

# INFLUÊNCIA DA POZOLANICIDADE DA ESCÓRIA DE ALTO-FORNO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS E CONCRETOS DURÁVEIS

## EQUIPE

Carmen Couto – Engenheira Civil. Doutora - École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris. Professora Associada. Depto. de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG. carmen.couto@demc.ufmg.br

Janaína Alves Almeida – Engenheira Civil. Mestre - DEMC/UFMG. Engenheira da Santa Bárbara Engenharia S.A. janaina.almeida@santabarbarasa.com.br

Joana Darc da Silva Pinto – Engenheira Civil. Doutora - DEMET/UFMG. Professora Adjunta. Departamento de Engenharia Civil da PUCMINAS – joanandarc@pucminas.br

Paula Bamberg – Engenheira Civil. Doutora – Faculdade de Educação da UFMG. Professora Adjunta. Depto de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG bamberg@ufmg.br.

Tadeu Starling – Arquiteto. Mestre – Escola de Arquitetura da UFMG. Escritório de Arquitetura – ccrstar@oi.com.br

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência da pozolanicidade da escória de alto-forno visando à durabilidade de argamassas e concretos, os quais foram produzidos com a substituição de parte do cimento por escória. Este material é obtido em quantidades significativas nas siderúrgicas, no processo de redução do minério de ferro. Foram avaliados argamassas e concretos com 100% de cimento como aglomerante e com substituição de 35% do cimento por escória. Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias com substituição de 35% do cimento por escória são comparáveis à resistência da argamassa e do concreto de referência (100% de cimento), atendendo aos requisitos de durabilidade. Os valores de absorção de água por imersão dos corpos de prova

com substituição de 35% também atendem a estes requisitos, apresentando uma absorção abaixo de 10%. Os critérios de durabilidade das argamassas e concretos produzidos com a escória de alto-forno básica granulada, constantes da metodologia proposta, confirmam que este resíduo siderúrgico, pode ser reinserido no processo produtivo da construção civil de forma sustentável.

**Palavras-chave:** Argamassa; concreto; escória de alto-forno; sustentabilidade.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of pozzolanicity of blast-furnace slag in the durability of mortars and concretes, which were produced by replacing part of cement by slag. This material is produced in significant quantities in steel industries in the iron ore reduction process. Mortars and concretes were evaluated with 100% of cement as agglomerate and with replacement of 35% of cement by slag. The results of compressive strength at 28 days with replacement of 35% of cement by slag are comparable to the resistance of the reference mortar and concrete (100% of cement), according to the requirements of durability. The values of water absorption by soaking the specimens with replacement of 35% also meet these requirements, showing absorption considerable below 10%. The criteria for durability of mortars and concretes produced with the basic granulated blast-furnace slag, constants of the proposed methodology, confirm that this residue can be reinserted in the productive process of civil construction in a sustainable way.

**Key words:** Mortar; concrete; blast furnace slag; sustainability.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho avalia a influência da pozolanicidade da escória de alto-forno em argamassas e concretos com substituição de parte do cimento por escória, resíduo siderúrgico produzido em larga escala no Estado de Minas Gerais.

A escória de alto-forno é obtida nas siderúrgicas no processo de redução de minério de ferro e sua composição química é determinada pelos elementos que contribuem na sua formação, podendo ser classificada em básica ou ácida em função do tipo de carvão utilizado, mineral ou vegetal.

Ao sair do alto-forno a escória é submetida a um resfriamento, que quando é feito com grande quantidade de água é

denominado brusco, o qual confere a escória características pozolânicas, obtidas através da granulação ou da pulverização. As pozolanas por si só não apresentam qualidades cimentantes, mas em presença de umidade reagem com o hidróxido de cálcio, originário do cimento, formando produtos com propriedades específicas comparáveis ao cimento Portland comum (Couto et al, 2006).

A metodologia proposta para avaliação do grau de pozolanidade da escória como material substitutivo, permite analisar critérios de durabilidade fundamentais para a reinserção de resíduos no processo produtivo, visando garantir a sustentabilidade.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escória de alto-forno vem sendo objeto de inúmeras pesquisas que têm avaliado a influência das características de diferentes tipos deste resíduo quanto ao seu desempenho como material substitutivo ao agregado tradicional e como aglomerante em argamassas e concretos dando subsídios para ampliar, a exemplo do que ocorre em outros países, a utilização deste resíduo siderúrgico disponível em quantidade significativa no Estado de Minas Gerais (Couto, et al, 1992).

A estocagem das escórias representa um grave problema para as siderúrgicas, uma vez que trata-se de um resíduo produzido em grande quantidade. No processo de redução de minério de ferro, o carregamento do forno é feito introduzindo-se o minério, combustível e os fundentes, os quais, à medida que as reações se processam, vão descendo até atingir a parte inferior do forno, onde chegam sob forma de gusa e escória líquidos. Uma vez iniciada a corrida, a separação dos dois materiais se dá pela diferença de suas densidades (Starling, et al, 1990).

A composição química da escória é determinada pelos elementos que contribuem na sua formação: a ganga (material inerte do minério), os fundentes (substâncias ou materiais que auxiliam a fusão dos metais) e as cinzas do combustível utilizado (carvão vegetal ou coque). Os principais componentes da escória de alto-forno são: sílica -  $\text{SiO}_2$ , alumina -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ambos provenientes da ganga) e cal -  $\text{CaO}$  (proveniente do calcário utilizado como fundente) (Starling, et al, 1990).

Uma das propriedades mais importantes da escória, sob o ponto de vista siderúrgico, é a sua fluidez, a qual depende da relação entre os teores de cal e sílica, denominada índice de basicidade simplificado. A proporção de cal tem importância especial para a remoção do enxofre, originária do carvão mineral. Em alto-fornos a carvão vegetal, esta circunstância tem importância

secundária, já que este tipo de combustível não contém quase nenhum enxofre. As escórias obtidas em fornos a carvão vegetal apresentam então a sílica como componente predominante e são classificadas como ácidas, enquanto as escórias obtidas em fornos a carvão mineral são básicas.

O resfriamento quando realizado com grandes quantidades de água produz a escória granulada, a qual é parcialmente utilizada pela indústria cimenteira, podendo ser empregada também como agregado miúdo ou como parte do aglomerante. O resfriamento brusco, ao provocar a vitrificação do material, aumenta sua pozolanidade, o que justifica abordar mais especificamente esta característica. As pozolanas mais utilizadas atualmente têm sido a microssílica, o carvão ativado e a escória de alto-forno básica, objeto deste trabalho (Almeida, 2008).

## METODOLOGIA

A metodologia proposta para avaliar o potencial pozolânico da escória de alto-forno granulada básica em argamassas e concretos foi realizada através das seguintes etapas:

- Análise da composição química e determinação do índice de basicidade;
- Caracterização tecnológica dos aglomerantes;
- Avaliação da reatividade potencial (ABNT, 1987a);
- Análise das resistências à compressão de argamassas e concretos com substituição de 35% de cimento por escória de alto-forno (ABNT, 1992);
- Avaliação de ensaios de absorção de água, requisito fundamental para garantir a durabilidade das argamassas e concretos (ABNT, 1987b);
- Análise dos resultados.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A composição química do cimento Portland, CPIIE-32 e da escória básica granulada abordada neste trabalho são apresentadas no quadro 1.

Pelo quadro 1 pode-se constatar que o cimento Portland e a escória de alto-forno apresentam os mesmos compostos químicos em diferentes porcentagens. Do ponto de vista siderúrgico a escória em estudo é classificada como básica, uma vez que o teor de cal desta escória é superior ao teor de sílica (SILVA PINTO, et al, 2009).

**Quadro 1 - Análise química dos aglomerantes**

Componentes	Teores Cimento (%)	Teores - Escória Alto-forno (%)	Limites para escória (%) NF P18-302-BS-1047
CaO – (Cal)	42	41,70	38 a 48
SiO <sub>2</sub> – (Silica)	13	33,47	29 a 38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina)	3,5	14,12	13 a 24
MgO	3,3	5,90	6
FeO	2,1	1,07	4
MnO	–	0,59	2
S (Enxofre total)	0,2	0,82	2
Índice de Basicidade – V*	3,1 – 2,7	1,25	Básica ou ácida
Classificação Siderúrgica	–	Básica	–

$$* \text{Índice de Basicidade } V = \frac{\%CaO}{\%SiO_2}$$

A reatividade potencial foi avaliada por método químico, de acordo com a NBR 9773. A partir da curva padrão verificou-se que a escória em estudo não é potencialmente reativa (Couto et al, 1992; Neville, 1997).

**Quadro 2 - Reatividade Potencial da escória**

Características	Normas	Escória Alto-forno	Limites normalizados
Reatividade potencial-Ensaio químico	NBR 9773	Inócuo	Curva padrão

As massas unitárias do cimento Portland e da escória de alto-forno são similares e no que se refere ao índice de finura, a superfície específica de 180 m<sup>2</sup>/kg da escória foi obtida através de um método de moagem simplificado, a fim de facilitar a sua utilização (quadro 3).

**Quadro 3 - Caracterização tecnológica dos aglomerantes**

Ensaio/ Materiais	Cimento CII E 32	Escória Alto-forno
Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1	1,17
Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	3,0	2,60
Finura - Método de Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	305,0	180,0
Finura - Peneira 75µm nº 200 (%)	2,5	29,2

O efeito pozolânico da escória em estudo pode ser comprovado a partir das resistências de corpos de prova de argamassas, confeccionadas com fator água-cimento de 0,50, consistências de 210 a 220 mm e com substituição de cimento por escória básica granulada de 35% (quadro 4).

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias obtidos de 41 MPa para a argamassa de referência e de 28 MPa

para argamassas com substituição de substituição de 35%, demonstram que esta pozolanidade permite substituir parte do cimento por escória, uma vez que os valores obtidos são compatíveis com resistências à compressão de argamassas empregadas na construção civil (quadro 4).

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias do concreto com substituição de 35% de cimento por escória permitiu atingir o valor de 22 MPa sendo que o concreto de referência apresentou 30 MPa (quadro 5).

**Quadro 4 - Resistência à compressão de argamassas aos 28 dias**

Argamassa	Substituição de escória (%)	z	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)
Referência	0	0,50	220	41
Escória	35	0,50	210	28

**Quadro 5 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias**

Concreto	% de substituição do cimento por escória de alto-forno	Aditivo Plastificante Polifuncional	Fator a/c	Resistência à compressão (MPa)	
				7 dias	28 dias
Referência	0	1%	0,50	20,0	30,0
Escória	35,0	1%	0,50	18,0	22,0

A absorção de água em argamassas foi de 8,8% para argamassa com substituição e 7,8% para as argamassas de referência (quadro 6).

**Quadro 6 - Ensaio de absorção de água, índices de vazios e massa específica em argamassas**

Argamassa	Substituição de escória (%)	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
Referência	0	7,8	16,2	2.489
Escória	35	8,8	18,0	2.488

O ensaio de absorção de água por imersão dos concretos tanto com substituição como o de referência ficaram abaixo de 5% (quadro 7).

**Quadro 7 - Ensaio de absorção por imersão do concreto**

Concreto	Substituição de escória (%)	Absorção de água por imersão (%)
Referência	0	4,2
Escória	35	2,5

## CONCLUSÃO

A análise dos resultados permite confirmar que as escórias de alto-forno finamente divididas e em presença de umidade, ao reagirem com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento Portland, formam compostos com propriedades aglomerantes, justificando plenamente ampliar sua utilização como material substitutivo de parte do cimento em argamassas e concretos.

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias com substituição de 35% por escória são comparáveis as resistências da argamassa de referência e do concreto de referência correntemente empregados na construção civil.

Os valores de absorção de água por imersão dos corpos de prova, tanto na argamassa de referência como na argamassa com substituição, são compatíveis com valores de absorção indicados como parâmetros de durabilidade.

A absorção do concreto com escória e do concreto de referência abaixo de 5% demonstra que os concretos produzidos atendem ao requisito básico de qualidade, apresentar uma baixa absorção, uma vez que este valor está bem abaixo dos 10% preconizado para garantir a durabilidade.

Os critérios de durabilidade das argamassas e concretos produzidos com a escória de alto-forno básica granulada, constantes da metodologia proposta confirmam que este resíduo siderúrgico, pode se reinserido no processo produtivo da construção civil de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Janaína – **Influência da adição de resíduo siderúrgico na performance do concreto**. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte, dezembro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland: índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9773: Agregado - Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b.

COUTO, Carmen; SILVA PINTO, Joana Darc da; STARLING, Tadeu. Disposição de rejeito industrial siderúrgico através de reciclagem. **Revista BIO da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Ano IV, nº 1, p.40-48jan/Mar.1992.

COUTO, Carmen; SILVA PINTO, Joana Darc; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. 2. ed. revisada. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

SILVA PINTO, J. D.; COUTO, C.; MARTINI, R. J.; COSTA, F. R;. **Utilização de escória de alto-forno como material substitutivo ao aglomerante na produção de argamassas**. In: Seminário de Iniciação Científica da PUCMINAS, 16, Belo Horizonte. 2009.

NEVILLE, Adam. **Propriedades do Concreto**, 2ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 828p., 1997.

STARLING, Tadeu; COUTO, Carmen. **Estudo do aproveitamento de escória de alto-forno como agregado miúdo na produção de argamassas e concreto**. 10o ENCO - Encontro Nacional da Construção, Gramado, p. 811-833, Vol 2, 1990.