

Estudo da utilização de escória de alto forno na fabricação de tubos de concreto.

Study of the use of blast furnace slag in the manufacture of concrete tubes.

Rennan Rocha Arrighi (1)

*(1) Engenheiro Civil, Professor e Mestrando em Gestão de Sistemas de Engenharia pela Universidade Católica de Petrópolis - UCP
Avenida Barão de Amazonas, 124 – Centro, Petrópolis, RJ, 25685-100, Brasil.*

Resumo

As escórias de alto forno representam cerca de 75% do total de resíduos de uma usina siderúrgica. Pensando nisso, este trabalho visa propor uma aplicação para este resíduo na construção civil, realizando um estudo de viabilidade do seu uso para fabricação de tubos de concreto, também conhecidos como manilhas. O traço usual desse produto é formado por areia, brita, cimento e água, e este estudo propõe um traço com utilização reduzida de concreto e sem o uso de areia. Com isso, quando comparado ao convencional, o custo de fabricação apresentou uma redução de 30% em cada metro cúbico. Além disso, os testes de compressão executados nos corpos de provas apontaram resultados satisfatórios, atendendo as normas vigentes, e comprovando a efetivação da escória granulada de alto forno para a fabricação de tubos de concreto.

Palavra-Chave: Escória de alto forno. Concreto. Tubos de concreto. Traço de concreto.

Abstract

Blast furnace slag accounts for about 75% of the total waste from a steel mill. With this in mind, this work aims to propose an application for this residue in civil construction, through a feasibility study of its use for the manufacture of concrete pipes, also known as shackles. The usual feature of this product is sand, gravel, cement and water, and this study proposes a feature with reduced concrete use and without the use of sand. With this, when compared to the conventional one, the cost of manufacture presented a reduction of 30% in each cubic meter. In addition, the compression tests carried out on the test specimens indicated satisfactory results, in compliance with current standards, and proved the effectiveness of blast furnace slag for the manufacture of concrete tubes.

Keywords: Blast furnace slag. Concrete. Concrete pipes. Concrete trace.

1. Introdução

A geração de resíduos é a principal fonte de degradação ambiental do planeta. As indústrias geram resíduos em praticamente todos os processos industriais. Pensando nisso, cada vez mais estão sendo feitos investimentos científicos, visando o desenvolvimento de aplicações adequadas aos resíduos, para desta forma minimizar o impacto por eles provocado.

A ciência do concreto está em um crescente desenvolvimento nesta área e cada vez mais são realizadas adições minerais em concretos, conferindo aos mesmos, propriedades específicas, visando satisfazer diferentes necessidades socioeconômicas e obter ainda uma vantagem ecológica, por dar destino útil a rejeitos.

Segundo Krüger (1995) nas Indústrias siderúrgicas, as escórias de alto forno e aciaria correspondem a cerca de 75% do total de resíduos gerados. Este fato, juntamente com o aumento das restrições quanto à emissão e disposição de resíduos, levou a indústria siderúrgica a buscar soluções de reciclagem dos resíduos por elas gerados. Este trabalho visa consolidar-se como uma destas soluções.

O reaproveitamento ou reciclagem destes rejeitos são apresentados como uma destinação eficiente ambientalmente e até mesmo economicamente, cerca de 35% a menos no m³ do concreto. A utilização de resíduos industriais como matéria-prima para a construção civil possibilita: a redução no uso de recursos naturais, a redução da demanda de energia para sua extração, a redução do transporte dos mesmos, a redução dos custos totais na construção de habitações, infraestrutura ou obras sociais, além da redução do volume utilizado nos aterros sanitários e industriais, que podem significar risco de acidentes ambientais.

Este trabalho tem como finalidade verificar a aplicabilidade da escória granulada de alto forno no concreto utilizado para fabricação de tubos cimentícios. Levando em consideração dados do IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia (1999), no Brasil são gerados em torno de 5,7 milhões de toneladas de escória de alto forno por ano. Lembrando que segundo Krüger (1995) a escória de 15 alto forno pode ser considerada um resíduo para o qual existe uma solução de reciclagem de caráter definitivo e satisfatório.

A pesquisa busca não utilizar areia, diminuir a utilização de cimento, além de propor uma matéria prima menos onerosa, uma vez que, para as mineradoras seria

vantajosa a venda desses resíduos. Além das vantagens financeiras, as ambientais também possuem grande relevância, pois há uma diminuição da geração de CO₂ proveniente da fabricação do cimento e um reaproveitamento da escória de alto forno, que é um resíduo sólido da mineração. Já para a construção civil seria uma atividade estratégica, pois esta indústria é uma das grandes responsáveis pelo consumo dos recursos naturais não renováveis e, com isso, seria possível à utilização de produtos ecoeficientes, o que diminuiria consideravelmente os impactos ambientais.

2. Metodologia

Sendo a natureza desta pesquisa exploratória e a escória de alto forno um resíduo sólido da siderurgia, foi necessário começar este trabalho considerando a metodologia de pesquisa para a reciclagem de resíduos sólidos, proposta por autores como John (2000), Gonçalves (2000), Bina (2002), onde os seguintes aspectos foram observados: a. Identificação e quantificação do resíduo gerado, avaliando também custos de disposição e destinação, risco de contaminação ambiental e aspectos sociais; b. Conhecimento do processo de geração do resíduo, avaliando a uniformidade das características do resíduo em questão, uma vez que, afetarão no desenvolvimento do novo material; c. Caracterização física, química, microestrutural e de risco ambiental; d. Análise de possíveis aplicações dentro da construção civil, baseadas nas características encontradas, visando um maior aproveitamento do potencial de reciclagem do resíduo; e. Desenvolvimento de aplicações viáveis técnica, ambiental e economicamente; f. Desenvolvimento do produto, incluindo processo de produção e controle de qualidade; g. Análise do desempenho do produto desenvolvido frente às diferentes necessidades dos usuários; h. Análise do impacto ambiental do novo produto de acordo com o ciclo de vida total do mesmo.

Os processos de caracterização física, química e microestrutural, foram realizados em laboratório de uma empresa particular situada em Juiz de Fora – MG, onde foi feito o traço e seus respectivos corpos de provas, para testes com 5, 7 e 28 dias, de acordo com a NBR 8890/2007 – Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários – Requisitos e Métodos de Ensaio.

Alguns ensaios como: verificação dimensional, resistência a compressão diametral, índice de absorção de água e verificação da permeabilidade de tubos de concreto, não foram realizados devido à falta de recursos financeiros para o desenvolvimento dos mesmos.

A NBR 8890/2007 foi utilizada como metodologia do presente estudo, adotando o tubo de concreto para esgoto sanitário com dimensão de 500 mm de diâmetro. Foi tomado como base o padrão exigido para esgotos sanitários, uma vez que, ele é mais restritivo que o de águas pluviais, com a finalidade de propor um traço de concreto que atenda ambos.

2.1. Detalhamento do processo

Após o recebimento da amostra bruta de escória granulada de alto-forno de uma siderúrgica também de Juiz de Fora, foi realizado o beneficiamento.

2.1.1 Estratificação

A estratificação é uma maneira de entender uma estrutura em faixas, uma vez que o estrato é uma camada ou um conjunto de camadas que formam algo. Neste processo foram utilizadas peneiras de graduações diferentes, para que fosse então determinada a granulometria do material.

2.1.2 Quarteamento

O quarteamento é uma técnica que visa à redução de massa das amostras, criando uma divisão da amostra global em alíquotas com massa menor, para obtenção da amostra final de acordo com o planejamento inicial. Após a estratificação, foi realizada a homogeneização da amostra bruta para obtenção de uma amostra final.

2.1.3 Peneiramento

No peneiramento, ocorre uma separação segundo o tamanho geométrico das partículas. Neste processo a amostra passou pela peneira #200 (0,075 mm), onde foi identificado e removido o pulverulento.

2.1.4 Lavagem

A lavagem é o procedimento utilizado para remoção de poeiras, terra, areia e/ou outros resíduos do local de coleta que poderiam causar contaminação. Neste procedimento a amostra foi lavada apenas com água e o risco de perda de componentes de interesse por lixiviação foi considerado. Com a realização da lavagem foi possível retirar possíveis contaminantes da amostra.

2.1.5 Secagem

A secagem é utilizada principalmente em amostras sólidas com teor variável de águas. O processo e as condições de temperatura são definidos conforme os riscos de perdas por volatilização ou decomposição térmica da amostra. Nesta amostra foi realizada a secagem parcial, que é um processo natural, para acompanhamento do inchamento dos grãos.

2.1.6 Agregados componentes do traço

Cimento CII E-40 – Brennand Nacional; Aditivo CQ Press Mix Tubo; Escória de Alto Forno – Siderúrgica de Juiz de Fora; Pó de Pedra Graduado – Pedreira de Juiz de Fora; Brita 0 – Pedreira de Juiz de Fora.

2.1.7 Processo de rodagem do traço

Após análise e coleta de todos os agregados, foi determinado o seguinte traço, para rodagem de 30 litros de concreto: 4 Kg de Cimento; 16 Kg de Brita 0; 8,6 Kg Pó de Pedra; 5,7 Kg de Escória de Alto Forno (sendo 70% de escória graduada na peneira #4,5 e 30% de escória graduada na peneira #2,4); 1,4 litros de Água; 5,5 ml de aditivo.

A homogeneização dos agregados foi realizada com umidade ótima, que é quando a amostra atinge a maior massa específica aparente seca, ou seja, foram colocados todos os agregados com 0% de umidade (secos) dentro de uma betoneira elétrica.

A adição de água necessária para o traço (1,4 litros), foi dosada de acordo com a necessidade, buscando deixar o concreto com boa trabalhabilidade, mas sem fugir da característica ideal para moldagem dos tubos de concreto.

Após todo processo de mistura, que durou 15 minutos, foi realizado o teste de abatimento de cone (*slump*). Neste teste, o *slump* adotado para moldagem foi de 3 cm. Em seguida, devido ao concreto apresentar boa estrutura de trabalhabilidade, baixo teor de ar incorporado e excelente argamassagem, foram moldados 4 corpos de prova.

Os corpos de prova foram deixados em cura úmida, conforme NBR 5738/2015, tendo seus rompimentos realizados com idades de 5, 7 e 28 dias.

3. Resultados

Pesquisas teóricas comprovaram a possível e viável aplicabilidade da escória granulada de alto forno em concretos, pois apresentaram melhorias tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, além de apresentarem menor penetração de cloretos, menor probabilidade de corrosão e maior resistividade elétrica, que os concretos convencionais.

De acordo com dados da 37ª Reunião Anual de Pavimentação e 11º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, ocorridos em Goiânia/GO – Brasil, no dia 08 a 11 de agosto de 2006:

“Nas escórias de alto forno, são extremamente pequenas as frações que desintegram fisicamente e menor ainda a que decompõe quimicamente, abaixo dos limites recomendados para agregados naturais.”

Desta forma, assim como as escórias utilizadas como substituição ao cimento, as escórias utilizadas como agregados miúdo e graúdo também melhoram a durabilidade dos concretos.

Estes fatos foram considerados no processo de desenvolvimento do traço do concreto, que obteve como resultado um concreto com as seguintes características: Massa Específica: 1,14 g/cm³; Slump: em torno de 3 cm; 4 corpos de prova (o primeiro para rompimento com 5 dias, o segundo para rompimento com 7 dias e o terceiro e quarto para rompimento com 28 dias de idade).

3.1 Primeiro Rompimento

No rompimento do primeiro corpo de prova, com 5 dias de idade, os resultados do teste de Compressão foram 4,71 toneladas e 6 MPa.

3.2 Segundo Rompimento

No rompimento do segundo corpo de prova, com 7 dias de idade, os resultados do teste de Compressão foram 5,90 toneladas e 7,52 MPa.

3.3 Terceiro e Quarto Rompimentos

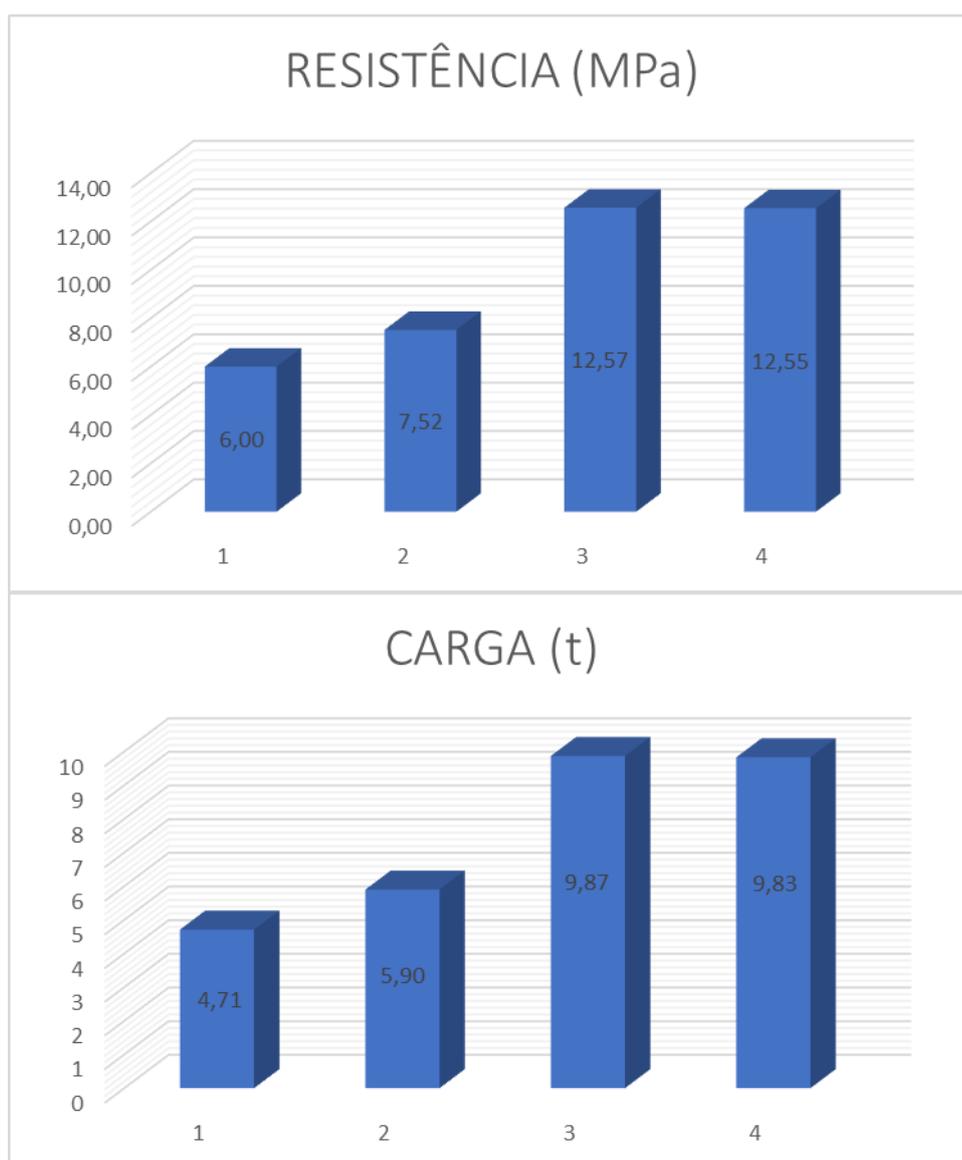
No rompimento do terceiro e quarto corpos de prova, com 28 dias de idade, os resultados do teste de Compressão foram 9,87 toneladas e 12,57 MPa e 9,83 toneladas e 12,55 Mpa.

Tabela 01: Resultados dos ensaios de compressão dos 4 corpos de prova.

CORPO DE PROVA	IDADE DO ROMPIMENTO (dias)	PESO (kg)	ÁREA (dc2)	CARGA (t)	RESISTÊNCIA (MPa)	DATA DO ENSAIO	TIPO DE RUPTURA
1	5	3,627	0,7854	4,71	6,00	03/08/2019	Compressão
2	7	3,605	0,7854	5,90	7,52	05/08/2019	Compressão
3	28	3,609	0,7854	9,87	12,57	26/08/2019	Compressão
4	28	3,603	0,7854	9,83	12,55	26/08/2019	Compressão
Máximo do resultado (fck):							12,57 MPa

Fonte: Tabela gerada pelo autor a partir dos ensaios (2019)

Gráfico 01: Resultados dos ensaios de compressão dos 4 corpos de prova.



Fonte: Gráficos gerados pelo autor a partir dos ensaios (2019)

4. Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos em análises laboratoriais realizadas no laboratório de concreto de uma empresa privada de Juiz de Fora, MG, e demonstrados anteriormente, a resistência à compressão mínima definida por norma para corpos de prova (10 MPa) foi atendida e sua execução foi financeiramente viável, apresentando inclusive uma redução dos custos de produção. Com isto, foi possível afirmar a viabilidade da fabricação de tubos de concreto com escória granulada de alto forno, tanto tubos para esgotos sanitários, como para águas pluviais, uma vez que, o padrão de resultados para tubos de concreto para águas pluviais é menos restritivo que o de esgotos sanitários.

Realizando uma comparação entre o concreto tradicionalmente utilizado para fabricação de tubos de concreto e o proposto por este estudo, em que o concreto com escória apresenta uma redução de aproximadamente 15% da quantidade de cimento que seria utilizada e, ainda, levando em consideração que o cimento é a matéria mais cara do concreto, juntamente com a não utilização de areia, resultam em uma economia de aproximadamente 30% no m³ do concreto.

Outro fator muito relevante é a sustentabilidade, afinal, como ficou comprovado neste trabalho, é possível a produção de um traço sustentável com o reaproveitamento de um resíduo da mineração (a escória granulada de alto forno), a redução do consumo de cimento e a não utilização de areia, que é comumente empregada na fabricação de concretos e ausente no traço proposto, evitando assim os inúmeros impactos que são causados pela extração da areia de rios.

Embora os ensaios realizados apresentem resultados positivos e capazes de comprovar a viabilidade desta pesquisa, ensaios como: verificação dimensional, resistência a compressão diametral, índice de absorção de água e verificação da permeabilidade de tubos de concreto, não puderam ser realizados devido à falta de recursos financeiros para o desenvolvimento dos mesmos.

É importante também ressaltar a dificuldade para encontrar bibliografias atuais que dissertem mais especificamente sobre escórias e concretos com escórias, demonstrando assim um amplo campo de possibilidades para pesquisas futuras a respeito deste resíduo sólido da mineração que apresenta grande potencial para construção civil.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado para concreto – Classificação. NBR 7211. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados: determinação da composição granulométrica – classificação. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Classificação. NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tudo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaios. NBR 8890. Rio de Janeiro, 2007.

BINA, P.; CASTRO, P. R. F. e YOSHIMURA, H. N. Metodologia de análise e aprovação de utilização de rejeitos na construção civil: estudo de caso de uso de areia de fundição de descarte na construção civil. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO – 44º CONGRESSO BRASILEIRO, 2002.

GONÇALVES, R. D. Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto – Um novo Material para Dosagens Estruturais. São Carlos, 130p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. Aplicações de Agregados Siderúrgicos em Pavimentação. Rodoviária (GT Escórias), 1988.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 102 p. São Paulo, 2000. Tese (Livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KRÜGER, P. Panorama mundial do aproveitamento de resíduos na siderurgia. CIÊNCIA & TECNOLOGIA. METALURGIA & MATERIAIS, 1995.

MOURA, W. A. Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2000. 207p. (Tese de Doutorado).

POLDER, R B.; PEELLEN W. H. A. characterisation of chloride transport and reinforcement corrosion in concrete under cyclic wetting and drying by electrical resistivity. CEMENTE & CONCRETE COMPOSITES. Elsevier Science Ltd, 2002.

RESCHKE, J.S. Escória granulada de fundição utilizada como substituição ao cimento em concretos: avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade. 2003. Dissertação (Mestre em engenharia na modalidade acadêmica), Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul/RS. 2003.