

## **SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADO POR ESCÓRIA DE FORNO PANELA EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**

R. S. Gama, E. Fagury Neto, A. A. Rabelo  
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais  
Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, 68505-080 Marabá-PA  
ronaldo.gama@maraba.ufpa.br

### **RESUMO**

*A reciclagem de escória de aciaria ocorre principalmente na produção de cimento, como substituto parcial de clínquer Portland ou como base para pavimentos e como agregados. Entre os diversos óxidos constituintes, CaO e MgO podem provocar expansividade, limitando seu uso. Pode proporcionar resistência à compressão e durabilidade à abrasão como substituta parcial da areia para agregado, embora tenda a se desintegrar com esforços a compressão. Neste trabalho verificou-se diferentes teores de substituição de agregado por escória de aciaria proveniente do refino secundário em forno panela, a qual possui menor teor de CaO em relação às do forno elétrico a arco. Caracterizou-se a granulometria da escória, resistência à compressão diametral dos corpos de prova de concreto de 3, 7 e 28 dias e absorção de água, porosidade e densidade aparente. Os benefícios do uso da escória como substituta parcial estão relacionados a diminuição do passivo ambiental e ganhos nas propriedades mecânicas de resistência a compressão e abrasão.*

Palavras-chave: concreto, reaproveitamento, escória de aciaria, agregado.

### **INTRODUÇÃO**

Os resíduos sólidos industriais e urbanos merecem cada vez mais atenção de especialistas e do poder público dos países que se dedicam ao trabalho de melhoria da qualidade ambiental. Todos os países, não importando sua localização ou seu status internacional, produzem milhões de toneladas por dia de resíduos, o que justifica a obrigatoriedade da criação de mecanismos que produzam a conscientização, o desenvolvimento e a implantação de tecnologias para reverter este quadro. A aplicação de tecnologias apropriadas e ecologicamente corretas, provocando assim uma redução da utilização de recursos naturais, de desperdício, da geração de resíduos e poluição, é uma ação de prioridade mundial. A produção eficaz e a poluição zero é o desafio inerente às estratégias de produção mais limpa, evitando a geração de resíduos e emissões com enfoque preventivo.

Neste trabalho foi realizada uma avaliação da incorporação de rejeito sólido siderúrgico em concreto com o intuito de diminuir os impactos ambientais no município de Marabá, onde existe um polo siderúrgico composto por dez empresas, dentre as 24 existentes no estado do Pará, sendo muitas não integradas, ou seja, sem planta de sinterização. A produção de ferro-gusa e aço não apenas consome grandes quantidades de energia e água, como geram inúmeros poluentes. Os dados indicam que as empresas têm investido principalmente em soluções tecnológicas, como recirculação de água e cogeração de energia para aumentar sua eficiência e reduzir seus impactos.

A escória de forno panela é um produto líquido ou pastoso, produzido durante operações pirometalúrgicas, que se torna sólido a temperatura ambiente. É geralmente formada por uma solução de misturas de óxidos e silicatos, às vezes com fosfatos e boratos, em uma reação endotérmica <sup>(1)</sup>.

Este trabalho tem como principal objetivo a avaliação da potencialidade de utilização de escória de forno panela, aqui denominada como EFP, na fabricação de concreto. Foi avaliado o efeito do uso de EFP nestes corpos cilíndricos caracterizando suas propriedades tecnológicas: distribuição granulométrica, resistência à compressão, absorção de água, densidade e porosidade aparente.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O resíduo particulado escória de forno panela, com coloração acinzentado, foi proveniente dos fornos panela da siderúrgica SINOBRAS - Siderúrgica Norte Brasil S.A. localizada no polo industrial do município de Marabá-PA. Os materiais cimento, areia, brita, aditivo e água foram fornecidos pela empresa CMT, além da estrutura para execução dos ensaios. Após a definição do traço de referência, optou-se pela substituição parcial da areia pela escória de forno panela da aciaria nas proporções de 30, 40, 50% em massa. A distribuição granulométrica da EFP foi determinada por ensaio de peneiramento e sua análise química foi obtida através de espectroscopia por fluorescência de raios X.

A Tab. 1 apresenta as quantidades dos materiais utilizados nos traços e para moldagem de 6 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura para cada formulação, incluindo o traço de referência.

Tabela 1: Formulação com os traços incorporando o resíduo escória (forno panela).

| Designação | Teor de escória (%) | Cimento (kg) | Escória (kg) | Areia (kg) | Brita 0 (kg) | Água (L) | Aditivo (L) |
|------------|---------------------|--------------|--------------|------------|--------------|----------|-------------|
| CP I       | 0                   | 6,60         | 0            | 17,20      | 21,102       | 3,10     | 0,53        |
| CP II      | 30                  | 6,60         | 5,16         | 12,04      | 21,102       | 3,10     | 0,53        |
| CP III     | 40                  | 6,60         | 6,88         | 10,32      | 21,102       | 3,10     | 0,53        |
| CP IV      | 50                  | 6,60         | 8,60         | 8,60       | 21,10        | 3,10     | 0,53        |

Os corpos de prova de concreto foram moldados em moldes metálicos, distribuindo-se o concreto no molde em três camadas. Cada camada recebeu 12 golpes distribuídos uniformemente ao longo de toda superfície. Decorrido 24 h, as amostras foram desenformadas e posteriormente submersas em tanques com água até o dia de seu rompimento. A cura faz parte da última operação de execução do concreto. O seu objetivo é criar condições que permitam ao concreto, recém lançado nas formas, adquirir as propriedades necessárias. A deficiência de cura acarreta consequências negativas, sobretudo para a superfície do concreto. Na verdade, o que afeta é a durabilidade e não a segurança da estrutura <sup>(2)</sup>. Apesar da diferença na quantidade de materiais, a proporção entre eles foi considerada constante.

Os procedimentos de mistura, moldagem, adensamento e cura adotado para o corpo-de-prova de referência foram idênticos para os demais blocos contendo escória (forno panela). As quantidades dos materiais diferiram apenas nas quantidades de areia e escória (agregado).

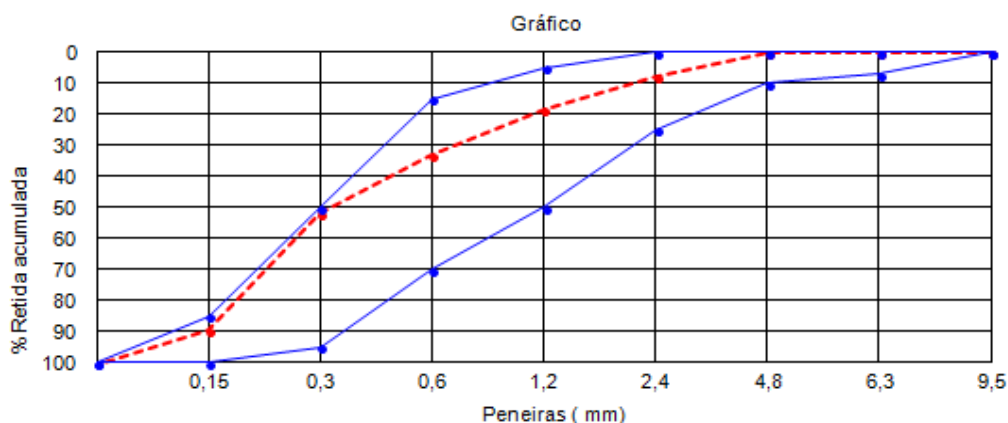
Todas as formulações utilizaram cimento Portland CP IV–Z 32 RS, que permite produzir um concreto com cura rápida e com resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum em longo prazo. É especialmente indicado para obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. Outro material utilizado foi o aditivo Daracem<sup>®</sup> 100, indicado para concretos com baixas relações água/cimento ou com especificação de alta consistência. Os procedimentos de ensaios de caracterização se deram em consonância com as normas da ABNT - NBR 5738-2003 e 5739-2003 <sup>(3,4)</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição granulométrica da escória de forno panela é apresentada na Tab. 2. Verifica-se um módulo de finura de 2,01 mm, o que caracteriza que a escória se enquadra como agregado miúdo de acordo com a norma NBR 7211-2009 <sup>(5)</sup>.

Tabela 2 – Análise granulométrica da EFP.

| Determinação                          |       | 1ª    | 2ª    | Média | % Retida            | % Retida acumulada |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|--------------------|
| massa inicial da amostra              |       | 500,9 | 501,2 | 501,1 |                     |                    |
| PENEIRAS (mm)                         | 9,5   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0                 | 0,0                |
|                                       | 6,3   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0                 | 0,0                |
|                                       | 4,8   | 1,0   | 0,8   | 0,9   | 0,2                 | 0,2                |
|                                       | 2,4   | 35,0  | 42,0  | 38,5  | 7,7                 | 7,9                |
|                                       | 1,2   | 56,0  | 50,0  | 53,0  | 10,6                | 18,4               |
|                                       | 0,6   | 70,0  | 75,0  | 72,5  | 14,5                | 32,9               |
|                                       | 0,3   | 97,0  | 90,0  | 93,5  | 18,7                | 51,6               |
|                                       | 0,15  | 195,0 | 187,0 | 191,0 | 38,1                | 89,7               |
|                                       | Prato | 47,9  | 58,4  | 53,2  | 10,6                | 100,3              |
| Dimensão máxima característica ( mm ) |       |       |       | 4,80  | zona:<br>UTILIZAVEL |                    |
| Módulo de finura                      |       |       |       | 2,01  |                     |                    |



A análise química da escória forno panela obtida por fluorescência de raios X é apresentada na Tab. 3, sendo o resultado expresso na forma de óxidos. Verifica-se que o percentual de óxido de cálcio proveniente do calcário é dominante com cerca de 56%, o qual é utilizado durante o processo de refinamento do ferro gusa, já o teor de sílica é de cerca de 31%, e o restante é constituído de óxidos metálicos que são gerados durante o processo de produção do aço.

Tabela 3 – Análise química da escória de forno panela.

|                                |        |                                |       |
|--------------------------------|--------|--------------------------------|-------|
| CaO                            | 55,610 | F                              | 0,001 |
| SiO <sub>2</sub>               | 31,132 | K <sub>2</sub> O               | 0,015 |
| MgO                            | 6,207  | MnO                            | 0,014 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,067  | Na <sub>2</sub> O              | 0,001 |
| FeO                            | 0,001  | S                              | 0,880 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,001  | TiO <sub>2</sub>               | 0,001 |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,172  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,272 |

O traço de referência está de acordo com estabelecido pela tabela ABRAMS, onde demonstra que a relação água/cimento de 0,47 proporcionará um concreto com 20 MPa ou mais a exatos 28 dias de cura. A Fig. 1 demonstrar que para todas as idades houve uma baixa absorção de água, permitindo demonstrar que mesmo com 50% de substituição o traço foi de feito de forma coerente e que a relação A/C não foi extrapolada, pois se sabe que a escória é expansiva quando hidratada, podendo contribui para um resultado abaixo do esperado e também este ensaio foi deito em conformidade com a norma NBR NM 30-2001 <sup>(6)</sup>.

Na Fig. 2 é possível verificar que todos os corpos de prova com ou sem substituição apresentaram porosidade baixa, mantendo as características do concreto e sua boa resistência mecânica, com boa coesão entre o cimento, e os agregados, coerentemente com o resultado de absorção de água. De acordo com a Fig. 3, verifica-se que o teor de 0% de substituição apresentou a densidade maior, provando que teve baixa absorção de água e pouca porosidade de açado com as figuras anteriores.

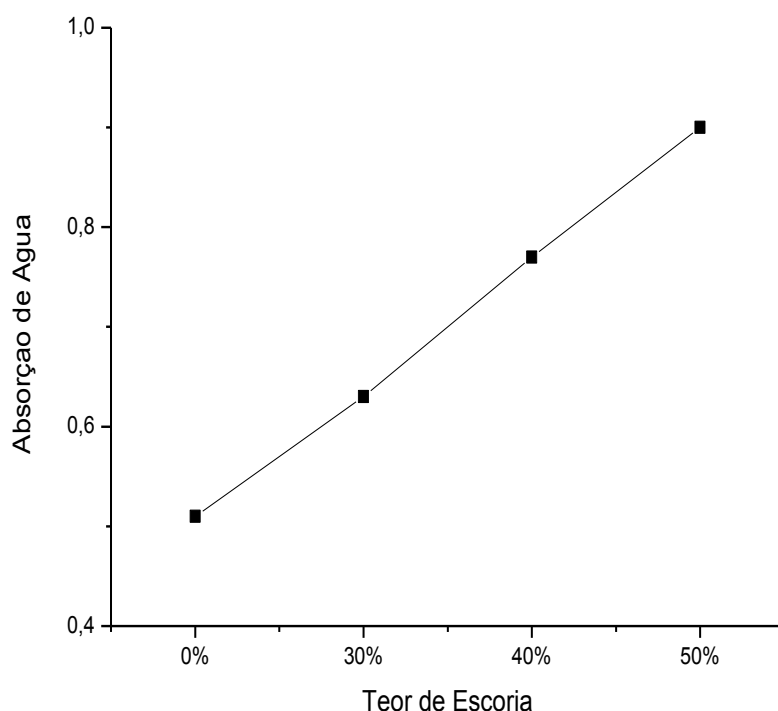


Figura 1: Absorção de água em função do teor de escória no concreto.

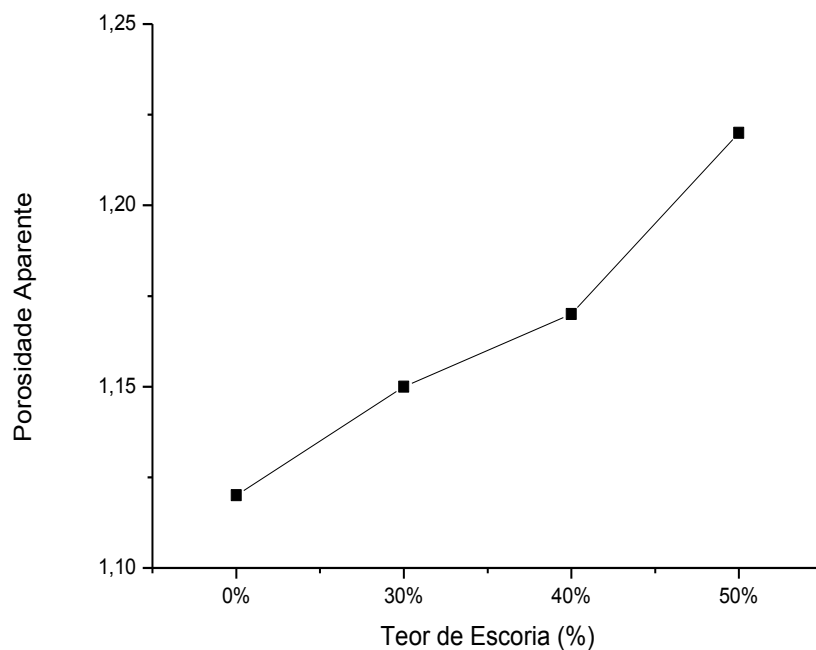


Figura 2: Porosidade aparente em função do teor de escória no concreto.

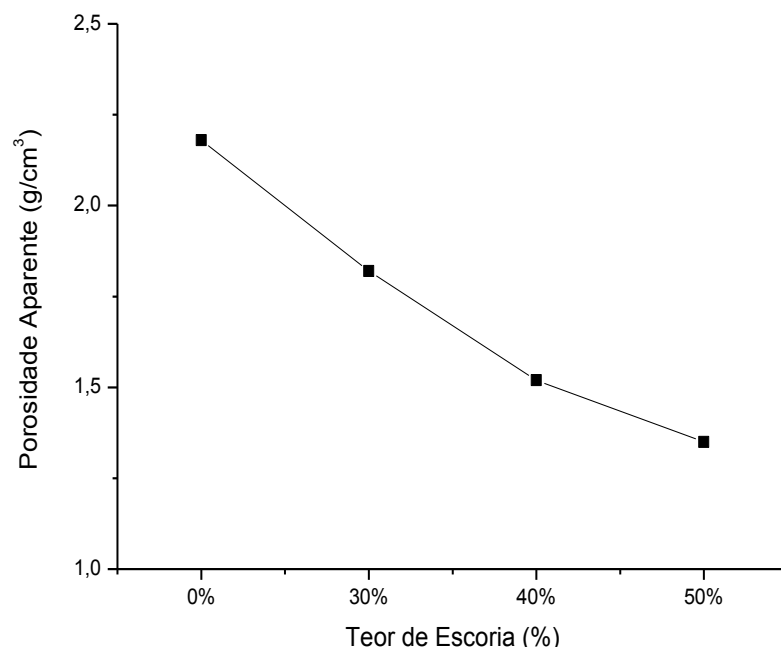


Figura 3: Densidade aparente em função do teor de escória no concreto.

Os resultados de resistência à compressão para as idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias são apresentados nas Fig. 4 a 6. A resistência mecânica a compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido. É de conhecimento que

o concreto é excelente quando submetido a esforços de compressão e deixa a desejar sob esforços de tração <sup>(7)</sup>.

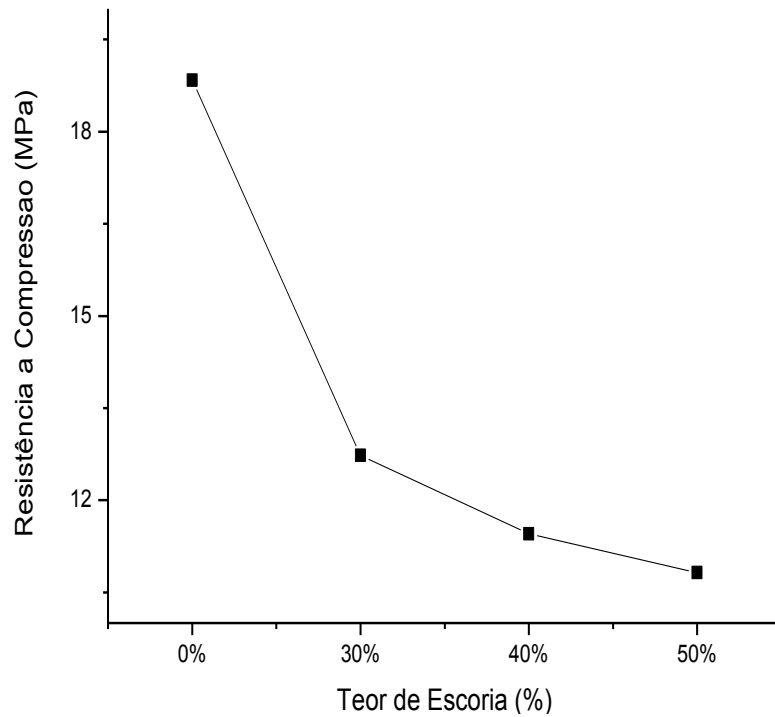


Figura 4: Resistência à compressão com idade de 3 dias.

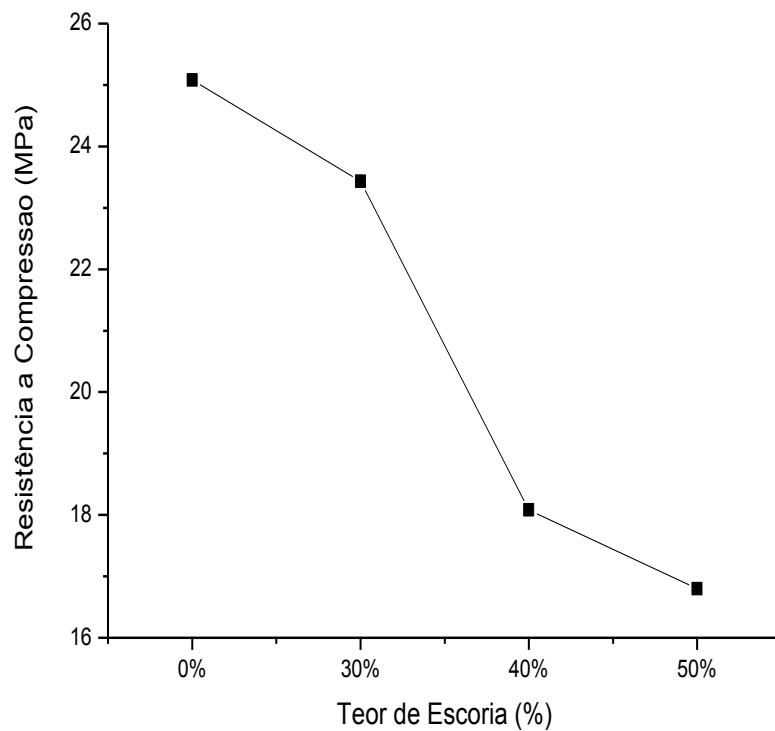


Figura 5: Resistência à compressão com idade de 7 dias.

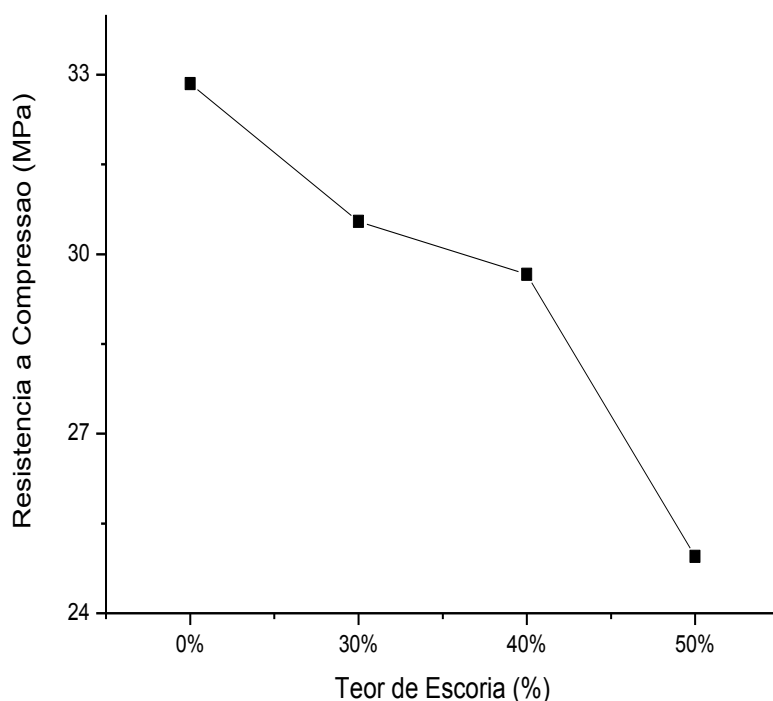


Figura 6: Resistência à compressão com idade de 28 dias.

À medida que aumentamos o teor de escória de forno panela na mistura a resistência mecânica tende a se reduzir, uma vez que temos substituição parcial da areia pela escória. Para todas as idades houve uma queda de resistência em comparação ao traço original, onde de acordo com a Fig. 4, somente o traço com 0% de substituição chegou próximo a resistência estabelecida de 20 MPa na idade de 3 dias. Para a idade de 7 dias, com 30% de substituição, chegou-se na resistência superior a 20 MPa, conforme pode ser observado na Fig. 5. O decréscimo gradual da resistência à compressão à medida que o teor de substituição aumenta, conforme pode-se verificar na Fig. 6. Embora haja uma redução da resistência a compressão com teores maiores de EFP, assim como nas outras idades, entretanto, todos os corpos de provas chegaram a resistência mínima exigida pelo traço com 28 dias, sendo que o corpo de prova com 50% de substituição atingiu aproximadamente 25 MPa.

Essa queda na resistência deve-se ao fato de que uma das principais características da escória é o seu comportamento expansivo, causado pela hidratação de MgO reativo e de CaO livre, juntamente com partículas de aço ou ferro metálico que são incorporados à escória no processo de produção.

A escória de aciaria apresenta uma estrutura porosa por onde migra a água, reagindo com a cal livre originando o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), cuja estrutura cristalina tem maior volume. Esse aumento de volume deforma a estrutura cristalina já definida da escória de aciaria, gerando tensões de tração que, posteriormente, irão gerar microfissuras e expansão. Embora a adição de EFP tenha reduzido o desempenho do concreto em todas as propriedades investigadas, é sabido que o sazonalamento pode evitar o fenômeno de hidratação e com isso evitar a queda nas propriedades tecnológicas de concretos com adição de escórias ricas em CaO <sup>(8)</sup>.

## CONCLUSÕES

Os métodos e experimentos descritos neste trabalho permitem concluir que é possível realizar a fabricação de concreto utilizando a escória de forno panela provenientes da aciaria da indústria siderúrgica como agregado em substituição parcial da areia.

Dessa forma, com o devido ajuste da composição química da mistura, formando o traço necessário para todas as formulações avaliadas, sendo as mesmas com teores de 0% (traço padrão), 30, 40 e 50% de substituição parcial da areia por escória de forno panela EFP, obteve-se a resistência a compressão de acordo com o traço estabelecido.

Assim, é evidente o fato de que a fabricação de concreto com adição de EFP é viável, já que o concreto atingiu em todas as substituições a resistência superior a 20 MPa com 28 dias. Isto permite reduzir os custos de produção, além de propiciar o reaproveitamento da escória, contribuindo com o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

1. MASUERO, A.B. Et. al. **Emprego de escórias de aciaria elétrica como adição a concretos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
2. BAUER, L.A. Falcão. **A CURA DO CONCRETO: Métodos e Materiais**. Boletim nº 32, São Paulo, 1991.
3. ABNT-NBR 5738:2003-Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova.
4. ABNT-NBR 5739:2003-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.
5. ABNT-NBR 7211:2009 - Agregados para Concreto: Especificação.
6. ABNT- NM 30: 2001 - Agregado Miúdo – Determinação da Absorção de Água.

7. PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 14ª Ed., São Paulo. Ed. Globo, 2005, p. 307.
8. GAIDZINSKI, R. **Estudo do sazonalamento de argilas para a utilização na indústria cerâmica**, Rio de Janeiro, 2006.

## PARTIAL REPLACEMENT OF AGGREGATE BY SLAG FROM LADLE FURNACE IN CONVENTIONAL CONCRETE

### ABSTRACT

The recycling of steel slag occurs mainly in the production of cement, as a partial replacement of Portland cement clinker, or as a base for floors and as aggregates. Among the several constituent oxides, CaO and MgO can cause expansiveness, limiting its use. It can provide compression strength and durability to abrasion as partial replacement for sand aggregate, although it tends to disintegrate with the compression efforts. In this study it was verified different levels of aggregate replacement by steel slag from the secondary refining in ladle furnace, which has a lower content of CaO in relation to the electric arc furnace. Characterized the particle size of the slag, the diametrical compression strength concrete specimens with 3, 7 and 28 days and water absorption, porosity and apparent density. The benefits of using slag as a partial replacement are related to environmental liabilities and decrease in gains on the mechanical properties of compressive strength and abrasion.

Keywords: concrete, recycling, steel slag, aggregate.