

# ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOQUETE PRODUZIDOS COM REJEITO DE BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO

## ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF BLOCKS PRODUCED WITH IRON ORE DAM TAILING

SILVA, Alisson Alves<sup>1</sup>; TONON, Mayara Cristiane Pereira<sup>2</sup>; MALTA, Alvimar Alvares<sup>3</sup>

### PALAVRAS-CHAVE

Mineração. Rejeito. Meio ambiente.  
Bloquete. Concreto.

### KEYWORDS

Mining. Reject. Environment.  
Block. Concrete.

### RESUMO

Diante dos vários problemas existentes na indústria do minério de ferro destaca-se a geração de rejeitos oriundos do processo de mineração. Este resíduo caracteriza-se como um material de baixo valor econômico agregado e traz riscos e impactos para a sociedade, sendo um grande desafio, a sua reutilização segundo premissas sustentáveis. O objetivo desse experimento foi analisar a resistência à compressão axial de concretos produzidos com a substituição parcial do agregado miúdo por rejeito de minério de ferro (RMF) e utilizados na confecção de bloquetes para pavimentos. Foram confeccionados 4 corpos de prova (CP's) com traço de referência e 12 CP's com o mesmo traço, realizando-se, todavia, as substituições de 5%, 10% e 15% de agregado miúdo por RMF. Os CP's foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias e, na análise comparativa em relação aos corpos de prova confeccionados com o concreto de referência, obteve-se um decréscimo de 3,0 % na resistência para o cenário de substituição de 5%, um acréscimo de 9,1 % na resistência para o cenário de 10% e um decréscimo de 2,7 % para o cenário de 15%, sinalizando assim, o potencial de utilização do RMF na produção de concretos destinados a confecção de bloquetes para pavimentos.

### ABSTRACT

Given the various problems existing in the iron ore industry, the generation of tailings from the mining process stands out. This waste is characterized as a material of low economic added value and brings risks and impacts to society, being its reuse according to sustainable premises a great challenge. The objective of this experiment was to analyze the axial compressive strength of concrete produced with the partial replacement of fine aggregate by iron ore tailings (RMF) and used in the manufacture of blocks for pavements. Four specimens (CP's) with a reference mix and 12 CP's with the same mix were made, however, 5%, 10% and 15% of fine aggregate were replaced by RMF. The CP's were subjected to the axial compressive strength test at 28 days and, in the comparative analysis in relation to the specimens made with the reference concrete, a decrease of 3.0% in strength was obtained for the replacement scenario of 5%, an increase of 9.1% in strength for the 10% scenario and a decrease of 2.7% for the 15% scenario, thus signaling the potential for using RMF in the production of concrete for the manufacture of blocks for floors.

1 Graduando do curso de Engenharia Civil. E-mail: alisson.o22co@gmail.com

2 Graduanda do curso de Engenharia Civil. E-mail: mayaratonon@hotmail.com

3 Professor do Centro Universitário Newton Paiva. Orientador. E-mail: alvimar.malta@newtonpaiva.br

## 1 INTRODUÇÃO

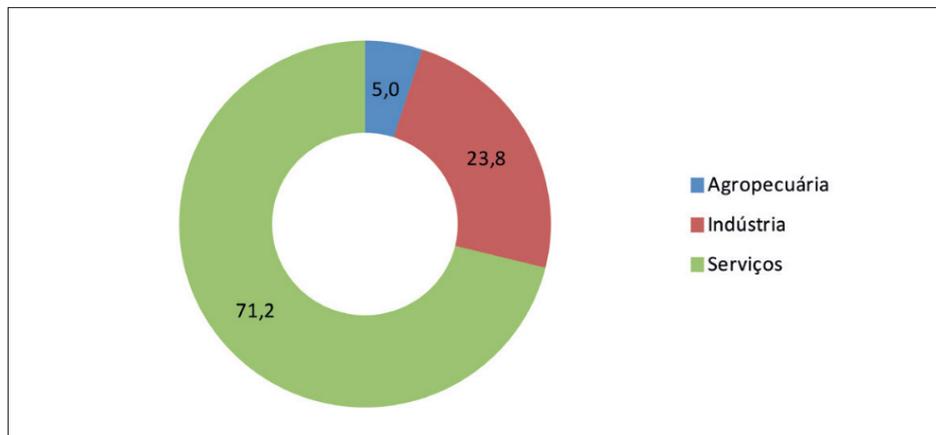
A preocupação com a qualidade de vida e bem-estar das gerações futuras tem provocado grandes discussões acerca da temática desenvolvimento sustentável. Este conceito pode ser entendido como um elemento fundamental para se promover a preservação do meio ambiente de maneira a se incentivar iniciativas que minimizem os impactos ambientais e otimizem a utilização dos recursos naturais não renováveis (GUERRA, 2014). Neste sentido, é fundamental a criação de diretrizes norteadoras para um melhor gerenciamento dos resíduos sólidos originados pela indústria extrativista.

Tomando-se por premissa os setores minerário e siderúrgico, partes integrantes do setor industrial, Batista (2016) informa que a geração de resíduos sólidos tem motivado reflexões a respeito da sustentabilidade de seus processos produtivos. Ainda segundo o mesmo autor, a indústria de mineração de ferro se destaca como de expressiva importância na economia brasileira, todavia, a geração de resíduos sólidos característicos deste setor, além de requererem um gerenciamento oneroso e complexo, originam graves questões ambientais e sociais. No mesmo sentido, John (2000) informa que o impacto ambiental causado pela extração do minério de ferro é um assunto de grande importância e gera reflexões a respeito da sustentabilidade, diante dos graves problemas ambientais urbanos apresentado por essa exploração.

No tocante ao cenário econômico, destaque-se que o setor industrial tem relevante participação no PIB brasileiro, conforme observa-se pelo Gráfico 1.

A fração relativa ao extrativismo mineral, inserida na parcela industrial da composição do PIB do Brasil (23,8%), equivale a 1,4 % do total deste índice, gerando cerca de 195 mil empregos diretos. Um importante incentivador da indústria nacional, a extração de minério de ferro é hoje o segmento que fornece boa parte dos insumos para as indústrias existente no país (IBRAM, 2019).

GRÁFICO 1 – Produto interno bruto brasileiro



Fonte: IBRAM (2019)

A mineração pode ser definida, conforme Bastos (2013), como o processo de extração de produtos minerais existentes na crosta terrestre e dotados de valor econômico, objetivando o fornecimento destes produtos à população. Ainda segundo este autor, a obtenção destes produtos evidencia desafios em todas as suas etapas, sejam eles técnicos, sustentáveis ou humanos. Em função dessas dificuldades, surge a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para a modernização da indústria minerária.

Souza e Guedes (2017) informam que o processo de beneficiamento do minério de ferro origina um subproduto denominado “rejeito”, que é armazenado em barragens que comumente se localizam em grandes áreas já ocupadas por vegetação nativa. Além das questões ambientais, recentemente constatou-se as dimensões das tragédias que podem ocorrer devido ao expressivo volume de material gerado, principalmente em função da inadequada destinação desse mesmo material. Atualmente as empresas de mineração tem que se responsabilizar e investir no acondicionamento deste rejeito originado a partir de suas atividades, material este

que, até o momento, não tem sido satisfatoriamente reaproveitado. Para fins deste trabalho, o retromencionado subproduto será denominado rejeito de minério de ferro (RMF).

O ordenamento jurídico brasileiro possui diversas legislações a tutelar o gerenciamento de resíduos sólidos, entretanto, pode-se destacar como a mais relevante, a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essa legislação define o conceito de rejeito em seu Capítulo II, Art 3º:

Art 3º - Para efeitos desta lei entende-se por:

(..)

XV – rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

De modo a complementar este conceito, cite-se a NBR 10004:2004 que define resíduos sólidos, em seu item 3, como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004:2004).

No tocante à granulometria do RMF, Wolff (2009) informa que a indústria da mineração, rotineiramente, utiliza a seguinte classificação: rejeitos grossos ou granulares, maiores do que 50 µm; rejeitos finos com diâmetros abaixo de 50 µm e lamas ou rejeitos ultrafinos, constituídos por partículas menores do que 10 µm.

Portanto, para contribuir com iniciativas que possam minimizar os impactos gerados pela atividade mineradora e também busquem desenvolver novos e alternativos materiais que atendam as demandas da construção civil, propõe-se a confecção de bloquetes de concreto a partir de dosagens que substituam parcialmente o agregado miúdo por RMF do tipo fino, oriundo de barragens de RMF.

O presente experimento compreende a análise da resistência à compressão axial de bloquetes confeccionados a partir de um concreto dosado como referência e cenários com substituição do agregado miúdo por RMF, e por fim, com a posterior comparação dos cenários ensaiados.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Foram confeccionados bloquetes de concreto em 4 cenários, quais sejam, concreto dosado como referência, e este mesmo concreto com substituição de 5 %, 10 % e 15% do agregado miúdo pelo RMF. Após a produção, os blocos foram levados para a câmara úmida do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Newton Paiva (Figura 1), ficando submetidos à cura úmida, e assim permanecendo até a data de realização dos ensaios de resistência à compressão axial.

**FIGURA 1 - Bloquetes imersos em água**



Fonte: Autores (2019)

## 2.1 MATERIAIS

### 2.1.1 Rejeito de minério de ferro (RMF)

As amostras de RMF utilizadas neste experimento são provenientes de atividade mineradora realizada em planta localizada na região do Quadrilátero Ferrífero / MG.

Após a coleta, o RMF foi transportado para o Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Newton Paiva e depositado em bandejas, tendo-se, em seguida, procedido a secagem em estufas e destorroamento do material. Uma amostra do rejeito, já seco e destorroado, em processo de pesagem com o agregado miúdo utilizado neste experimento é apresentado na Figura 2.

FIGURA 2 – Rejeito e agregado miúdo



Fonte: Autores (2019)

### 2.1.2 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado para a produção do concreto e confecção dos bloquetes neste experimento foi o CP III 40 RS da marca Montes Claros.

### 2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado para a produção do concreto e confecção dos bloquetes neste experimento foi a brita 0 (gnaisse - DMC 12,5 mm) comercializada pela empresa Martins Lanna Tecnologia em Areia e Brita.

### 2.1.4 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para a produção do concreto e confecção dos bloquetes neste experimento foi a areia média industrial (gnaisse - MF 2,54) comercializada pela empresa Martins Lanna Tecnologia em Areia e Brita.

### 2.1.5 Água

A água utilizada foi a de fornecimento do sistema de abastecimento local.

### 2.1.6 Formas

Para a confecção das amostras foram utilizadas formas plásticas do modelo *Peyver* - Figura 3 - com dimensões de (20 x 10 x 6) cm e rendimento de 50 peças por m<sup>2</sup>.

**FIGURA 3 – Forma plástica modelo Peyer para 4 blocos**



Fonte: Autores (2019)

## 2.2 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.

Dosou-se um traço de referência sem a substituição do agregado miúdo por RMF, tendo sido confeccionado, neste cenário inicial, 4 CP's (Lote 1). Nos demais cenários, o agregado miúdo foi substituído, parcialmente, por RMF, nas proporções de 5% (Lote 2), 10% (Lote 3) e 15% (Lote 4), tendo sido confeccionados 4 CP's em cada um destes cenários. A Tabela 1 apresenta a quantidade de cada material empregado na confecção das amostras.

**TABELA 1 – Dosagem utilizada na moldagem dos bloquetes**

TRAÇO	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	REJEITO (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (L)
<b>LOTE 1</b> (0% DE RMF)	1,000	1,660	0,000	2,410	0,540
<b>LOTE 2</b> (5% DE RMF)	1,000	1,577	0,083	2,410	0,540
<b>LOTE 3</b> (10% DE RMF)	1,000	1,494	0,166	2,410	0,540
<b>LOTE 4</b> (15% DE RMF)	1,000	1,411	0,249	2,410	0,540

Fonte: Autores (2019)

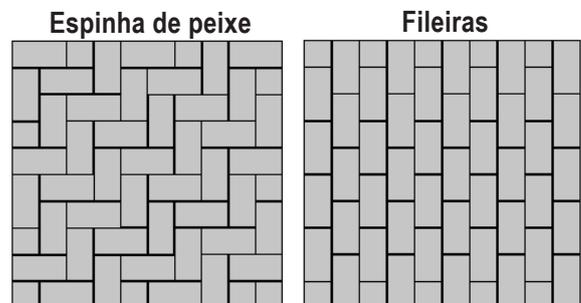
A Figura 4 permite visualizar os aspectos externos de um bloquete confeccionado com a substituição de 10 % de agregado miúdo por RMF, já a Figura 5 ilustra possíveis arranjos para assentamento dos bloquetes.

**FIGURA 4 – Bloquete (Lote 3)**



Fonte: Autores (2019)

**FIGURA 5 – Arranjos de assentamento**



Fonte: Hallack (1998, apud GODINHO, 2009)

### 3 RESULTADOS

A Tabela 2 indica os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial realizados nos CP's confeccionados neste experimento, tendo sido rompidos aos 28 dias.

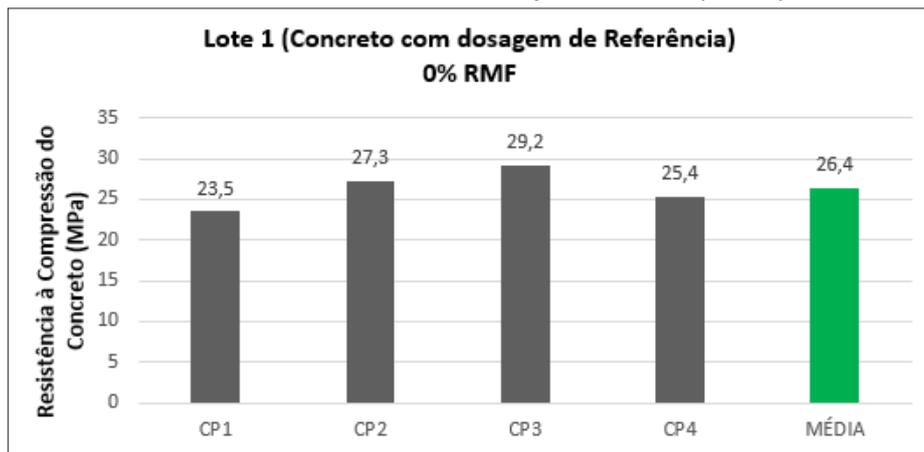
TABELA 2 – Resistência à compressão dos bloquetes de concreto

(CP)	LOTE 1 (0% DE RMF) MPa	LOTE 2 (5% DE RMF) MPa	LOTE 3 (10% DE RMF) MPa	LOTE 4 (15% DE RMF) MPa
CP1	23,5	20,9	29,0	29,3
CP2	27,3	26,7	25,6	22,9
CP3	29,2	31,3	29,2	26,5
CP4	25,4	23,3	31,3	24,2
MÉDIA	26,4	25,6	28,8	25,7
DESVIO PADRÃO	2,5	4,5	2,4	2,8

Fonte: Autores (2019)

O Gráfico 2, apresenta os resultados obtidos a partir do rompimento dos CP's confeccionados conforme a dosagem referência (Lote 1), isto é, sem a substituição de agregado miúdo por RMF.

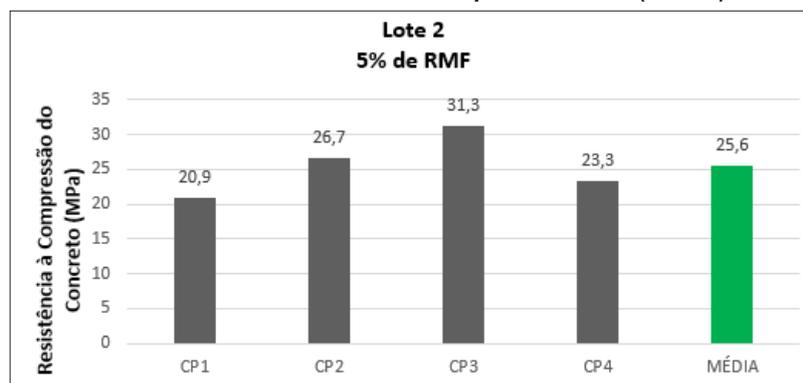
GRÁFICO 2 – Resistência à compressão axial (Lote 1)



Fonte: Autores (2019)

O Gráfico 3 informa os resultados obtidos a partir do rompimento dos CP's confeccionados segundo o traço de referência com a substituição de 5% do agregado miúdo por RMF (Lote 2).

GRÁFICO 3 – Resistência à compressão axial (Lote 2)

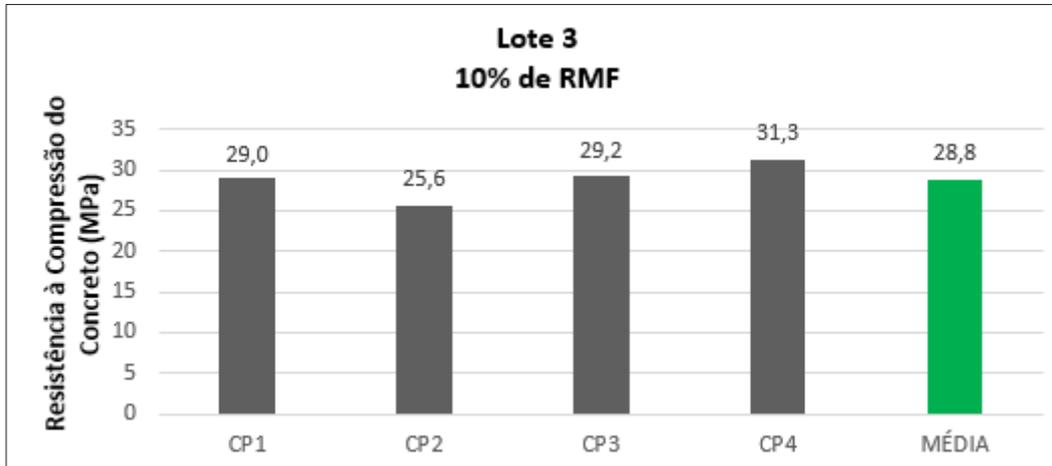


Fonte: Autores (2019)

Observou-se que o CP3 - Lote 2 - apresentou ganho de 18,5 % em relação à média de resistência do Lote 1 (cenário paradigma).

O Gráfico 4 informa os resultados obtidos a partir do rompimento dos CP's confeccionados segundo o traço de referência, com a substituição de 10% do agregado miúdo por RMF (Lote 3).

**GRÁFICO 4 – Resistência à compressão axial (Lote 3)**

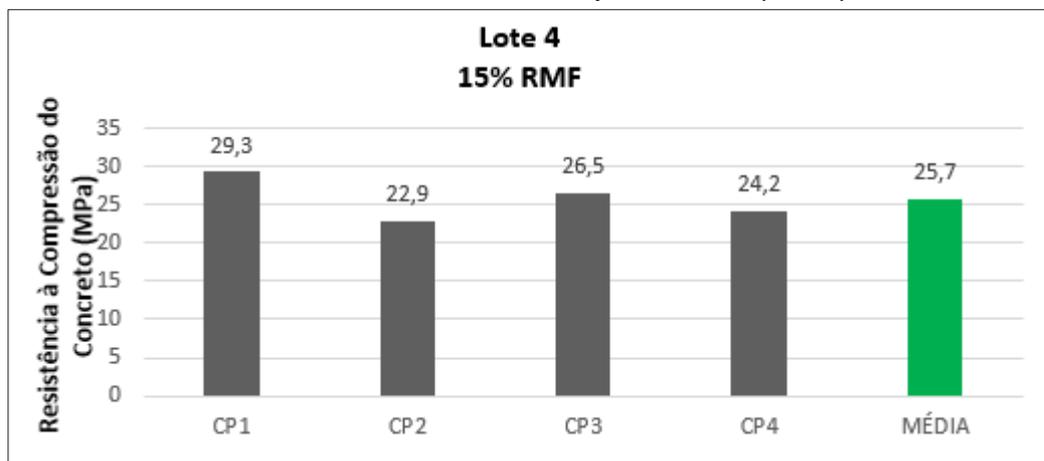


Fonte: Autores (2019)

Ao analisar-se a média dos valores obtidos no Lote 3, observou-se um acréscimo de resistência à compressão de 9,1 % em relação ao mesmo parâmetro do Lote 1 (cenário paradigma).

O Gráfico 5 informa os resultados obtidos a partir do rompimento dos CP's confeccionados segundo o traço de referência, com a substituição de 15% do agregado miúdo por RMF (Lote 4).

**GRÁFICO 5 – Resistência à compressão axial (Lote 4)**



Fonte: Autores (2019)

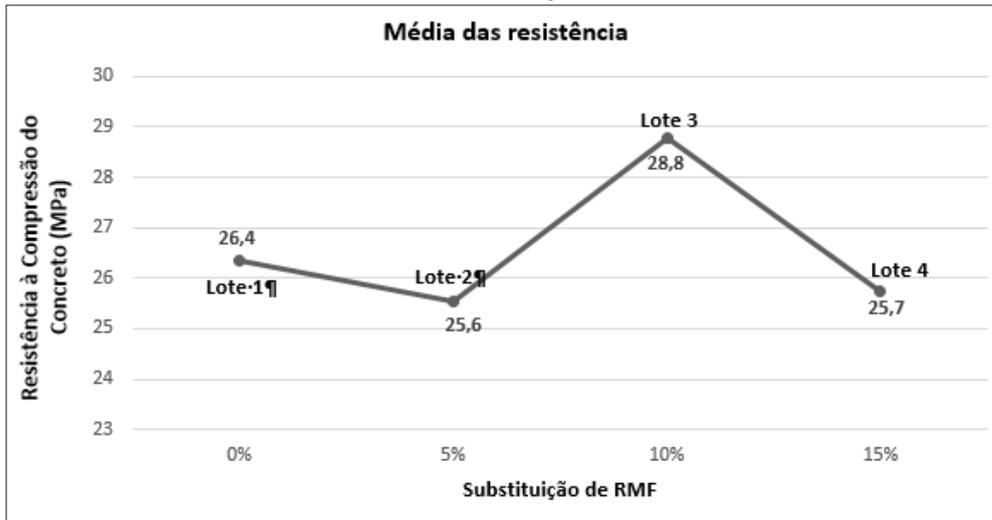
Considerando-se o cenário de substituição de 15% de agregado miúdo por RMF - Lote 4 - constatou-se que a média dos valores obtidos neste lote sofreu um decréscimo de resistência de 2,7 % em relação à média das resistências obtidas no Lote 1.

O Gráfico 6 permite a visualização das médias de resistência à compressão obtidas nos cenários utilizados neste experimento (Lotes 1, 2, 3 e 4).

Conforme observa-se a partir da análise do Gráfico 6, pôde-se constatar uma variação de resistência média à compressão axial ao se comparar os Lotes 2, 3 e 4 com o Lote 1.

Nesse contexto, e sob a premissa da análise das resistências médias obtidas em cada lote, observou-se, em relação ao concreto de referência - Lote 1 - acréscimo de resistência com a substituição de 10% de RMF (9,1 %) e decréscimo de resistência com as substituições de 5% e 15% de RMF (3,0 % e 2,7 %, respectivamente).

GRÁFICO 6 – Resistências médias à compressão axial dos lotes ensaiados



Fonte: Autores (2019)

## 4 CONCLUSÃO

Para análise da resistência à compressão axial dos bloquetes de concreto, objeto deste experimento, foram estabelecidos quatro cenários amostrais. No primeiro cenário, confeccionou-se corpos de prova a partir de concreto produzido em uma dosagem de referência (Lote 1), nos três cenários subsequentes, utilizou-se concretos produzidos com a substituição do agregado miúdo por RMF nas proporções 5%, 10% e 15% (Lotes 2, 3 e 4, respectivamente). Após o rompimento dos CP's e comparação das médias dos resultados alcançados, pôde-se verificar que os traços com 5% e 15% de substituição por RMF apresentaram decréscimo de 3,0 % e 2,7 %, respectivamente, em relação à média dos bloquetes confeccionados segundo a dosagem de referência (Lote 1). Em sentido contrário, a média dos resultados das amostras com substituição de 10 % apresentou acréscimo de resistência a compressão axial de 9,1 % em relação à média do Lote 1.

Neste experimento, buscou-se realizar uma análise comparativa da resistência à compressão axial de concretos produzidos com substituição do agregado miúdo pelo RMF e o cenário deste mesmo concreto em seu traço originário, ambos destinados à confecção de bloquetes. Para uma situação de produção em escala, sugere-se o aperfeiçoamento dos métodos de confecção dos bloquetes afim de se proporcionar um melhor adensamento do concreto e, conseqüentemente, se obter eventuais acréscimos nos patamares de ganho de resistência à compressão axial. Além disso, considerando a existência de cenários de acréscimo de decréscimo de resistência, sugere-se a estratificação dos cenários de substituição de agregados miúdos por RMF de modo a se obter um percentual "ótimo" em que se consiga o ponto de máximo ganho de resistência em comparação a um cenário de referência. No aspecto ambiental, inobstante a existência de um acréscimo de resistência, a utilização de RMF na produção de concreto é significativamente viável, haja vista promover o retorno de um passivo ambiental à cadeia produtiva, na condição de matéria prima.

## 7 REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BASTOS, Lucas Augusto de Castro. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária**. Dissertação - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <[http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao\\_Lucas.pdf](http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao_Lucas.pdf)>. Acesso em: 14 de março de 2019.

BATISTA, Junio Oliveira dos Santos [et al.]. **Utilização de rejeitos de barragens de minério de ferro na construção civil.** (Relatório de Pesquisa em Ciência, Desenvolvimento e Tecnologia para aplicação de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <[http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Relatorio\\_MPF-FIOROTTI.pdf](http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Relatorio_MPF-FIOROTTI.pdf)>. Acesso em: 11 de março de 2019.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 agosto 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acessado em: 14 maio 2019.

GUERRA, André Nillo Lopes Pires. **Caracterização e utilização de rejeito de minério de ferro pellet feed em pavimentos de blocos intertravados de concreto.** Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A2SJ7R/disserta\\_o\\_guerra\\_2014.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A2SJ7R/disserta_o_guerra_2014.pdf?sequence=1)>. Acesso em: . 13 de março de 2019.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual de Atividades - JULHO 2018 A JUNHO 2019.** Disponível em: <<https://ibram.org.br/relatorios-de-atividades/>>. Acesso em: 28 de junho de 2021.

JOHN, Vanderley, M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento.** Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <[https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV\\_Vanderley\\_John\\_-\\_Reciclagem\\_Residuos\\_Construcao\\_Civil.pdf](https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf)>. Acesso em: 14 de março de 2019.

SOUZA, João Vitor Silveira e GUEDES, Juliana da Silva e Mascarenhas. **O rejeito de minério de ferro e suas aplicações na construção civil.** IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, 2017. Disponível em: <[https://www.academia.edu/35643195/O\\_REJEITO\\_DE\\_MIN%C3%89RIO\\_DE\\_FERRO\\_E\\_SUAS\\_APLICA%C3%87%C3%95ES\\_NA\\_CONSTRU%C3%87%C3%83O\\_CIVIL?auto=download](https://www.academia.edu/35643195/O_REJEITO_DE_MIN%C3%89RIO_DE_FERRO_E_SUAS_APLICA%C3%87%C3%95ES_NA_CONSTRU%C3%87%C3%83O_CIVIL?auto=download)>. Acesso em: 14 de março de 2019.

WOLFF, Ana Paula. **Caracterização do rejeitos de menerio de ferro de minas da Vale.** Dissertação Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2345/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O\\_Caracteriza%c3%a7%c3%a3oRejeitosMin%c3%a9rio.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2345/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Caracteriza%c3%a7%c3%a3oRejeitosMin%c3%a9rio.pdf)>. Acesso em: 03 de novembro de 2019.