

A INFLUÊNCIA DO TIPO DE AGREGADO E DO CIMENTO NA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS PREPARADAS COM RESÍDUO DE MINERAÇÃO E AREIA DE RIO

C. B. Freire^{*1,2}, S. S. Pereira Júnior¹, C. C. O. Tello¹, Lameiras, F.S.¹
Comissão Nacional de Energia Nuclear/Centro de Desenvolvimento da Tecnologia,
Nuclear, SEGRE, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP 30 161-970,
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

cbf@cdtn.br*

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear¹
Rede Temática em Engenharia de Materiais²

RESUMO

O itabirito é uma rocha constituída principalmente de camadas intercaladas de sílica e hematita. Sua exploração como minério de ferro requer a separação da sílica por processos físico-químicos, gerando grande quantidade de resíduos de sílica que são estocados em barragens, o que demanda permanente monitoramento e alto custo. Em contrapartida, a construção civil consome anualmente cerca de 210 milhões de toneladas de agregados (areia e brita) no Brasil e a extração excessiva da areia de rio provoca muitos impactos ambientais. Estudos anteriores indicaram a possibilidade técnica de utilizar estes resíduos de exploração do itabirito como agregados em produtos cimentícios na construção civil. Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar como a resistência à compressão de argamassas é afetada pelo tipo de agregado (resíduo e areia) e pelo tipo cimento utilizado (CPV e CPII). Seguindo o teste de hipóteses t-student, os resultados mostraram que resistência é maior para argamassas confeccionadas com areia e cimento CPV e, para argamassas confeccionadas com cimento CPII, o tipo de agregado não afetou na resistência.

Palavras-chave: Itabirito, Resíduo arenoso, Minério de ferro, Argamassa.

INTRODUÇÃO

O Brasil representa 9,8% das reservas mundiais de minério de ferro que totalizam cerca de 340 bilhões de toneladas e é o segundo produtor mundial de minério de ferro, tendo Minas Gerais a maior produção. As reservas brasileiras, com

um teor médio de 56,1% de ferro, estão localizadas, nos estados de Minas Gerais (63,1%), Pará (18%), e Mato Grosso do Sul (17,2%) ^{(1) (2)}.

No Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais encontra-se em grande quantidade o itabirito, que é uma rocha constituída de camadas com predominância de sílica (quartzo) e óxido de ferro (principalmente a hematita). O processo da exploração do minério de ferro contido no itabirito gera, durante a etapa de flotação, grande quantidade de resíduo ⁽³⁾. Esse resíduo apresenta característica arenosa, baixa granulometria, uniformidade quanto às propriedades físicas e químicas e, como ponto chave e ponto de partida para esse trabalho, grande disponibilidade o que sugerem que eles possam ser considerados como possíveis matérias-primas para vários segmentos industriais, sendo um deles a fabricação de artefatos de cimento.

O segmento de artefatos de cimento é uma das muitas indústrias que compõem o macrossetor da construção, sendo que a produção de blocos de concreto responde por 13,4% desse segmento. Um dos aspectos que tem sido importante para a sustentabilidade do setor é a racionalização do uso dos recursos naturais e aumento da durabilidade dos seus produtos ⁽⁴⁾.

O presente trabalho tem como objetivo verificar como a resistência à compressão de argamassas confeccionadas com o resíduo de exploração do itabirito e com areia natural é afetada pelo tipo de agregado (resíduo e areia) e pelo tipo cimento (CPV e CPII) utilizado. Para isso, o teste de hipótese t-Student foi aplicado por ser uma ferramenta estatística muito conhecida e usada para testar igualdades de duas médias quando os grupos são independentes ⁽⁵⁾.

EXPERIMENTAL

Materiais

Os materiais utilizados na confecção das argamassas obtidos de fontes comerciais foram: cimento Portland CP II-E 32, cimento Portland CP V-ARI, solução aquosa de policarboxilato (aditivo Viscocrete 3535). A água empregada foi coletada do sistema urbano de água. Como agregado utilizou-se um resíduo arenoso da exploração de minério de ferro do itabirito (Figura 1) e amostras de areia natural utilizadas na construção civil.



Figura 1 - Resíduo arenoso.

Métodos

O resíduo arenoso foi submetido aos ensaios de lixiviação e solubilização de resíduos sólidos para ser classificado segundo as normas da ABNT ^{(6), (7), (8), (9)}.

Procedimentos para confecção das argamassas

A confecção das argamassas foi realizada seguindo o planejamento fatorial 2^3 com dois níveis para cada fator principal. Para isso utilizou-se uma bateadeira G. Paniz modelo BG 8000 como misturador para confeccionar as argamassas seguindo procedimentos já citados em trabalhos anteriores ⁽¹⁰⁾. Os fatores principais selecionados foram o tipo de cimento, o traço e a razão de água/cimento (a/c). Essas formulações estão apresentadas na Tabela 1.

Foi avaliada como reposta a resistência à compressão aos 28 dias. O ensaio de resistência à compressão foi realizado com base na norma técnica NBR 7215 ⁽¹¹⁾, com o auxílio de uma prensa EMIC, modelo PCI 150. Os corpos-de-prova moldados neste trabalho apresentavam formato cilíndrico com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, aproximadamente. Eles foram submetidos à cura seca para evitar a geração de rejeitos secundários e para simular o ambiente real, de acordo com PO LABCIM-O3.

Tabela 1. Formulações confeccionadas

Experimento	Tipo de cimento	Traço ^a	a/c ^b
1	CPII	1:2	0,75
2	CPII	1:2	0,80
3	CPII	1:2,5	0,75
4	CPII	1:2,5	0,80
5	CPV	1:2	0,75
6	CPV	1:2	0,80
7	CPV	1:2,5	0,75
8	CPV	1:2,5	0,80

a traço cimento/areia (c/a); b razão cimento/água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os ensaios e análises de toxicidade, corrosividade e reatividade utilizados na classificação do resíduo foram realizados pela SGS GEOSOL Laboratórios Ltda e o laudo está apresentado no Relatório Técnico RT1000294⁽¹²⁾.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de ensaios de lixiviação para o resíduo arenoso puro. A obtenção do extrato lixiviado do resíduo arenoso “in natura” visa classificar os resíduos como Classe I – perigosos e Classe II – não perigosos. De acordo com os resultados, o resíduo estudado foi qualificado como não perigoso (Classe) por não conter elementos lixiviados em concentrações superiores aos limites estipulados na norma.

Os resultados do ensaio de solubilização estão apresentados na Tabela 3. A partir deles e de acordo com as normas ABNT NBR 10004, 10005 e 10006, o resíduo utilizado foi classificado como Classe II B (Não perigoso – Inerte), por não ter nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme Anexo “G”⁽⁸⁾. Adicionalmente o resíduo é não corrosivo, pois apresenta pH = 8,13 e não reativo.

Tabela 2. Resultado do ensaio de lixiviação, segundo a norma NBR 10005

Parâmetro	Concentração no Resíduo Lixiviado (mg/L)	Limite de Detecção do Método (mg/L)	Valor Máximo Permitido (mg/L)
Arsênio	< 0,01	0,01	1,0
Bário	0,04	0,02	70,0
Cádmio	< 0,001	0,001	0,5
Chumbo	< 0,01	0,01	1,0
Cromo Total	< 0,01	0,01	5,0
Fluoretos	< 0,22	0,10	150,0
Mercúrio	< 0,0002	0,0002	0,1
Prata	< 0,01	0,01	5,0
Selênio	< 0,01	0,01	1,0

Tabela 3. Resultado do ensaio de solubilização segundo a norma ABNT NBR 10006

Parâmetro	Concentração no Resíduo Lixiviado (mg/L)	Limite de Detecção do Método (mg/L)	Valor Máximo Permitido (mg/L)
Inorgânicos			
Arsênio	< 0,01	0,01	0,01
Bário	0,04	0,02	0,7
Cádmio	< 0,001	0,001	0,005
Chumbo	< 0,01	0,01	0,01
Cianeto	< 0,01	0,01	0,07
Cromo Total	< 0,01	0,01	0,05
Fluoretos	0,26	0,10	1,5
Mercúrio	< 0,0002	0,0002	0,001
Nitrato	0,22	0,05	10,0
Prata	< 0,01	0,01	0,05
Selênio	< 0,01	0,01	0,01
Alumínio	< 0,05	0,05	0,2
Cloreto	< 2,0	2,0	250
Cobre	< 0,009	0,009	2,0
Ferro	< 0,1	0,1	0,3
Manganês	< 0,05	0,05	0,1
Sódio	< 0,8	0,8	200
Sulfato	3,30	1,00	250
Zinco	< 0,1	0,1	5,0
Orgânicos			
Surfactantes	< 0,10	0,10	0,5
Fenóis Totais	< 0,001	0,001	0,01

Resistência à compressão aos 28 dias

- *Influência do tipo de cimento para argamassas confeccionadas com resíduo arenoso:*

Estão apresentados na Tabela 4 os resultados das médias da resistência à compressão das argamassas confeccionadas com resíduo em diferentes tipos de cimento (CP II e CP V).

Tabela 4. Resultados comparativos da resistência à compressão, entre os tipos de cimento, para argamassas de resíduo

	a/c = 0,75 traço 1:2	a/c = 0,80 traço 1:2	a/c = 0,75 traço 1:2,5	a/c = 0,80 traço 1:2,5
CP II	12,08	13,60	10,42	13,26
CP V	14,51	19,17	15,47	13,13
t_{calculado}	2,129	t_{teórico}	t(3;0,05) =	2,356

Comparando-se o t calculado = 2,129 para argamassas de resíduo e o t tabelado = 2,356 constata-se que os valores das resistências não são significativamente diferentes entre si, ou seja, o tipo de cimento, dentro da faixa estudada, não interfere na resistência à compressão das argamassas confeccionadas com o resíduo. Todavia existe a tendência das argamassas com CP V serem mais resistentes do que as com CP II E.

- *Influência do tipo de cimento para argamassas confeccionadas com areia:*

Estão apresentados na Tabela 5 os resultados das médias da resistência à compressão das argamassas confeccionadas com areia em diferentes tipos de cimento (CP II e CPV).

Tabela 5. Resultados comparativos da resistência à compressão, entre os tipos de cimento, para argamassas de areia

	a/c = 0,75 traço 1:2	a/c = 0,80 traço 1:2	a/c = 0,75 traço 1:2,5	a/c = 0,80 traço 1:2,5
CP II E	15,71	11,21	14,95	13,39
CP V	30,82	29,35	28,61	23,11
t_{calculado}	7,010	t_{teórico}	t(3;0,05) =	2,353

Comparando-se o t calculado para argamassas de areia = 7,010 e o t tabelado = 2,356, tem-se que os valores de resistência à compressão são significativamente diferentes entre si mostrando que o tipo de cimento afeta a resistência à compressão das argamassas confeccionadas com areia. As argamassas de CP V apresentam maior resistência à compressão do que as de CP II E, para as argamassas com areia natural.

- *Influência do tipo de agregado:*

Estão apresentados nas Tabela 6 e Tabela 7 as médias dos resultados das resistências à compressão de argamassas confeccionadas com CII e CPV para verificar a influência do tipo de agregado nessa resposta.

Tabela 6. Resultados comparativos da resistência à compressão, entre os tipos de agregado, para argamassas de CP II E

	a/c = 0,75 traço 1:2	a/c = 0,80 traço 1:2	a/c = 0,75 traço 1:2,5	a/c = 0,80 traço 1:2,5
Resíduo	12,08	13,60	10,42	13,26
Areia	15,71	11,21	14,95	13,39
$t_{\text{calculado}}$	0,798	$t_{\text{teórico}}$	$t(3;0,05)$	2,356

Tabela 7. Resultados comparativos da resistência à compressão, entre os tipos de agregado, para argamassas de CP V

	a/c = 0,75 traço 1:2	a/c = 0,80 traço 1:2	a/c = 0,75 traço 1:2,5	a/c = 0,80 traço 1:2,5
Resíduo	14,51	19,17	15,47	13,13
Areia	30,82	29,35	28,61	23,11
$t_{\text{calculado}}$	7,211	$t_{\text{teórico}}$	$t(3;0,05) =$	2,356

Pode-se afirmar que o tipo de agregado, dentro da faixa estudada, não interfere na resistência das argamassas de CP II E, já que o t calculado = 0,798, é menor que o tabelado = 2,356.

Ao contrário, fazendo-se a mesma análise para as argamassas com CP V tem-se que o tipo de agregado influencia a resistência à compressão, pois o t calculado = 7,211 é maior do que o t tabelado = 2,356. Portanto as argamassas com areia e CP

V apresentam, dentro da faixa estudada, resistência à compressão superior às com resíduo e CP V.

CONCLUSÕES

Segundo as Normas da ABNT o resíduo foi classificado como Classe II B (não perigoso – inerte).

Por meio da análise dos resultados utilizando o teste t-Student foi possível constatar, com 5% de significância, que para argamassas confeccionadas com resíduo o tipo de cimento não afeta a resistência à compressão e que o mesmo não é verdade para àquelas feitas com areia, em que as argamassas com cimento CPV apresentaram maiores valores.

Comparando-se a influência do tipo de agregado verificou-se que com CPII não há interferência nos valores de resistência à compressão, mas as médias são diferentes quando se comparam as argamassas feitas com areia e CPV, em que estas apresentaram maiores valores de resistência à compressão.

REFERÊNCIAS

1. IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. Disponível em: [http:// www.ibram.org/sites/1300/1382/00000273.pdf](http://www.ibram.org/sites/1300/1382/00000273.pdf). Acesso em 15/10/2009.
2. JESUS, C. A. G. Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/ferro.pdf>. Acesso em: 5 de julho de 2010.
3. MONTE, M.B.M. CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, 2002, Disponível em: [http:// www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-185-00.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-185-00.pdf) Acesso em: 23 de outubro de 2009.
4. FIEMG. Guia de sustentabilidade do setor de artefatos de cimento. Belo Horizonte: FIEMG, 2009.
5. VIEIRA, S. Análise da Variância (ANOVA). São Paulo: Atlas, 2006.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT- NBR 10004. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 10007. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
10. PEREIRA JÚNIOR, S. S.; FREIRE, C. B.; TELLO, C. C. O. Utilização de resíduo da exploração de minério de ferro em artefatos de cimento. In: 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Foz do Iguaçu, Paraná, 2010. Anais São Paulo, ABC, 2010.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 7215. Cimento Portland: Determinação da Resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1991.
12. GEOSOL. SGS Laboratórios Ltda. RELATÓRIO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ABNT NBR 10.004:2004. Vespasiano : s.n.,. p. 14. RT1000294, 2010.

INFLUENCE OF AGGREGATE AND CEMENT KIND ON COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR DEVELOPED WITH WASTE ORE AND RIVER SAND

ABSTRACT

Itabirite is a rock constitute of silica and hematite layers. The ore iron exploitation from itabirite is carry out separating the silica by chemical processes, generating high amount of sandy waste that are stocked in dams. In contrast, the construction industry consumes about 210 million tons of aggregates (sand and gravel) annually in Brazil and the excessive extraction of river sand causes many environmental impacts. Studies have indicated the technical feasibility of using these waste ore like aggregates in cement artifacts. Therefore, the aim of this study was to determine if compressive strength of mortars is affected by the kind of aggregate (sand and ore waste) and the kind of cement (CPV and CPII). The results were evaluated by the t-Student hypothesis test, and them showed that compressive strength is greater for mortar made up sand plus CPV cement and the kind of agreggate did not affect the strength for mortars made up CPII cement.

Keywords: itabirite, sandy waste, iron ore, mortar.