

ANÁLISES DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO¹

BESSA, S., EAUFMG, e-mail: sofiabessa@ufmg.br; MENDONÇA, I., EAUFMG, e-mail: isabelakaroline4@gmail.com; VIMIEIRO, J., EAUFMG, e-mail: jhadevimieiro@gmail.com; GURGEL, G., EAUFMG, e-mail: gleissongurgel.ufmg@gmail.com; MAGALHÃES, L., CEFET/MG, e-mail: luciano_fm8@hotmail.com; BEZERRA, A., CEFET/MG, e-mail: augustobezerra@des.cefetmg.br; LOURA, R., EAUFMG, e-mail: rejaneml@gmail.com;

ABSTRACT

Mining is one of the main sectors for the Brazilian economy and the state of Minas Gerais accounts for 35% of Brazilian mining. However, ore mining generates thousands of tons per day of different liquid, solid and sludge wastes. In this work, the objective was to replace part of Portland cement (PC) for calcined and raw iron ore tailings (IOT) in the production of cement-lime mortars. Mortars were produced with PC, hydrated lime and sand, using a constant 1:2:9 (weight basis). The IOT samples were used in a raw state and also calcined at 500°C, both ground for 10 minutes. The cement was replaced by IOT in the following percentages: 0%, 10%, 20%, 40% and 60%. The water/binder ratio of each mortar was determined by the consistency index. Cylindrical specimens were molded to determine the water absorption by immersion, borehole index and bulk density, at 28 days. For the flexural tensile strength test, 40x40x160mm prismatic specimens were molded. All specimens remained in the mold for 48 hours and, after demolding, they were cured in a laboratory environment until the test date. The results showed that the substitution of the PC for IOT, until 60% in mortars, didn't modify their properties.

Keywords: Coating mortars. Iron ore tailings. Mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

A produção de minério de ferro no Brasil teve, no segundo semestre de 2016 um rendimento estimado em R\$ 47,1 bilhões, o que representa aproximadamente 12,8% em relação à produção mundial (DNPM, 2016). Esse setor absorve aproximadamente 13% do pessoal ocupado diretamente na indústria extrativa mineral, com um contingente de 13 mil trabalhadores, e detém 296 concessões de lavra das 6.017 existentes no país (IPEA, 2012).

O Estado de Minas Gerais é responsável por quase metade do valor gerado pela indústria extrativa mineral (aproximadamente 44% em 2011, sem petróleo e gás natural) (IBRAM, 2016). Entretanto, a extração de minérios gera milhares de toneladas por dia de diversos resíduos líquidos, sólidos e lama. Para as mineradoras, o armazenamento desses resíduos é dispendioso e gera um grande passivo ambiental.

A reciclagem de resíduos minerais é uma alternativa sustentável, uma vez que este material pode ser utilizado para substituir recursos naturais e não renováveis na própria indústria da construção civil. Potencializar a utilização

¹ BESSA, S.; MENDONÇA, I.; VIMIEIRO, J.; GURGEL, G.; MAGALHÃES, L.; BEZERRA, A.; LOURA, R. Análises de argamassas de revestimento produzidas com rejeito de minério de ferro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

de rejeitos de mineiro de ferro (RMF) na construção é a maneira mais eficaz de reduzir o consumo de matérias-primas e dar um melhor destino ao grande volume gerado pelas empresas mineradoras.

Por essa razão, buscou-se analisar o comportamento de argamassas de assentamento, por ser este um insumo largamente utilizado na construção civil, com a substituição do cimento pelo RMF.

Dubaj (2000) fez um estudo comparativo entre os traços de argamassa de revestimento na cidade de Porto Alegre evidenciando a importância desse material na construção civil. Ele justifica o seu estudo no fato de que o uso de traços inadequados é responsável pelo surgimento de manifestações patológicas que diminuem a vida útil dos componentes ou da edificação. O autor concluiu que os traços 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia) são os mais utilizados e que cumprem satisfatoriamente a função de revestimento.

Franco *et al.* (2014) estudaram a viabilidade do emprego de RMF como agregado na produção de concretos. A proposta inicial era a substituição do agregado miúdo natural pelo RMF (lama de barragem), mas a adição do material como fíler mostrou-se mais adequada por conta da finura apresentada pelo material. Os traços com 5% e 10% de substituição de resíduo apresentaram melhor desempenho mecânico.

Fontes *et al.*, (2016) também estudaram a substituição do RMF pelos agregados e pela cal em traços de argamassa com base 1:3 e obtiveram resultados relevantes na substituição do resíduo pela cal. Contudo, os autores observaram que, para manter a mesma trabalhabilidade, houve um aumento na quantidade de água utilizadas nas argamassas com RMF.

Outras pesquisas correlatas também atestam a viabilidade do uso do RMF como filler em concretos (Zhao *et al.*, 2014; Shettima *et al.*, 2016).

As adições minerais utilizadas na produção de cimentos são resíduos de processos industriais, como as cinzas volantes. Uma adição mineral utilizada como pozolanas são as argilas calcinadas, geralmente obtidas pelo aquecimento em temperaturas elevadas de argilas extraídas da natureza. Uma opção a extração de argilas na natureza seria o uso de resíduos argilosos da atividade mineradora de outros minerais.

Magalhães *et al.* (2017) estudaram a substituição do cimento Portland por 10, 20 e 30% em massa por RMF e verificaram que a substituição do rejeito ao cimento reduziu a perda de massa devido ao ataque ácido.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso do RMF calcinado e *in natura* em argamassas para revestimento como substituto parcial do cimento Portland.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram produzidas argamassas à base de cimento (tipo CP IV 32, por ser o mais usado em argamassas na cidade de Belo Horizonte, MG), cal hidratada e areia média no traço 1:2:9.

O RMF foi utilizado em substituição parcial ao cimento. As amostras de RMF foram fornecidas pela Vallourec Mineração que utiliza o sistema de peneiramento, cicloneamento e filtragem do rejeito para a disposição em pilhas. A amostra foi coletada após o peneiramento e a cicloneamento.

Todas as amostras foram secas em estufa (por 24h) e moídas, apenas para uniformização (por 10 minutos), em moinho planetário de alto desempenho, da marca FRITSCHE, modelo Pulverisette 5, composto por quatro recipientes de moagem. Os recipientes e as esferas utilizadas são compostos por óxido de Zircônio, 94,2% ZrO_2 , com densidade de 5,7 g/cm³. A amostra foi recebida já calcinada a 500°C (forno rotativo).

A determinação da distribuição granulométrica do RMF foi realizada por granulômetro a laser Cilas 1090 Laser Particle Size Analyzer. A mineralogia da amostra foi determinada por meio da técnica de difração de raios x, realizada com equipamento SHIMADZU, modelo XRD-7000.

O agregado miúdo utilizado foi a areia média lavada disponível na cidade de Belo Horizonte. A cal utilizada foi do tipo CH-1 e o ensaio de finura (para controle) foi realizado de acordo com a NBR 7175 (ABNT, 2003). As amostras de areia foram caracterizadas quanto à granulometria (NM NBR 248), volume de vazios e massa unitária (NBR NM 45) e massa específica (NBR NM 52).

Para o estabelecimento dos ensaios, foi moldado um traço de referência com cimento Portland, cal e areia no traço 1:2:9. Posteriormente, o cimento utilizado foi substituído, em massa, pelo RMF, in natura e calcinado a 500°C, em teores de 0%, 10%, 20%, 40% e 60% (Tabela 1). O teor de água de cada traço foi determinado pelo índice de consistência de 255 mm \pm 10 mm (NBR 13276).

Foram moldados CPs cilíndricos de $\varnothing 50 \times 100$ mm para os ensaios de absorção por imersão, índice de vazios e densidade de massa no estado endurecido (NBR 9778), aos 28 dias. Para o ensaio de resistência à tração na flexão (NBR 13279), foram moldados CPs prismáticos de 40x40x160 mm. Todos os CPs permaneceram nos moldes por 48h e, depois do desmolde, curaram em ambiente de laboratório até a data de ensaio.

Tabela 1: Argamassas - Grupos e materiais utilizados

Tipo de resíduo	Grupos	Materiais			
		Cimento	Cal	Areia	RMF
Sem resíduo	G-Ref	1	2	9	-
Resíduo de minério de ferro (RMF) in natura	G1-in-10	0,9	2	9	0,1
	G1-in-20	0,8	2	9	0,2
	G1-in-40	0,6	2	9	0,4
	G1-in-60	0,4	2	9	0,6
Resíduo de minério de ferro (RMF) calcinado 500°C	G2-500-10	0,9	2	9	0,1
	G2-500-20	0,8	2	9	0,2
	G2-500-40	0,6	2	9	0,4
	G2-500-60	0,4	2	9	0,6

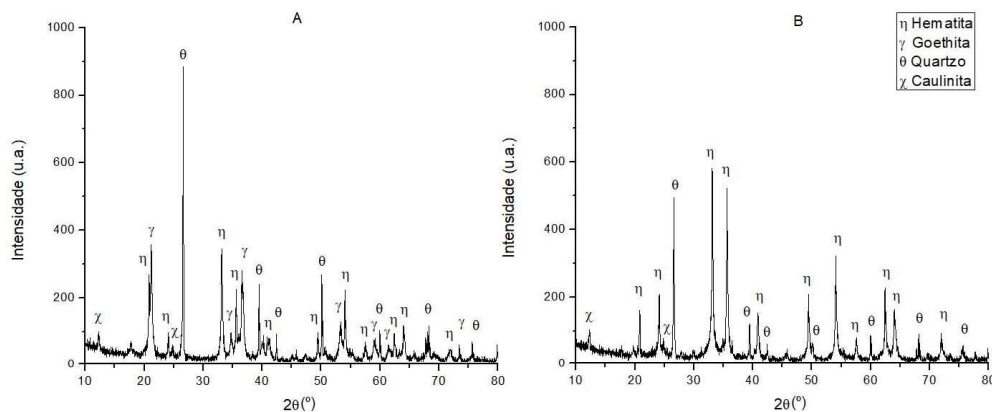
Fonte: Autores

Os CPs foram rompidos por meio do equipamento universal de ensaios da marca EMIC e os softwares TESC e Vmaq. Os CPs prismáticos foram posicionados nos aparatos para ensaio e a carga aplicada à razão de (50 ± 10) N/s.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da avaliação dos resultados encontrados em cada propriedade ensaiada, foi elaborada uma análise comparativa entre as argamassas estudadas. Os difratogramas das amostras de RMF *in natura* e calcinado são apresentados na Figura 1.

Figura 1: Difratogramas das amostras de RMF *in natura* (A) e calcinadas (B)



Fonte: Autores

Pela análise dos difratogramas, percebe-se a transformação da goethita em hematita - que ocorre entre 200°C e 300°C (MAGALHÃES, et al., 2017). Essa mudança pode ser a responsável pela alteração da coloração das amostras, o que reflete na tonalidade das argamassas. Na Figura 2, observa-se a mudança de tonalidade das argamassas à medida que se acrescenta o RMF em substituição ao cimento Portland, o que é bastante desejável em produtos para acabamento/ revestimento. Uma argamassa com tonalidade pode dispensar o uso da camada de pintura e receber apenas uma impermeabilização com hidrofugante (silicones à base de água).

Figura 2: Coloração das argamassas com RMF em comparação com a argamassa referência (esquerda).



Fonte: Autores

A Tabela 2 apresenta os resultados de caracterização da areia e da cal. Esses ensaios foram necessários para obter um controle das características dos materiais convencionais utilizados. Observa-se que a finura da cal (6,67%) está compatível com a norma correlata (< 10%).

Tabela 2: Caracterização - Areia e cal

Material	Areia	Cal
Métodos de caracterização	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de Vazios e Massa Unitária (0,11%; 1,39 g/cm³) • Massa Específica (2,49 g/cm³) • Módulo de Finura (3,21) • Dimensão máxima característica (2,40 mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Finura(% retida acumulada) na #0,075 - 6,67%

Fonte: Autores

Pela granulometria a laser, pode-se observar que a amostra de RMF *in natura* apresentou 90% das partículas com diâmetro inferior a 36,31 µm, enquanto a amostra calcinada a 500°C apresentou o valor de 27,67 µm, resultados muito próximos.

Na Tabela 3 são apresentados os valores da fator água/aglomerante e a correlação com o índice de consistência obtidos pelas argamassas. É possível observar que nem a consistência da argamassa e nem o teor de água se modificaram com o aumento da substituição de cimento por RMF.

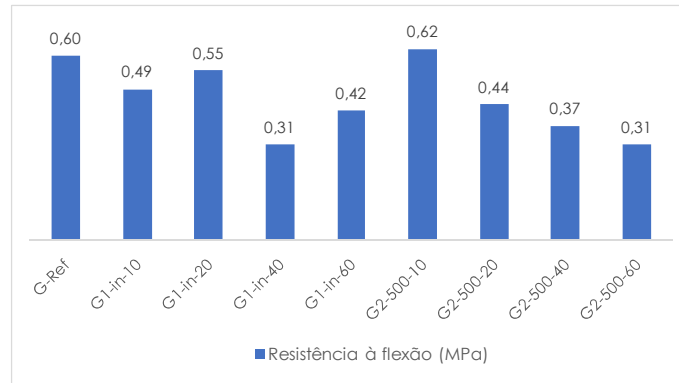
Os valores de resistência média à flexão são apresentados na Figura 2. Observa-se uma tendência na diminuição da resistência à flexão com o aumento do teor de RMF na argamassa, o que não interfere na classificação das argamassas como R1 (NBR 13281, 2005) e são aptas a serem utilizadas como argamassas de revestimento interno. Ainda assim, o comportamento das argamassas com RMF *in natura* e calcinado foi semelhante.

Tabela 3: Argamassas - Grupos e materiais utilizados

Grupos	Fator água/aglomerante	Índice de consistência - mm (NBR 13276)
G-Ref	0,99	25,5
G1-in-10	1,02	25,1
G1-in-20	1,02	26,5
G1-in-40	1,00	25,4
G1-in-60	1,02	25,7
G2-500-10	1,01	25,7
G2-500-20	0,98	24,8
G2-500-40	1,00	25,1
G2-500-60	1,00	25,9

Fonte: Autores

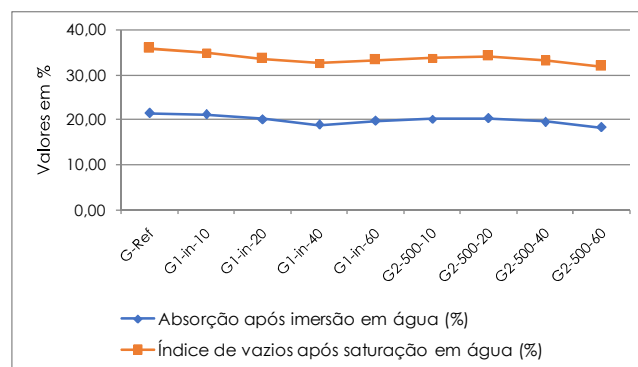
Figura 2: Resistência à flexão - resultados médios



Fonte: Autores

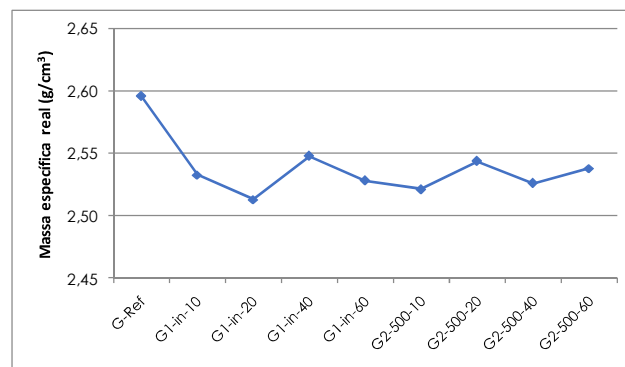
A Figura 3 apresenta os valores de absorção de água e do índice de vazios (após saturação em água). Pode-se notar que não há alteração entre as argamassas, diferente do que ocorre com a massa específica real no estado endurecido (Figura 4), que apresenta uma leve queda, nos valores médios, com a adição do RMF em relação ao traço referência. Ainda assim, os valores encontram-se dentro do intervalo previsto para argamassas de assentamento.

Figura 3: Absorção e índice de vazios - resultados médios



Fonte: Autores

Figura 4: Massa específica real - resultados médios



Fonte: Autores

Bezerra *et al.* (2011) encontraram valores de absorção de água entre 17% e 18% em argamassas com cinza da casca do arroz em substituição ao cimento Portland CP II F 32. Os mesmos autores observaram valores de massa específica real (no estado endurecido) entre 1,53 e 1,59 g/cm³.

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que:

- As argamassas produzidas com RMF em substituição ao cimento Portland apresentaram propriedades compatíveis com as argamassas de revestimento padrão;
- O uso de RMF não alterou as propriedades das argamassas de forma significativa e ainda lhes conferiram coloração característica, desejável em produtos para acabamento/ revestimento.
- É necessário que outros ensaios sejam realizados para aferir se a calcinação do RMF pode ser dispensada, mantendo-se, apenas, a etapa de moagem. Ainda assim, o RMF calcinado necessita de menos energia para ser produzido do que o clínquer Portland, o que justificaria o seu emprego.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7175:** Cal hidratada - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR NM45:** Agregados - determinação de massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____. **NBR NM52:** Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM248:** Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. Aplicação da cinza da casca de arroz em argamassas de assentamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 06, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas** / Coord. Geral W. F. Pinheiro, O. B. Ferreira Filho, C. A. R. Neves; Equipe Técnica por Marina Marques Dalla Costa... [et. Al.]; – Brasília: DNPM, 2016. 31 p.: il.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FONTES, W. C.; MENDES, J. C. SILVA, S. N.; PEIXOTO, R. A. F. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 988–995, 2016.

FRANCO, L. C., SANTOS, D. H.; ROSA, P. P. G.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. F. Aplicação de rejeitos de mineração como agregado para a produção de concreto. **Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto**. Campo Grande: IBRACON, 2014.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações Sobre a Economia Mineral Brasileira**. Brasília, 2015.

_____. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Brasília: Grifo Design, 2016. 279 p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006212.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília: Livraria - Ipea, 2012. 40 p. Disponível em: <http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814_relatorio_atividade_mineracao.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

MAGALHÃES, L. F.; MORAIS, I. S.; ESTEVES JUNIOR, M. A.; MELO, A. C.; MAIA, A. L. F.; BEZERRA, A. C. S. Resistência ao ataque ácido de cimento Portland com adição de rejeito de minério de ferro. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto**. Bento Gonçalves : IBRACON, 2017.

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.

PEIXOTO, R. A. F. **Utilização de Rejeitos de Barragem de Minério de Ferro na Construção Civil**./ Relatório Técnico. Ouro Preto: UFOP, 2016. Disponível em: <http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Relatorio_MPF-FIOROTTI.pdf>. Acesso em 10 nov. 2017.

ZHAO, S., FAN, J., SUN, W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 540–548, 2014.