

ARGAMASSA DE ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA PARA ASSENTAMENTO DE ALVENARIAS E REVESTIMENTO

MARCELA BRUNA BRAGA FRANÇA ⁽¹⁾; BÁRBARA PONCIANO DE SOUZA ⁽²⁾; ANA
CRISTINA PIMENTA PEREIRA ⁽³⁾; WANNA CARVALHO FONTES ⁽⁴⁾; DIEGO HALTIERY DOS
SANTOS ⁽⁵⁾; RICARDO ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO ⁽⁶⁾;

(1) CEFET - MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais-
marcelinhabrana@gmail.com; (2) UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto –
barbaraPONCIANO@yahoo.com.br; (3) IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais –
aninhapimenta_2604@yahoo.com.br; (4) UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto –
wannarquit@gmail.com; (5) Universidade Federal de Ouro Preto - haltiery@yahoo.com.br; (6)
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – fiorotti@civil.cefetmg.com.br

RESUMO

A preservação de recursos naturais e não renováveis é essencial para a sociedade mundial. Sendo assim, com este propósito, foram desenvolvidas pesquisas experimentais com o objetivo de produzir uma argamassa aplicável à construção civil a partir da escória de aciaria de siderúrgicas de Minas Gerais. Assim, foram realizados ensaios de tração na flexão e aderência à tração, a fim de avaliar a resistência mecânica das argamassas produzidas com a escória em substituição ao agregado natural. Os resultados obtidos indicaram que os corpos-de-prova produzidos em laboratório contendo cimento/escória de aciaria com traço 1:3, em massa, aos 28 dias apresentaram-se satisfatórios em relação à resistência à compressão, resistência à tração na flexão e aderência à tração, viabilizando tecnicamente sua utilização como argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Palavras-chave: sustentabilidade, argamassa, escória de aciaria.

MORTAR OF ELECTRIC STEEL SLAG FOR SETTLEMENT OF MASONRY AND PLASTERING

MORTAR

ABSTRACT

The preservation of non-renewable natural resources is essential to the global society, thus, with this purpose this experimental research developed a mortar from steel slag applicable to construction using the material from steel mills of Minas Gerais. Tensile tests were conducted in bending and tensile adhesion in order to evaluate the mechanical strength of mortars produced with steel slag as a replacement for natural aggregate. The results obtained indicated that the specimens produced in the laboratory containing cement / steel slag with an 1:3 ratio, in mass, at 28 days were satisfactory with respect to compressive strength, tensile strength in bending and grip in traction, technically enabling its use as mortar for laying and jacket walls and ceilings.

Key-words: sustainability, mortar, steel slag.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta, confirmando a exploração contínua do meio ambiente provocada pela demanda do setor de construção civil, JOHN (2000)⁽¹⁾.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS⁽²⁾, o Brasil finalizou o ano de 2007, com uma produção de aproximadamente 33,8 milhões de toneladas de aço. Comparando-se com o ano anterior obteve-se recorde anual de produção de metal bruto com alta de 9,3%. Segundo FILEV (2006), a cada tonelada de aço produzido, gera-se em torno de 70 a 170 kg de escória, sendo que, de fornos de arco elétrico a produção média é de 130 kg, resíduos estes que geralmente não possuem correta destinação⁽³⁾.

As escórias brutas a serem utilizadas como agregados em matrizes de cimento Portland produzem resultados não satisfatórios. Segundo WANG (2010)

diferentemente da escória do alto forno, que é volumetricamente estável, a escória de aciaria contém óxidos hidratáveis (CaO e/ou MgO) que podem resultar na instabilidade volumétrica (expansão), que deve ser tratada através de envelhecimento adequado da escória de aciaria e controle de qualidade, especialmente o teste adequado para garantir a sua utilização na construção apropriada⁽⁴⁾.

Processos de estabilização e segregação das frações metálicas/não metálicas produzem materiais adequados à produção de matrizes de cimento Portland⁽⁵⁾.

A exposição das escórias de aciaria à saturação garante a redução do teor de cal livre e os processos de recuperação de metálicos produzem escórias com teor de ferro metálico inferior à 5%⁽⁶⁾.

Argamassa é um insumo necessário na construção civil. O consumo de agregados naturais por ano no Brasil, de acordo com JOHN (2000), pode ser calculado levando em conta a produção aproximada de 35 milhões de toneladas de cimento Portland. Estima-se que 210 milhões de toneladas de agregados sejam consumidos, somente em argamassa de concreto⁽¹⁾.

Sendo assim, o desenvolvimento de uma argamassa que incorpore os resíduos sólidos da indústria siderúrgica (escória de aciaria) em substituição aos agregados naturais, pode representar alternativa viável contribuindo com a demanda da construção civil e da indústria siderúrgica de maneira sustentável a partir da destinação adequada destes resíduos e preservação de fontes de recursos naturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

2.1.1. Cimento Portland

O cimento utilizado neste trabalho experimental foi o Cimento Portland CPIII 40 RS, devido as suas características de endurecimento mais lentas requeridas para realização dos ensaios de caracterização da argamassa e ainda pela facilidade de encontrar no

mercado. A Tabela 1 apresenta composição química do cimento utilizado fornecida pelo fabricante.

Tabela 1: Composição química do cimento

<i>RESULTADOS OBTIDOS, em %</i>							
CO ₂	PF 500 °C	PF 1000 °C	R.Insol.	SO ₃	SULFETO		
NBR 11583		NBR 5743	NBR 5744	NBR 5745	NBR 5746		
1,27	0,50	2,29	0,41	2,15	0,33		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Cal Livre	C ₃ A teórico
25,4	8,1	1,9	54,5	3,1	0,5	4,5	

2.1.2. Cal

A cal utilizada nas misturas foi a cal hidratada, tipo CHI. As argamassas à base de cal hidratada têm resistência suficiente quanto à compressão e aderência, tanto para assentamentos como para revestimentos ⁽⁷⁾. As informações técnicas com relação ao produto utilizado são mostradas na Tabela 2, obtidas junto ao fornecedor.

Tabela 2: Informações técnicas da cal hidratada

<i>Dados Técnicos Cal Hidratada</i>			
Aspecto	Resíduos Insolúveis	Óxido não-hidratados	Óxidos Totais
Pó seco branco	<6%	0%	>90%

2.1.3. Escória de aciaria elétrica

A escória de aciaria utilizada como agregado miúdo neste projeto é um resíduo sólido da siderurgia, cuja composição química foi obtida por Fluorescência de Raios X e seus resultados são apresentados na Tabela 3. A Fluorescência de Raios X é o método clássico utilizado para a determinação dos óxidos majoritários e elementos traços. As vantagens da utilização desta técnica estão relacionadas ao alto nível de precisão analítica alcançado e a rapidez nas análises. A fusão e pó prensado são as 2 técnicas clássicas de preparação de amostras para análise por FRX.

Essa escória passou por um sistema capaz separar com grande eficiência as frações metálicas e não metálicas da escória de aciaria, sendo a fração não metálica apropriada para a produção de argamassas. O processamento é realizado fora da siderúrgica e é essencial para viabilidade da utilização da fração não metálica da escória de aciaria, uma vez que garante ao material concentração de óxidos de ferro em níveis idênticos aos agregados naturais ⁽⁵⁾.

A Figura 1, apresentada a seguir, ilustra o protocolo experimental para separação das frações metálicas e não metálicas, que fundamenta o processo especializado de pós-processamento das escórias para produção de agregados para construção civil.

Tabela 3: Composição química da escória de aciaria

<i>Resultado Análise Química da Escória de Aciaria- %</i>											
Iden.	Local	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	FeO
Escória	Aciaria	19,24	4,68	18,44	8,25	17,62	0,21	0,59	3,50	0,98	34,17

Figura 1 – Escória de aciaria LD

a. Processo de separação



b. Areia de escória



2.2. Métodos

2.2.1. Caracterização dos materiais

Para a caracterização física do agregado miúdo utilizado neste trabalho foram realizados os ensaios de composição granulométrica – NBR NM 248/2003 ⁽⁸⁾, massa específica – NBR 9776/1987 ⁽⁹⁾, massa unitária – NBR 7251/1982 ⁽¹⁰⁾ e teor de umidade – NBR 9939/1987 ⁽¹¹⁾.

Amostras de escória de aciaria foram analisadas pela empresa Bioagri Ambiental para caracterização químico-ambiental e utilizou-se como critério para classificação do resíduo sólido a interpretação dos dados obtidos de acordo com os parâmetros de solubilização e lixiviação constantes nos anexos F e G da NBR 10004/04⁽¹²⁾.

2.2.2. Estudo das dosagens

Para o estudo das dosagens a serem produzidas, foram utilizadas as prescrições normativas da norma britânica BS 4551⁽¹³⁾.

Os traços das argamassas produzidas foram escolhidos levando em consideração as aplicações específicas da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto. Para a dosagem dos traços foi adotada a proporção de 1:3 entre aglomerante e agregado, em massa, tendo sido produzidos os traços comumente utilizados para revestimento: 1:3, 1:1:6 e 1:2:9,. Para análise do comportamento da escória de aciaria na mistura cimentante, foram produzidos traços 1:6 e 1:9, caracterizados como traços mais pobres, com menor consumo de cimento. A Tabela 4 apresenta as traços produzidos.

Em relação ao fator a/c das argamassas, este foi definido em função das características de trabalhabilidade, adotando-se o índice de consistência estabelecido igual à (260 ± 5) mm de abertura, como recomendado pela NBR 13276/2005⁽¹⁴⁾.

Tabela 4: Traços produzidos em massa

Dosagem Experimental Argamassa				
Traços	Cimento	Cal	Agregado Miúdo	
			Escória	Areia
1	1	2	-	9
2	1	1	6	-
3	1	-	3	-
4	1	-	6	-
5	1	-	9	-

2.2.3. Moldagem dos corpos de prova

Os corpos-de-prova das argamassas foram moldados de acordo com a NBR 13279/2005⁽¹⁵⁾. O processo de moldagem é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Moldagem dos corpos-de-prova, empregando-se mesa de adensamento



2.2.4. Caracterização das argamassas

Os ensaios para caracterização foram executados de acordo com exigências da NBR 13281/2005⁽¹⁶⁾. Foram realizados ensaios de índice de consistência – NBR 13276/2005⁽¹⁴⁾, densidade de massa nos estados fresco e endurecido – NBR 13278/2005⁽¹⁷⁾ e NBR 13280/2005⁽¹⁸⁾ respectivamente, retenção de água – NBR 13277/2005⁽¹⁹⁾ e teor de ar incorporado – NBR 13278/2005⁽¹⁷⁾.

2.2.5. Resistência à compressão

Todo o procedimento de ensaio de resistência à compressão desde a moldagem, cura e rompimento dos corpos-de-prova cilíndricos foi realizado segundo a NBR 7215/1996⁽²⁰⁾. Os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas e rompidos à compressão com idades de 3, 7, 14 e 28 dias. O processo de rompimento é mostrado na Figura 3a.

2.2.6. Tração na flexão

Os resultados de tração na flexão foram obtidos segundo as especificações da NBR 13279/2005⁽¹⁵⁾. Os corpos de prova foram rompidos na prensa EMIC, os apoios utilizados foram espaçados em $(100,0 \pm 0,5)$ mm e foi aplicada uma carga de (50 ± 10) N/s centralizada entre os apoios, de modo que a face rasada não entrou em contato com os dispositivos de apoio, nem com o dispositivo de carga. Foram realizados ensaios com os corpos de prova com as idades de 3, 7, 14 e 28 dias. A Figura 3b mostra a execução do ensaio.

Figura 3: Rompimento do corpo-de-prova, empregando-se máquina universal

(a) Tração na flexão



(b) Resistência à compressão



2.2.7. Aderência à tração

A determinação da resistência potencial de aderência à tração foi obtida através de especificações da NBR 15258/2005 ⁽²¹⁾. A Figuras 4 mostra a realização do ensaio de aderência à tração.

Figura 4: Execução do ensaio, empregando-se aparelho de arrachamento

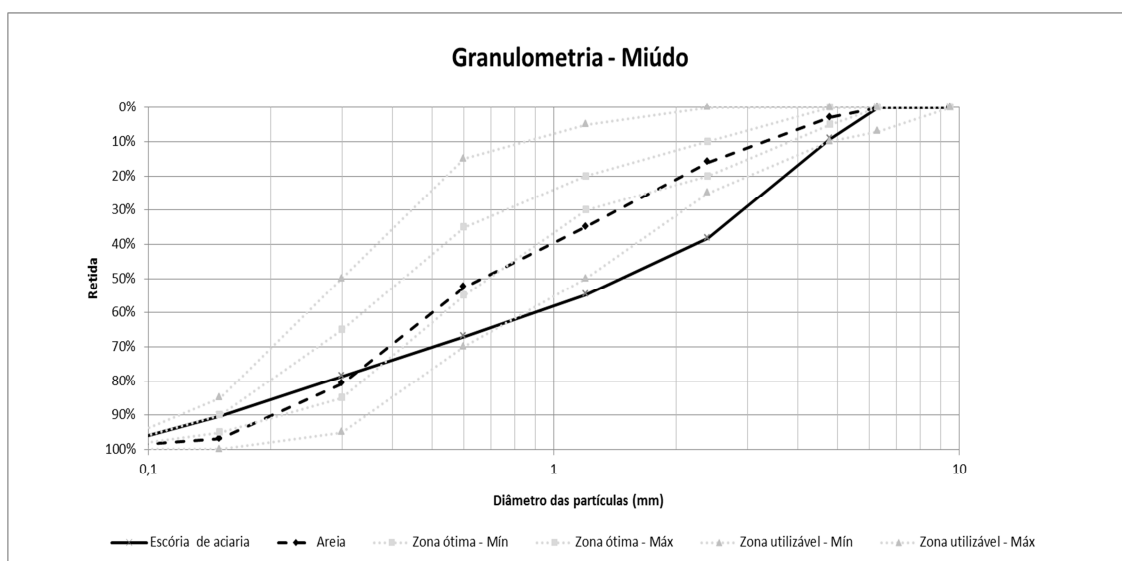


3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da escória de aciaria

Para a execução dos ensaios de caracterização da escória de aciaria, foram usadas as mesmas normas técnicas existentes para agregados naturais. Isso se deve ao fato de não existir normas técnicas específicas para agregados artificiais, como a escória. O resultado do ensaio de análise granulométrica é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Composição granulométrica dos agregados



Os resultados de dimensão máxima, módulo de finura, massa específica, massa unitária, teor de umidade e material pulverulento são apresentados comparativamente com a caracterização da areia natural na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de caracterização da escória

Ensaio	Escória de aciaria	Areia natural
Módulo de finura	3,38	2,23
Dimensão máxima (mm)	6,3	2,4
Massa específica (g/cm ³)	2,81	2,59
Massa unitária (kg/dm ³)	1,63	1,43
Teor de umidade (%)	7,6	3,5
Material pulverulento (%)	5	3,2

Os resultados obtidos para o módulo de finura indicam ser a escória de aciaria mais grossa que o agregado natural, com dimensão máxima fora da faixa. As massas específica e unitária da escória apresentam-se com valores próximos às massas específicas e unitárias da areia natural.

O teor de material pulverulento da escória está acima do identificado no agregado natural, porém, se encontra dentro dos limites de 10% ditados pela normalização.

Análises ambientais conduzidas conforme a NBR10004/2004 ⁽¹²⁾ classificam essa escória de aciaria como Classe II A – não inerte.

3.2. Caracterização das argamassas

Os ensaios de caracterização das argamassas foram realizados de acordo com a normalização correspondente e seus resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados da caracterização das argamassas produzidas

Traços	1:2:9	1:1:6	1:3	1:6	1:9
Índice de Consistência (mm)	255	260	261	263	255
Retenção de Água (%)	98,6%	97,6%	98,1%	97,2%	96,1%
Densidade de Massa no Estado Fresco (Kg/m³)	2199	2228	2330	2288	2317
Densidade de Massa no Estado Endurecido (Kg/m³)	2093	2155	2206	2151	2150
Teor de Ar Incorporado (%) / Resultados do Medidor	4,2%	5,0%	5,4%	4,8%	5,4%

Os resultados obtidos no ensaio de consistência, realizados conforme procedimento da NBR 13276/2005 ⁽¹⁴⁾, apresentaram pequena variação em relação ao limite estabelecido de (260 + 5mm) para o espalhamento da argamassa.

E ainda, de acordo com a ABNT NBR 13277/1995 ⁽²²⁾, os traços podem ser classificados como argamassa de alta retenção de água confirmando a capacidade de argamassas

fabricadas com escória de aciaria de não perder água para o ambiente com facilidade, propriedade importante para argamassa.

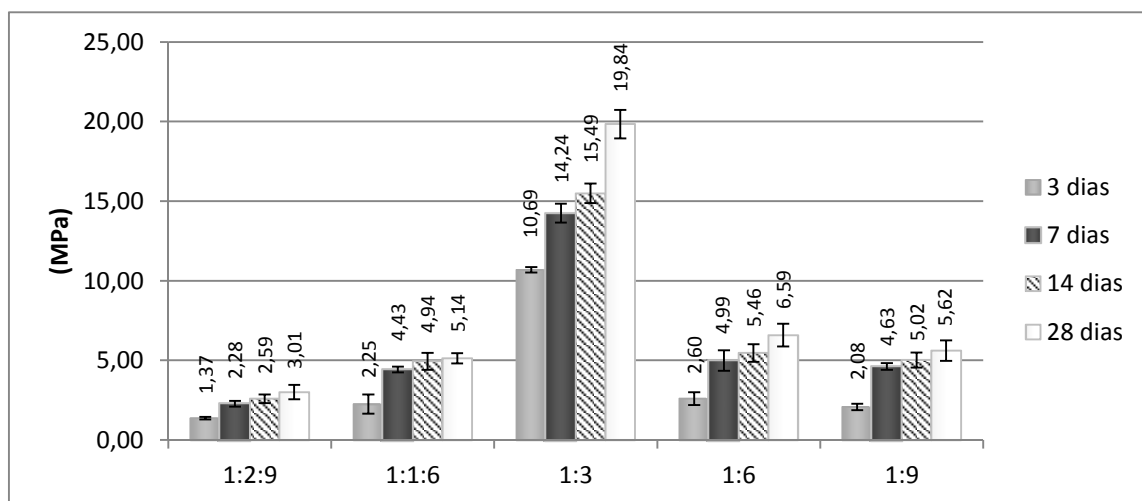
A adição de cal reduz a densidade da argamassa no estado endurecido. Após reações do cimento e da cal não há diferença entre densidades para argamassas de escória.

Em relação aos valores obtidos de teor de ar incorporado, pode-se observar que a argamassa produzida com agregado natural possui valores inferiores às argamassas produzidas com escória, dada a menor superfície específica dos agregados de escória e presença de óxidos de cálcio livres na mistura.

3.3. Resistência à compressão

O ensaio de resistência foi executado de acordo com a NBR 7215/1996 ⁽²⁰⁾ e os resultados são apresentados na Figura 6 a seguir.

Figura 6: Gráfico de resistência à compressão



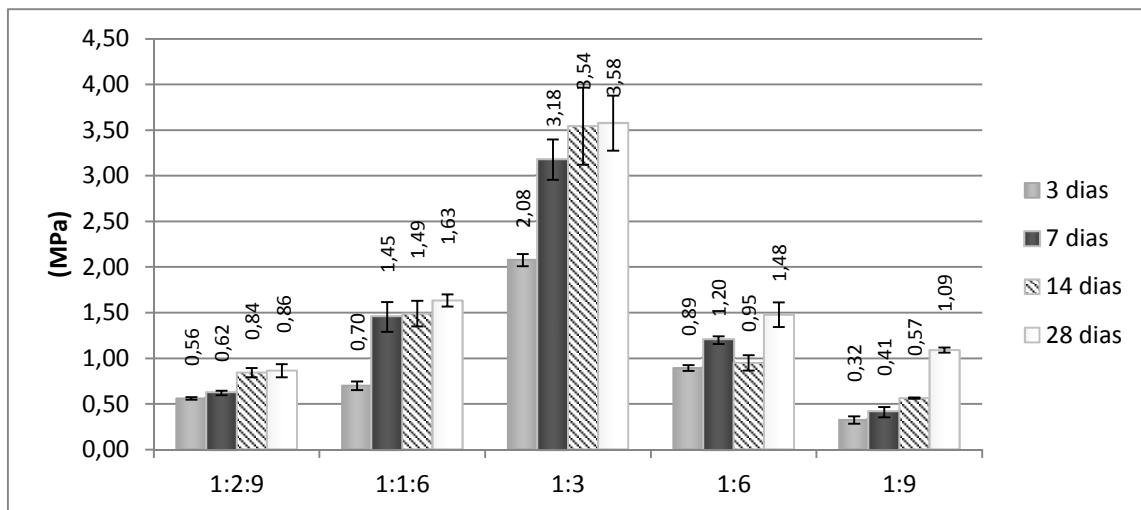
Através dos resultados obtidos, observa-se que em todas as idades as argamassas produzidas com escória apresentam valores de resistência à compressão superiores às argamassas produzidas com areia, sendo que o traço 1:3, mais rico em cimento, apresentou melhores resultados.

A presença dos óxidos de cálcio e magnésio (CaO e MgO) na escória, induzem reações mais lentas para o cimento, mas que não prejudicam desempenho mecânico dos tracos.

3.4. Resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados segundo especificações da NBR 13279/2005 ⁽¹⁵⁾ e seus resultados são apresentados no gráfico da Figura 7.

Figura 7: Representação dos resultados do ensaio de tração na flexão

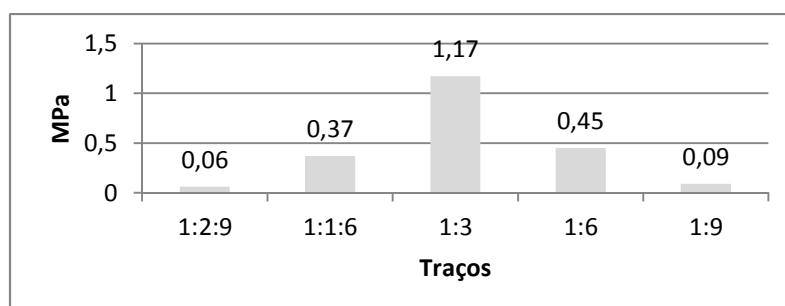


Os resultados do ensaio de tração na flexão mostram que as argamassas que utilizam escória de aciaria como agregado, possuem maiores resistências do que as argamassas que utilizam areia, exceto para o traço 1:9, nas idades menores que 28 dias. Este parâmetro varia também em função da densidade registrada para a argamassa.

Aderência

A determinação da resistência potencial de aderência à tração foi obtida através de especificações da ABNT NBR 15258/2005 ⁽²¹⁾ e estão apresentados no gráfico da Figura 8.

Figura 8: Resultados do ensaio de aderência à tração, em MPa



De acordo com a NBR13281/ 2005 ⁽¹⁶⁾, os traços 1:9 e 1:2:9, podem ser classificados como “A1”, por apresentarem resistências ao arrancamento inferiores a 0,20 Mpa e os traços 1:3, 1:1:6, 1:6 podem ser classificados como “A3” pois apresentaram resistência ao arrancamento superiores a 0,30 MPa. Sabendo-se que a resistência ao arrancamento requerida para revestimentos de paredes internas e tetos é de aproximadamente 0,2 MPa e para paredes externas é 0,3 MPa, os traços 1:3, 1:1:6 e 1:6 podem ser utilizados para estas finalidades.

4. CONCLUSÕES

Como contribuição à destinação adequada de resíduos sólidos industriais, os resultados obtidos neste trabalho mostram que as argamassas produzidas com escória de aciaria apresentam resistências mecânicas superiores à argamassa produzida com areia (traço 1:2:9), sendo que o traço 1:3 apresentou os melhores resultados, tanto em resistência à compressão quanto à tração. Em relação à aderência, todas as argamassas produzidas com escória apresentaram desempenho superior àquelas produzidas com agregado natural. Tendo ainda, as argamassas, parâmetros idênticos para trabalhabilidade, de acordo com resultados obtidos da metodologia aplicada neste trabalho, pode-se afirmar que a utilização de escórias de aciaria com agregados para produção de argamassas mostra-se viável.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio e fomento concedidos pela FAPEMIG, UFOP, RECICLOS e Fundação Gorceix.

6. REFERÊNCIAS

1. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 113p.
2. INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Disponível em <<http://www.ibs.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em Janeiro de 2008.
3. FILEV, R. **Escória de aciaria**. Fichas técnicas, São Paulo, 2006. 3 p.
4. G. Wang. **Determination of the expansion force of coarse steel slag aggregate”, Construction and Building Materials 24**. 2010
5. PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti, PADULA, F. R. G, FRANÇA, M. B. B, KAMADA, C. E. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para a utilização de escória de aciaria na fabricação argamassa para alvenarias**. Congresso Construção. Universidade de Coimbra. Coimbra 2007.
6. RELATORIOS P&D PARA SUSTENTABILIDADE - Produção de agregados para construção civil a partir da reciclagem de escórias de aciaria – 2012, laboratório de Materiais de Construção LMC – UFOP
7. CAMPOS, I. M. **Cal Hidratada nas argamassas**. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=101>. Acessado em: 22/11/2012
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica, 2003.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Elaboração. Rio de Janeiro, 1987.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Elaboração. Rio de Janeiro, 1982.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo - Método de ensaio. Elaboração. Rio de Janeiro, 1987.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
13. British Standards Institution. **BS 4551** Mortar. Methods of test for mortar. Chemical analysis and physical testing, New York, 2005.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da Retenção de Água. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Elaboração. Rio de Janeiro, 1996.
21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da Retenção de Água. Elaboração. Rio de Janeiro, 1995.