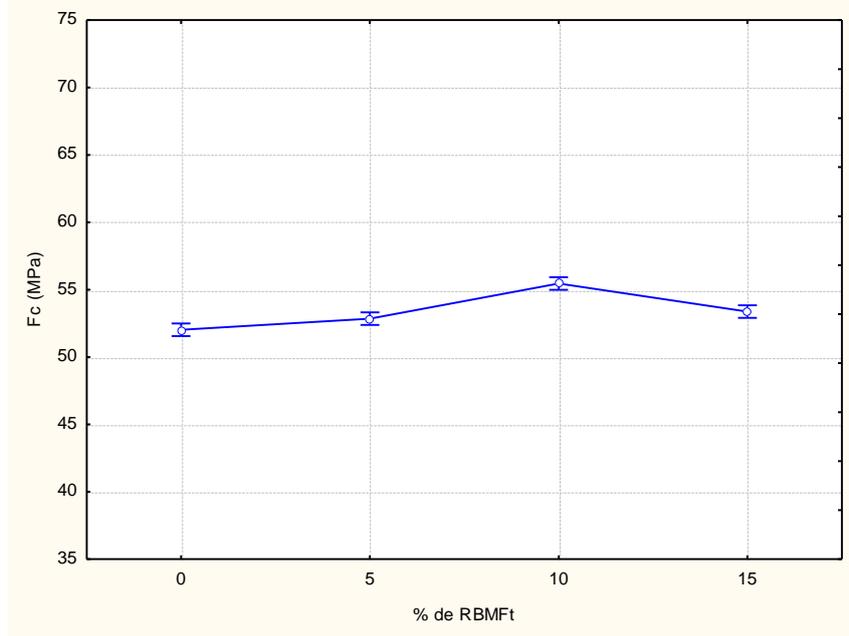
Pela Figura 6 pode-se observar que houve perda de abatimento nos concretos com relação água/cimento de 0,45 e 0,60 à medida que o percentual de adição do resíduo aumentou, em relação ao concreto de referência, onde não há a presença de resíduo. De acordo com Dietrich (2015) que estudou o comportamento de resíduos de rochas ornamentais, devido à elevada superfície específica da adição existe maior demanda de água para manter a consistência do concreto fresco, portanto, é comum a diminuição da fluidez do concreto à medida que crescem os teores de adição de resíduo. Pode-se observar na Figura 6 que o abatimento dos concretos com relação $a/c = 0,60$ manteve-se acima dos demais, e de acordo com Mehta e Monteiro (2008) o aumento do consumo de água, nos concretos, tem como consequência uma consistência mais fluida.



Concreto no estado endurecido

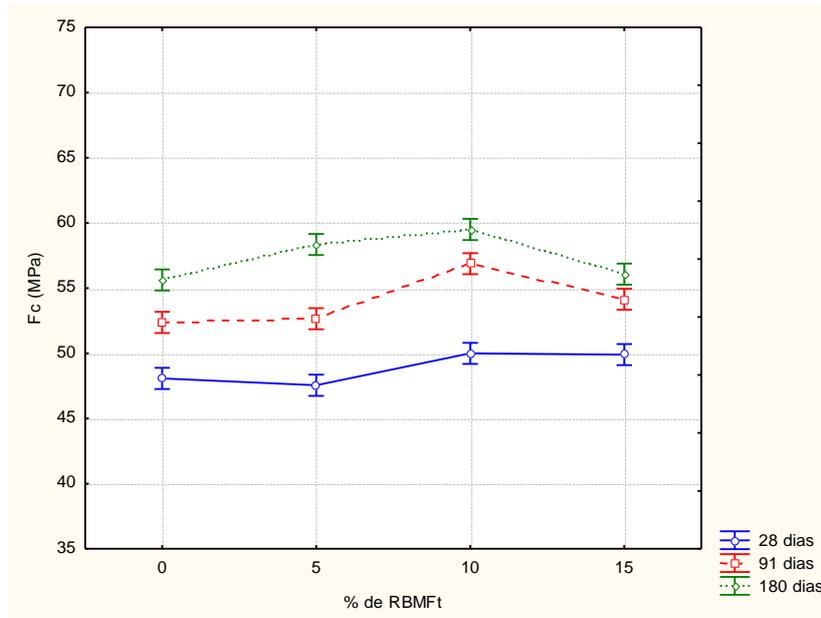
Na Figura 7 pode-se observar o efeito isolado da adição de RBMF sobre a resistência à compressão axial dos concretos.

Figura 7. Efeito isolado da adição de RBMF sobre a resistência à compressão axial dos concretos.



O pico da resistência à compressão foi a adição de 10%, que corresponde a uma resistência média de 56,25 MPa, essa adição proporciona um aumento de 8,17% em relação à referência. O resultado obtido, provavelmente foi proveniente do preenchimento de poros existentes. A influência da interação entre a adição de resíduo e a idade sobre a resistência à compressão axial dos concretos pode ser observado na Figura 8.

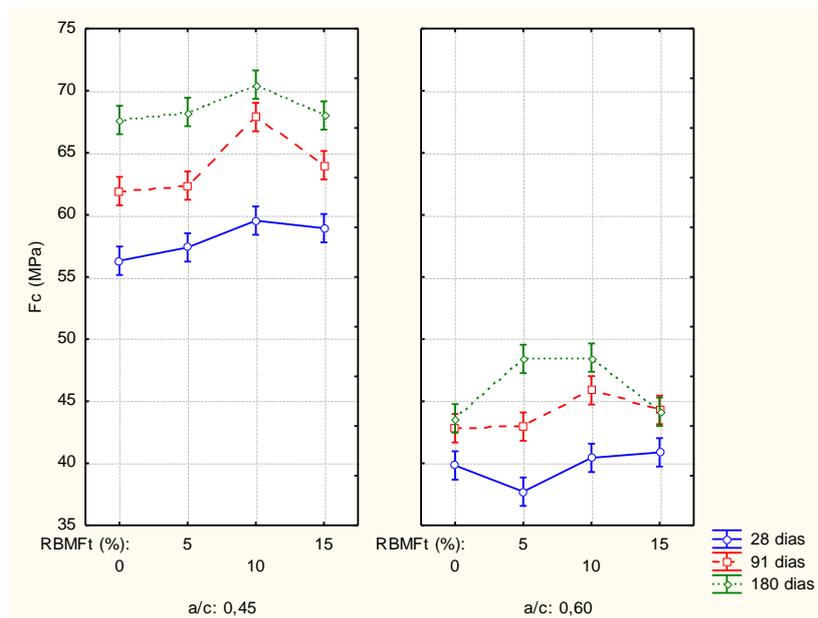
Figura 8. Efeito da interação entre a idade e a adição de RBMF sobre a resistência à compressão axial dos concretos.



Cabrera et al. (1998) enfatiza que adições minerais proporcionam a diminuição dos espaços disponíveis, os materiais finos podem alajar-se nos espaços vazios, promovendo maior empacotamento.

Com a adição de 5% de resíduo ao concreto, nota-se menor variação na resistência à compressão, essa variação pode ser correspondente à quantidade de resíduo utilizada. Franco et al. (2014) utilizaram rejeito de beneficiamento de minério de ferro, como adição em concretos, com adições em relação ao agregado miúdo de 0%, 5%, 10% e 50%, onde os concretos com adições de 10% foram os que se apresentaram mais favoráveis, com ganho de resistência mais elevado. Ainda de acordo com Franco et al. (2014), as adições inferiores a 10% não foram suficientes para contribuir com o refinamento dos poros, deixando de promover uma maior densificação da zona de transição e da matriz cimentícia, consequentemente deixando de apresentar ganhos mais significativos de resistência. Neste trabalho, percebe-se que com adições de 15% de RBMF, ocorre a redução de resistência dos concretos em relação à resistência obtida utilizando-se 10% de adição, o mesmo ocorreu com as adições de 50% no trabalho de Franco et al. (2014). Esse efeito pode ter ocorrido devido à dificuldade no adensamento desses concretos com esses níveis de adição, ocasionando o surgimento de vazios que podem ter influenciado diretamente na resistência à compressão dos concretos. A interação da relação a/c , idade e percentual de adição também foi significativa e o seu resultado é apresentado na Figura 9.

Figura 9. Efeito da interação entre a idade, adição de RBMF e relação a/c sobre a resistência à compressão axial dos concretos.



Lixiviação de Contaminantes em Concretos

Pode-se verificar que a lixiviação acumulada dos metais avaliados, para todos os traços de concreto foi inferior ao limite estabelecido pela norma EA NEN 7.375:2004 (UKEPA, 2005), indicando que a adição do resíduo minério de ferro em concretos é segura do ponto de vista ambiental.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises de granulometria, composição química, mineralógica e microestrutural permitiram observar que o resíduo pode ser utilizado como uma adição mineral em concreto, atuando como *filler*. Essa atuação proporciona ao concreto maior resistência mecânica e durabilidade.

Em avaliações de concreto no estado fresco, as misturas com adição de RBMF apresentaram maior coesão e uma diminuição da exsudação, observou-se a redução do abatimento desses de acordo com o teor de adição do resíduo.

Quanto à resistência à compressão axial, a adição de resíduo do beneficiamento de minério de ferro à composição dos concretos, mostrou-se significativa em seu estudo estatístico. A adição de RBMF proporciona aos concretos desempenho melhor do que suas referências, na maioria dos casos. Os destaques foram os concretos com relação $a/c = 0,45$ e adição de 10%, aos 91 dias, que obteve um aumento 9,62% em sua resistência por compressão axial e os concretos com relação $a/c = 0,60$ e idade de 180 dias, onde as adições de 5% e 10% obtiveram incrementos de 10,95% e 11,18% em suas resistências, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1998). NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2003). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004a). NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004b). NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004c). NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004d). NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2006). NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2012). NBR 11.579 - Cimento Portland: determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2015). NBR 16.372: Cimento Portland e outros Materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2017). NBR 16.605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.
- Andrade, L. C. R. de, Marques, E. A. G., & Peixoto, R. A. F. (2017). Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. *Geografias*, 12(1), 32-44. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13413>
- Cabrera, O.; Bonavetti, V.; Donza, H. Irassar, E. F. Hormigones de Alta Resistência com cimentos de filler calcareo. In: *Congreso Internacional de Tecnologia del Hormigón*. Anais. Buenos Aires, Argentina. Junho. 1998.
- Carrasco, E. V. M., Magalhaes, M. D. C., Santos, W. J. D., Alves, R. C., & Mantilla, J. N. R. (2017). Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests. *Construction and Building Materials*, 131, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.065>
- Dietrich, Y. P. (2015). *Durabilidade de concretos produzidos com adição de resíduos provenientes de rochas ornamentais frente à ação de íons cloreto* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/4004>
- Duarte, M. S., Almada, B. S., dos Santos, W. J., Bessa, S. A. L., da Silva Bezerra, A. C., & Aguiar, M. T. P. (2022). Influence of mechanical treatment and magnetic separation on the performance of iron ore tailings as supplementary cementitious material. *Journal of Building Engineering*, 59, 105099. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105099>
- Fontes, W. C., Mendes, J. C., Da Silva, S. N., & Peixoto, R. A. F. (2016). Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. *Construction and Building Materials*, 112, 988-995. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.027>
- Fontes, W. C., Carvalho, J. M. F., Andrade, L. C. R., Segadães, A. M., & Peixoto, R. A. F. (2019). Assessment of the use potential of iron ore tailings in



the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to “brown porcelain”. *Construction and Building Materials*, 206, 111-121.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.052>

Franco L. C., Santos D. H., Rosa P. P. G., Silva G. J. B., & Peixoto R. F. (2014). Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. In: *Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto*, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

Galvão, J. L. B., Andrade, H. D., Brigolini, G. J., Peixoto, R. A. F., & Mendes, J. C. (2018). Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. *Journal of Cleaner Production*, 200, 412-422.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>

Helene, P. & Terzian, P. R. (1992). *Manual de dosagem e controle do concreto*. São Paulo: PINI. 350p.

Gonçalves, J. P. (2000). *Utilização do Resíduo de Corte de Granito como adição para a produção de concretos*. (Dissertação mestrado em engenharia civil). UFRGS. Porto Alegre. Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1676/000305830.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto de Pesquisas tecnológicas. (2016). Recuperado de <https://www.ipt.br/>

Lopes, D. F., Silva, A. C., Barros, M. R., de, & Silva, E. M. S. (2020). Reaproveitamento de estéril de mineração como agregado graúdo para fabricação de concreto. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 17(1), 30-36.

<http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20201777>

Medjigbodo, S., Bendimerad, A. Z., Rozière, E., & Loukili, A. (2018). How do recycled concrete aggregates modify the shrinkage and self-healing properties? *Cement and Concrete Composites*, 86, 72-86.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.003>

Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M. (2008). *Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais*. 3 ed. São Paulo: PINI.

Shettima, A. U., Hussin, M. W., Ahmad, Y., & Mirza, J. (2016). Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 120, 72-79.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.095>

Spagnol, I., Tavares, A. T. R., Teles, C. R., & Vieira, G. L. (2018). *Avaliação da lixiviação em concretos com incorporação do rejeito de minério de ferro da barragem de fundão-MG*. In: 13º Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 2018, Cuiabá. 13º Seminário Nacional de Resíduos Sólidos.

United States Geological Survey. (2023). Recuperado de <https://www.usgs.gov/>.

U.K.EPA – Environmental Protection Agency of United Kingdom. (2005). EA NEN 7.375:2004 – *Leaching characteristics of moulded or monolithic Building and waste materials*. 32 p.

Zhang, W., Gu, X., Qiu, J., Liu, J., Zhao, Y., & Li, X. (2020). Effects of iron ore tailings on the compressive strength and permeability of ultra-high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 260, 119917.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119917>

