CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.224
ISBN 978-65-86819-05-2

EFEITO DA UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA BSSF COMO AGREGADO MIUDO NAS PROPRIEDADES REOLOGICAS DE ARGAMASSAS SIMPLES POR MEIO DO MÉTODO DO SQUEEZE-FLOW

ALVES AMANCIO, FELIPE
Mestre em Engenharia Civil
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
felipeaamancio@hotmail.com

ALEXANDRE LIMA, DOUGLAS
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
douglasalexandre@alu.ufc.br

RODRIGUES DE OLIVEIRA DIAS, ALISSON
Mestre em Engenharia Civil
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
rodrigues_alisson@live.com

BEZERRA CABRAL, ANTONIO EDUARDO
Professor, Doutor
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
eduardo.cabral@alu.br

MESQUITA, ESEQUIEL
Professor, Doutor
Universidade Federal do Ceará
Ceará; Brasil
Mesquita.e@outlook.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar o comportamente reológico por meio do squeeze flow de argamassas com a utilização da escoria de aciaria Baosteel Slag Short Flow (BSSF) como agregado miúdo. O trabalho experimental contou com ensaios de caracterização físico-química da escória produzidas na Companhia Siderúrgica do Pecém, bem como a realização dos ensaios de índice de consistência e Squeeze-flow. Os traços investigados foram 1:3, 1:5 e 1:7 com a substituição nos teores de 0, 20%, 40% e 60% em volume. Para o ensaio do squeeze flow, foram realizadas 3 repetições para cada traço e os resultados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA). Pode-se constatar que as argamassas com maiores teores de escória demandaram uma maior quantidade de água para obter o espalhamento na mesa de consistência, o qual foi fixado em 260 ± 5mm. Em relação ao comportamento reológico pelo squeeze-flow, constatou-se que apesar de as argamassas com escória de aciaria BSSF apresentarem maior relação a/c, estas obtiveram menores valores de deslocamentos para um carregamento máximo de 1kN, o que implica em afirmar que a substituição da areia por escória de aciaria influencia negativamente nas propriedades reológicas, o que irá afetar as propriedades do estado endurecido.
Palavras-chave: Escória de aciaria; argamassa de revestimento; squeeze-flow

ABSTRACT

This work aimed to investigate the rheological behavior of mortars by squeeze flow method with the utilization of Baosteel Slag Short Flow (BSSF) steel slag as fine aggregate. The experimental work consisted of physical-chemical characterization tests of the BSSF steel slag produced at Companhia Siderúrgica do Pecém, as well as the performance of consistency index and Squeeze-flow tests. The investigated mixes were 1:3, 1:5 and 1:7 with substitution in the contents of 0%, 20%, 40% and 60%, by volume. For the squeeze flow test, 3 repetitions were performed for each mix and the results were statistically analyzed by analysis of variance (ANOVA). It can be seen that the mortars with higher BSSF steel slag content required a larger amount of water to obtain the spread on the consistency table, which was set at 260 ± 5mm. Regarding the rheological behavior by squeeze-flow, it was found that although the mortars with BSSF steel slag had higher w/c ratio, they had lower displacement values for a maximum load of 1kN, which implies that the replacement of sand by BSSF steel slag negatively influences the rheological properties, which affect the properties of the hardened state.
Keywords: BSSF steel slag; cladding mortar; squeeze-flow

ISBN 978-65-86819-05-2

1. INTRODUÇÃO

O consumo dos recursos naturais tem aumentado acompanhando o crescimento populacional, bem como o desenvolvimento dos setores econômicos, acarretando grandes impactos ao meio ambiente. Neste cenário, a indústria da construção civil tem papel de destaque, tendo em vista que é uma das maiores consumidoras de recursos naturais não renováveis. A exemplo disso, em 2015 este setor consumiu 519 milhões de toneladas de agregados (ANEPAC, 2016).

Em paralelo, tem-se o papel de destaque da indústria siderúrgica na economia e no meio ambiente do Brasil e do mundo. A produção de aço, em 2017 alcançou novo recorde, ao totalizar 1,7 bilhão de toneladas (WORDSTEEL ASSOCIATION, 2018). Entretanto, a indústria siderúrgica gera grandes quantidades de escória como rejeito (QASRAWI,2014), estimando-se que a geração de escórias de aciaria pode chegar a uma tonelada para cada três toneladas de aço produzido (SHEN et al., 2004; DAS et al., 2007). Com isto, tem-se a necessidade de se encontrar um destino adequado a estas escórias reinserindo-as a novos processos produtivos.

Entretanto, diversos estudos demonstraram que a escória de aciaria possui boas características físicas, como a alta resistência e durabilidade, o que demonstra um potencial para ser utilizada como agregados na indústria da construção civil (ABU-EISHAH; EL-DIEB; BEDIR, 2012; WANG, 2010). Com isto, o setor da construção civil é uma das indústrias mais interessadas no aproveitamento desse tipo de resíduo, e tem buscado incorporá-los aos materiais de construção, com vista à melhoria das propriedades dos seus produtos, à redução do custo de produção e à geração de menor impacto ambiental.

A escória de aciaria contém óxidos hidratáveis (CaO livre e/ou MgO livre) que podem resultar em instabilidade volumétrica, provocando expansão (WANG, 2010; WANG; WANG; GAO, 2010). Entretanto, a escória de aciaria da Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP), localizada no Estado do Ceará, passa por um processo de tratamento, formando um material de característica vítrea, granulado e com baixas quantidades de cal livre (LIU; WANG, 2011; LIU; GUO; D. ZHU; J. CHEN, 2011; SOUZA, 2016). Com isto, tem-se a geração da escória de aciaria BSSF, um material livre de expansão (LIU; WANG, 2011; LIU; GUO; D. ZHU; J. CHEN, 2011).
Neste sentido, o objetivo deste trabalho é investigar a influência da substituição do agregado miúdo natural pela escória de aciaria Baosteel Slag Short Flow (BSSF) nas propriedades do estado fresco de argamassas de revestimento de cimento Portland.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Utilizou-se cimento Portland CP V – ARI. A água utilizada foi proveniente do sistema de abastecimento de água de Fortaleza. A cal utilizada foi a cal hidratada tipo CH-I, com massa específica na ordem de 2,56 g/cm³. A areia natural utilizada foi proveniente da Região Metropolitana de Fortaleza, enquanto a escória de aciaria utilizada foi a BSSF, disponibilizada pela CSP, localizada em São Gonçalo do Amarante, Ceará, na qual, segundo a NBR 10004:2004, é classificada como um resíduo inerte Classe II B.

A escória foi submetida ao peneiramento (NBR NM 248, ABNT 2003) e em seguida, foi realizado o ajuste da distribuição granulométrica da escória para se igualar ao da areia, no intuito de evitar a influência do tamanho dos grãos na trabalhabilidade e demais propriedades das argamassas. Os agregados miúdos atenderam as exigências da NBR 7211:2009, e suas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas dos agregados

Ensaio	Norma	Unid	Areia	Escória
DMC	NM 248:2003	mm	2,36	2,36
Módulo de finura	NM 248:2003	-	2,52	2,52
Massa unitária	NBR NM 45:2006	g/cm³	1,41	2,08
Absorção de água	NBR NM 52:2009	%	0,9	2,1
Massa específica	NBR NM 52:2009	g/cm³	2,59	3,86
Teor de material pulverulento	NBR NM 46:2003	%	1	1,3
Inchamento	NBR 6467:2006	-	1,44	NR

ISBN 978-65-86819-05-2

RAA	NBR 15577-4:2018	%	-	0

Foi verificada a forma dos grãos dos agregados por meio do Aggregate Image Measurement System (AIMS). Foi possível verificar que a areia natural tende a apresentar partículas mais arredondadas que a escória de aciaria BSSF, além de textura mais polido, ao passo que a escória de aciaria apresentou textura com baixa rugosidade, conforme a classificação de Al Rousan (2004).

Em relação à caracterização química da escória de aciaria, foi realizado a fluorescência de raios X (FRX) em um espectrômetro de raios-X Rigaku ZSX mini II. Os resultados estão na Tabela 2, os quais mostraram que a escória é constituída basicamente de Fe_2O_3 e CaO (>88%).

Tabela 2 – Composição química da escória de aciaria BSSF

Óxidos	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	Co_2O_3
Amostra (%)	0,63	5,84	1,01	0,04	33,46	0,63	0,21	5,09	52,98	0,12

Foi investigado ainda a expansibilidade da escória (NBR 11582, ABNT 2016), o qual foi adotado um teor de substituição de cimento por escória de aciaria BSSF de 50%, em volume. Para MEHTA, 1999 apud MASUERO, esse teor é suficiente para que o fenômeno ocorra, caso o material possua características expansivas. Destaca-se que a mesma não apresentou expansão a frio e em relação à expansão a quente, todos os resultados obtidos foram inferiores a 5 mm.

Os traços de referência de argamassa simples utilizados foram 1:3, 1:5, 1:7. Os traços são apresentados em massa combinado com volume. Por exemplo, o traço 1:3 é constituído de 1 saco de cimento (50 kg) e 3 padiolas de 40 litros de areia úmida. A substituição da areia natural por escória de aciaria BSSF ocorreu em volume, sendo os teores de substituição de areia por escória de 0, 20, 40 e 60%.

Fixou-se o índice de consistência em 260 mm ± 5 mm (NBR 13276, ABNT 2016), e consequentemente, determinou-se, a quantidade de água para cada traço. Após a preparação (NBR 16541, ABNT 2016), realizou-se a caracterização das argamassas no estado fresco, realizando os ensaios de massa específica (NBR 13278, ABNT 2005), retenção de água (NBR 13277, ABNT 2005) e squeeze-flow (NBR 15839, ABNT 2010).
Para investigar o comportamento reológico das argamassas, foi realizado o squeeze-flow, estabelecido pela NBR 15839:2010, o qual foi utilizada uma célula de carga de 2 kN, do tipo S. A Figura 1 apresenta a aparelhagem para a realização do ensaio do Squeeze-flow.



Figura 1: Aparelhagem do ensaio do squeeze-flow

O ensaio foi realizado no intervalo de tempo de 10 min e 15 min após a mistura, a uma velocidade de 3,0 mm/s e 0,1mm/s respectivamente, sendo o ensaio finalizado quando a amostra apresentar um deslocamento máximo de 9 mm ou carga máxima de 1 kN, o que ocorresse primeiro. A Figura 2 apresenta a amostra de argamassa, sem a presença da escória, antes e após o ensaio do squeeze-flow.

ISBN 978-65-86819-05-2

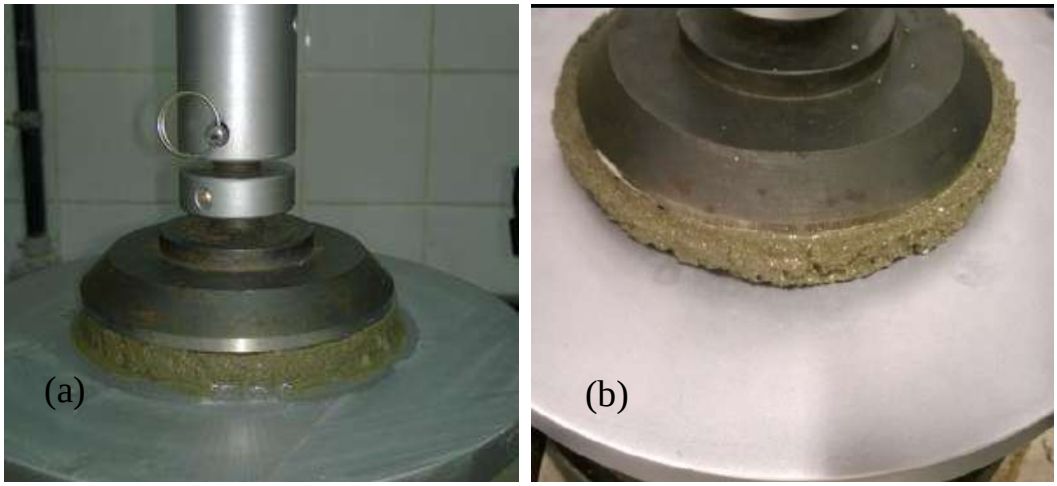

Figura 2 – Amonsta do ensaio do squeeze-flow: a)antes e b) após o ensaio

Por fim, a análise dos dados foi realizada uma análise estatística por meio da Análise de Variância (ANOVA). Para esta análise, foi utilizado o software Statistica® 7.0. Primeiramente, obtem-se os resíduos padronizados para os ensaios realizados, no intuito de eliminar os dados espúrios. Tais valores são considerados outliers quando os resíduos padronizados excedem um valor de referência de 95% para mais ou para menos (valor crítico para um nível de confiança de 0,05). Após a identificação e descarte dos dados discrepantes, é realizado uma nova rodada de análise até que todos os pontos fiquem compreendidos no intervalo como aceitável. Por fim, é identificado a Significância (S) ou não significancia (NS) dos parâmetros analisados.

3. RESULTADOS

O |Squeeze flow foi realizado 6 vezes para cada traço, sendo 3 ensaios para a velocidade de carregamento de 3 mm/s para o instante 10 min após a preparação das argamassas; e os demais para a taxa de carregamento de 0,1 mm/s no tempo de 15 min, conforme preconiza a ABNT NBR 15839:2010. Os resultados do ensaio do squeeze-flow para as velocidades de 3mm/s e 0,1 mm/s são apresentados nas Figuras 3 a 5.

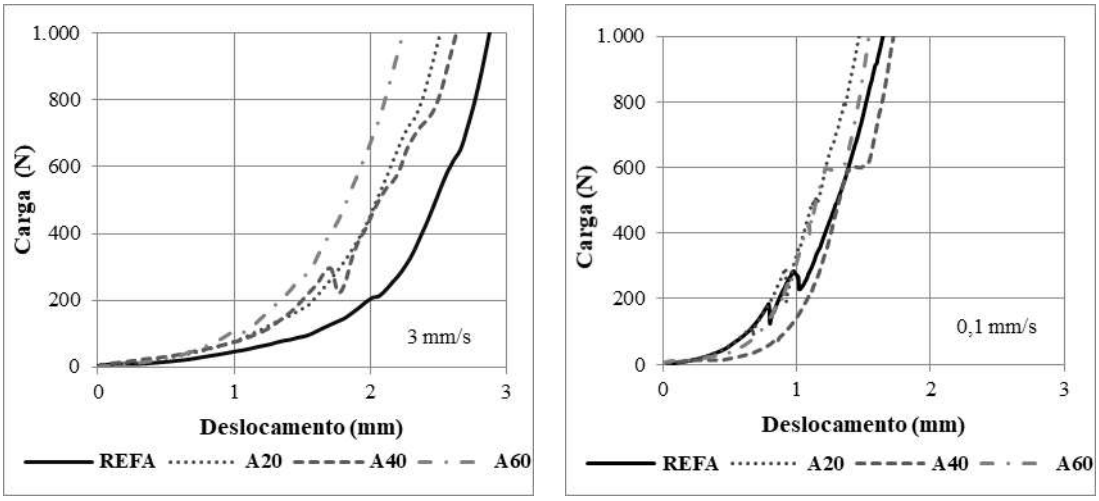

Figura 3: Comportamento reológico do traço 1:3 (grupo A) e seus respectivos teores de substituição

ISBN 978-65-86819-05-2

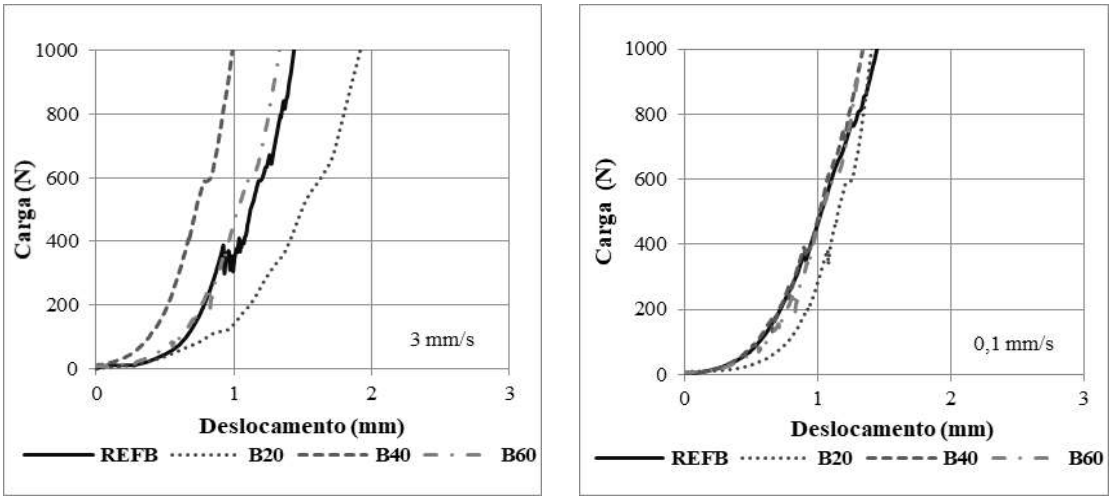

Figura 4: Comportamento reológico do traço 1:5 (grupo B) e seus respectivos teores de substituição

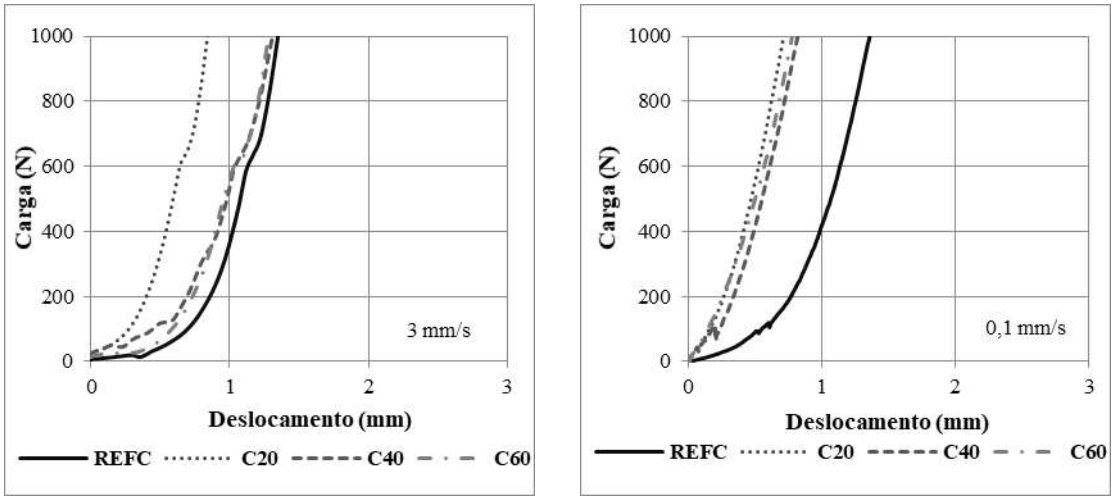

Figura 5: Comportamento reológico do traço 1:7 (grupo C) e seus respectivos teores de substituição

As curvas mostram uma mudança de um estágio elástico diretamente para o strain hardening, o qual a carga aumenta consideravelmente, com pequeno acrescimento de deformação.

O crescimento exponencial das cargas caracteriza o enrijecimento por deformação, causado por altos níveis de atrito entre os agregados. Devido aos baixos teores de ar na argamassa, os agregados ficam muito próximos dificultando o fluxo do material. Por outro lado, o aumentando do teor de ar nas argamassas ocasiona um aumento no teor de pasta, mantendo os agregados distantes e lubrificados. (CARDOSO et al, 2007). Com isto, as argamassas com elevado teor de ar apresentam comportamento predominantemente plástico, para os níveis de deformação impostos. As bolhas de ar aumentam o volume ocupado pela pasta e reduzem sua resistência, promovendo facilidade do fluxo, bem como do escorregamento dos grãos (CARDOSO;PILLEGI;JOHN,2005)

Os baixos deslocamentos encontrados no ensaio do squeeze flow podem estar relacionados com a etapa de mistura, tendo em conta que França; Cardoso; Pileggi (2013) investigaram diversos procedimentos de misturas incluindo o preconizado pela NBR 13276:2016 e sua influência no ensaio do Squeeze-flow. Os autores constataram que o procedimento de mistura da norma, o mesmo adota nesta pesquisa, atingiu menores valores de deslocamento, se comparados com os demais procedimentos, o que demonstra que esse procedimento não foi capaz de dispersar as partículas aglomeradas com eficiência, resultando em unidades móveis (aglomerados) maiores, o que dificulta o fluxo da argamassa (FRANÇA; CARDOSO; PILEGGI, 2013). Fato similar também constatado por Cardoso et al (2011) que analisando métodos de misturas, constatou ainda que o método da NBR 13276 apresentou baixa repetibilidade. Outro motivo seria ainda a dimensão máxima dos agregados (2,36 mm), em razão da qual Cardoso et al (2014) constataram que quanto menor o tamanho das partículas, maior o deslocamento máximo obtido no squeeze-flow.

ISBN 978-65-86819-05-2

Os resultados do squeeze-flow para a velocidade de 0,1 mm/s apresentaram maior resistência ao fluxo, ou seja, menor deslocamento, que na velocidade de 3 mm/s, mesmo fato constatado por Stolz & Masuero (2018). Neste sentido, Cardoso; John; Pileggi (2009) explicam que há menor suscetibilidade das argamassas em segregar quando submetidas à maiores velocidades de deslocamento, o que significa que elas fluem mais facilmente.

Ainda em relação ao squeeze-flow, seguindo a metodologia adotada Stolz & Masuero (2018), no intuito de se analisar os resultados obtidos neste ensaio, obteveram-se os deslocamentos máximos atigindos por cada argamassa na carga limite de 1 kN, para cada uma das 3 amostras de cada traço na velocidade de 3 mm/s. A Tabela 3 apresenta os valores de deslocamentos máximos obtidos no ensaio do squeeze-flow.

Tabela 3 - Deslocamentos máximos para 1 kN para deslocamento 3 mm/s obtidos pelo squeeze-flow

Traços			Deslocamentos máximos (mm)		
Simples	1:3	0%	2,36	2,64	2,86
		20%	2,07	2,31	2,52
		40%	2,9	2,71	2,62
		60%	2,56	2,11	2,21
	1:5	0%	1,51	1,65	1,42
		20%	1,64	1,45	1,91
		40%	1,73	0,75	0,98
		60%	1,35	1,21	1,33
	1:7	0%	1,31	1,36	1,49
		20%	1,19	0,84	1,84
		40%	1,61	1,32	1,49
		60%	1,04	1,29	1,1

Após o tratamento dos dados, foi realizado a ANOVA para a análise dos dados. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tratamento estatístico (ANOVA) para o deslocamento máximo (3mm/s) por meio do squeeze-flow das argamassas.

Análise de variância						
Efeito	SQ	GDL	MQ	F crítico	Valor p	Significância
Traço	10,95917	2	5,47959	170,696	0,000000	S
Teor de substituição	0,33383	3	0,11128	3,466	0,033562	S
Traço x teor de substituição	1,33214	6	0,22202	6,916	0,000314	S
Erro	0,70623	22	0,03210	-	-	-

SQ – Soma quadrada; GDL- Grau de liberdade; MQ- média quadrada; S – Significativo; NS- Não significativo.

As Figuras 6 e 7 apresentam o comportamento da influência do traço e do teor de substituição no deslocamento máximo obtido no Squeeze-flow. Em relação a influência do traço, destaca-se que os traços de cal apresentaram os maiores deslocamentos, devido ao aumento da plasticidade proporcionado pela cal, o qual influencia na capacidade de espalhamento das argamassas (TRISTAO,1995).

ISBN 978-65-86819-05-2

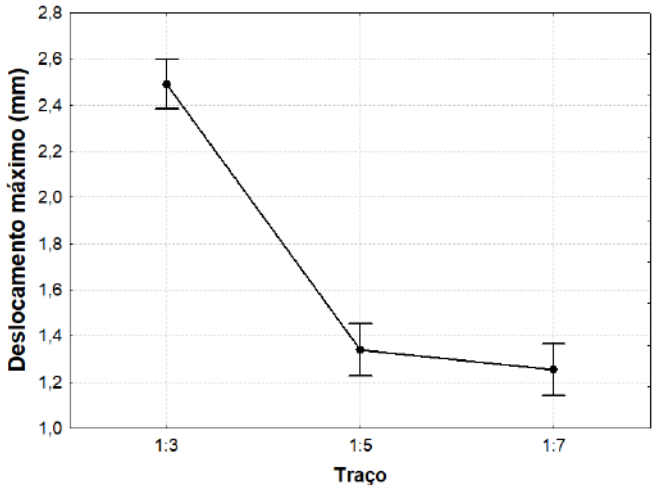

Figura 6: Influência do traço no deslocamento máximo do squeeze-flow

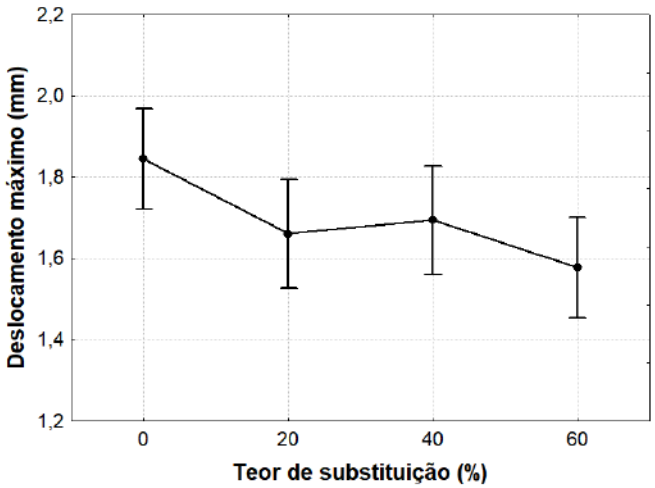

Figura7: Influência do teor de substituição no deslocamento máximo do squeeze-flow

A Figura 8 apresenta os deslocamentos máximos obtidos em cada traço investigado. Quanto as argamassas com escória de aciaria, de uma forma geral, apesar da maior relação a/c, apresentaram menores valores dos deslocamentos máximos. Isto pode ser justificado pela forma do grão da escória (menos cubíco que a areia) e textura, bem como pela absorção de água mais elevada da escória, deixando menos água disponível para a mistura, e consequentemente, uma menor quantidade de pasta disponível para lubrificar os grãos, elevando assim o atrito do sistema (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2010). Tal fato demonstra que a substituição da areia natural por escória afeta negativamente as propriedades reológicas das argamassas, o que irá influenciar nas propriedades do estado endurecido.

ISBN 978-65-86819-05-2

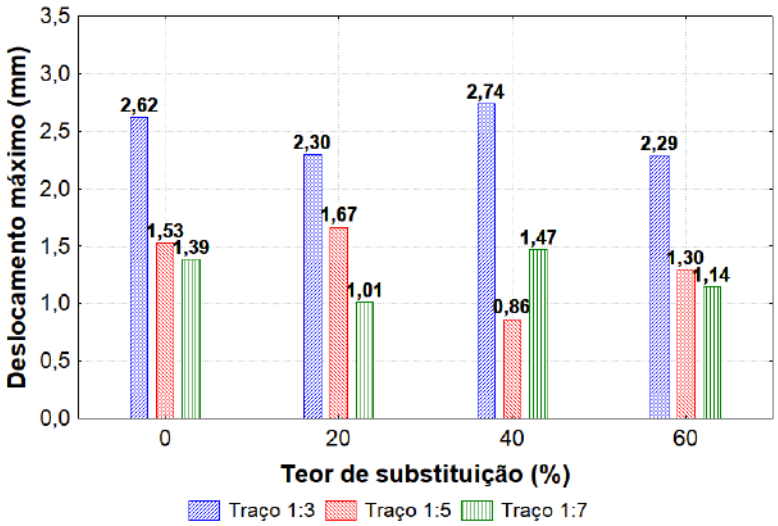

Figura 8: Deslocamentos máximos para os traços investigados

Como as argamassas com escória atingiram a carga máxima do ensaio (1 kN) apresentando baixos deslocamentos, isto pode influenciar na resistência potencial de aderência da argamassas, devido a sua baixa trabalhabilidade. Silva et al (2005) explica que as argamassas trabalham em função da sua capacidade de fluir e de se deformar, quando submetida a uma determinada tensão de cisalhamento, apresentando um contato mais extenso com o substrato, otimizando o mecanismo de aderência.

4. CONCLUSÃO

Em se tratando do Squeeze-flow, as argamassas ensaiadas apresentaram baixo desempenho nas propriedades reológicas, não apresentando o estágio de deslocamento plástico. Analisando os deslocamentos máximos dos traços, a análise de variância constatou que o teor de substituição e o traço tem influencia significate no deslocamento máximo pelo squeeze-flow. Destaca-se que os traços mais ricos, bem como os traços com areia natural (0% de substituição) apresentaram os maiores valores de deslocamento.
Por fim, destaca-se que para o uso de escória de aciaria em argamassas, deve-se investigar o comportamento destas argamassas com o uso de aditivos incorporadores de ar, no intuito de melhorar o comportamento reológico dessas argamassas, tornando-as aptas para aplicação.

REFERÊNCIAS

ABU-EISHAH S. I, EL-DIEB A. S, BEDIR M. S. **Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace (EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region**. Construction and Building Materials v.34. pag.249–256, setembro, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004**: Resíduos sólidos – Classificação

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**. Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

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. Rio de Janeiro, 2005.

ISBN 978-65-86819-05-2

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-4**: Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método Squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**. Agre gados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio, Rio d e J a ne iro, 2006 (Versão corrigida: 2009).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo. Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009

BRAND, A. S.; ROESLER, J.R. **Steel furnace slag aggregate expansion and hardened concrete properties**. Cement and Concrete Composites v. 60 pag. 1-9, julho. 2015.

CARDOSO, A. V. M.; DIAS, F. M. **A utilização de escória de aciaria para manufatura de blocos de pavimentação**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.

CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R. G.;JOHN, V.M. **Caracterização reológica de argamassas do mercado por squeeze-flow.** VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais... Pernambuco, Recife, 2007.

CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R. G.;JOHN, V.M. **Influência do tipo de mistura no comportamento reológico de argamassas avaliado por squeeze-flow. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais...** Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. **Cement and concrete research**, v. 39, n. 9, p. 748-753, setembro 2009.

CARDOSO, F. A.; P ILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. S q uee ze- flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, v. 1, p. 1- 29, 2010.
CARDOSO, F.. A; PILEGGI, R. G; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 23 a 25 de maio de 2005.

FRANÇA, M. S. de.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R.G. Influence of laboratory mixing procedure on the properties of mortars. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 111-124, abril-junho 2013.

LIU, J. GUO, D. ZHU, J. CHEN, X. **Status and development of the comprehensive utilization of steel slag at Baosteel**. Baosteel Technical Research. Volume 5, number 2, 2011, p. 15.

LIU, Y., WANG, X. **Application of the BSSF molten steel slag processing technology in POSCO**. Baosteel Technical Research; Shanghai. v. 5, ed. 2, p. 20-23, 2011.

ISBN 978-65-86819-05-2

MASUERO, A. B. **Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento**. Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

SILVA, R. P.; BARROS, MERCIA M. S. B.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. 2005. Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze flow**.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6, 2005, Fortaleza. **Anais**...Florianópolis, 2005, p.1-10.

SOUZA, T. V. P. **Caracterização de escória de conversor a oxigênio obtida no processo BSSF antes e após tratamento hidrometalúrgico**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

STOLZ; C. M.; MASUERO, A. B. Influence of grains distribution on the rheological behavior of mortars. **Construction and Building Materials.** v.177, pag. 261-271, julho, 2018.

TRISTÃO, F. A**. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995, 218p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

WANG, G. **Determination of the expansion force of coarse steel slag aggregate**. Construction and Building Materials v. 24 p. 1961-1966, outubro, 2010.

WANG, G.; WANG, Y.; GAO, Z. **Use of steel slag as a granular material: Volume expansion prediction and usability criteria**. Journal of Hazardous Materials. v.184 p. 555-560, dezembro, 2010.