

SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA VOLANTE NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO

CEMENT REPLACEMENT OF PORTLAND IN FLY ASH IN PRODUCTION OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

Rafael Dutra Tonello¹, Raul Aita Artusi¹, Alessandro Graeff Goldoni², Maciel Donato²

¹Graduando de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo.

E-mails: rafaeltonello1@gmail.com; raulartusi@gmail.br.

²Professor, Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

E-mails: goldoni@upf.br; mdonato@upf.br

RESUMO

O incremento de atividades na construção civil observado nos anos recentemente transcorridos, justifica e impulsiona estudos de novas técnicas que tem como objetivo aprimorar práticas obsoletas, que reprimem a liberdade de criatividade dos projetistas e vão contra o necessário e difundido pensamento sustentável. Nesse sentido, estudou-se características físicas do Bloco de Concreto Celular Espumoso (BCCE) quando se substitui Cimento Portland pelo resíduo industrial Cinza Volante. Desde a extração dos minerais necessários para a produção do Cimento Portland, a calcinação dos mesmos, processo de moagem e de transporte, resultam em elevados índices de emissão de dióxido de carbono, principal gás causador do efeito estufa. Sabe-se que vários setores da indústria brasileira são referência no que tange a pegada ecológica, apresentando índices de emissão de CO₂ 25% menores em relação à média mundial. Uma boa explicação para esse dado positivo se dá na utilização das adições como escória de alto forno, cinza volante e cinza de casca de arroz, resíduos que apresentam características físicas e químicas que possibilitam o uso em larga escala na fabricação de derivados de cimento, além de ser possível oferecer uma destinação adequada a esses materiais. Dentre os métodos de produção de blocos de concreto celular espumoso, testou-se o qual é inserida a espuma já preparada junto à argamassa. Utilizou-se dispositivo gerador de espuma produzido por Lencina, confeccionando blocos referência, sem a substituição de Cimento Portland por cinza volante e blocos com teores de 10%, 15% e 20 % de cinza volante, substituindo o cimento Portland. Analisando os resultados finais, observou-se um incremento da resistência conforme se aumentava o teor de cinza volante. No que tange a densidade, os BCCE ficaram de acordo com o que apresenta a NBR12644 (ABNT, 1992).

Palavras-chave: Cinza Volante. Concreto Espumoso. Cimento Portland.

ABSTRACT

The activity increase in construction observed in recent years have elapsed justifies and promotes studies of new techniques that aims to improve outdated practices that repress freedom of creativity of designers and go against the necessary and widespread sustainable thinking. In this sense, were studied physical characteristics of the foamed cellular lightweight concrete block (CLC) when replacing Portland cement by the fly ash. Since the extraction of minerals required for the production of Portland cement, calcining the same, and transport the milling process results in high carbon dioxide emission rates, main cause of the greenhouse gas. Brazilian industry is known that is a reference in terms of carbon footprint, with rates of CO₂ emissions 25% lower compared to the world average. A good explanation for this positive value is the use of additions like blast furnace slag, fly ash and rice husk ash, residues that have physical and chemical characteristics that enable large-scale use in the manufacture of cementitious products, as well it is possible to provide an adequate allocation to these materials. Among the methods of production of foamed cellular lightweight concrete blocks, we tested which is inserted into the foam already prepared with the mortar. It used the foam generating device produced by Lencina, fashioning reference blocks without the replacement of Portland cement by fly ash and blocks with contents of 10%, 15% and 20% fly ash replacing the cement. By analyzing the final results, we observed an increase of the resistance as we elevated the fly ash content. Regarding the density, the CLC were according to the one with the NBR 12644 (ABNT, 1992).

Keywords: Fly Ash. Lightweight Concrete, Cement Portland

1. INTRODUÇÃO

O constante processo de renovação presenciado na construção civil nas últimas décadas e o aprimoramento dos métodos construtivos são cada vez mais visíveis, surgindo, constantemente, materiais e métodos para facilitar e equipar os profissionais da área. Práticas defasadas, que geram grandes volumes de resíduos, aliadas a necessidade da mão de obra excessiva, vão sendo deixadas de lado, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, acrescentando qualidade e agilidade nas obras como um todo. Dentre essas inovações pode se citar o uso dos concretos leves, como o do bloco de concreto celular espumoso (BCCE).

A norma NBR 12646 (ABNT, 1992) regulamenta o concreto celular obtido pela introdução de bolhas de ar nas argamassas, com dimensões milimétricas, homogêneas, uniformemente distribuídas, estáveis, incomunicáveis entre si e indeformadas ao fim do processo, cuja densidade de massa aparente no estado fresco deve estar compreendida entre 400 kg/m^3 e 1600 kg/m^3 . As bolhas de ar podem ser obtidas na forma de uma espuma pré-formada ou geradas no interior do misturador por ação mecânica deste, devido a um agente espumante, produto de composição química capaz de produzir bolhas de ar estáveis no interior de pastas de cimento ou argamassas.

Destacam-se as propriedades termo acústicas conferidas por esse concreto, podendo também, quando utilizado em alvenarias, garantir uma significativa economia no custo global da obra, devido ao desperdício quase inexistente e a massa específica reduzida, que confere um alívio de cargas e tensões das alvenarias, citando também a agilidade da aplicação desse método, que geralmente é utilizado em blocos de dimensões maiores, quando comparados a outros blocos, cerâmicos e de concreto convencional.

Inúmeras indústrias permanecem gerando resíduos que não possuem o correto descarte, resíduos estes que podem ser incorporados na produção de concretos, sendo observados, além das vantagens técnicas obtidas a partir da incorporação de resíduos ao concreto, também um modo seguro e barato de remover esses produtos do meio ambiente, contribuindo para a conservação de energia e de recursos minerais. Aborda-se o resíduo da queima de carvão, oriundo das usinas termoeletricas, o qual tem propriedades pozolânicas, podendo-se substituir parte do uso de aglomerantes, pela adição de cinza volante, técnica abordada neste estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Elaboração do dispositivo gerador de espuma

Industrialmente, faz-se a geração de espuma por um dispositivo que combina ar pressurizado, água e aditivos químicos incorporadores de ar, obtendo assim a espuma necessária para produção dos blocos de concreto celular, substancialmente o processo executado em laboratório é o mesmo, usando de equipamento formulado por um compressor, aliado a um tubo de perda de carga e a um reservatório no qual ficam depositados a água e o aditivo, previamente dosados na quantidade necessária. A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, o funcionamento do equipamento gerador de espuma elaborado.

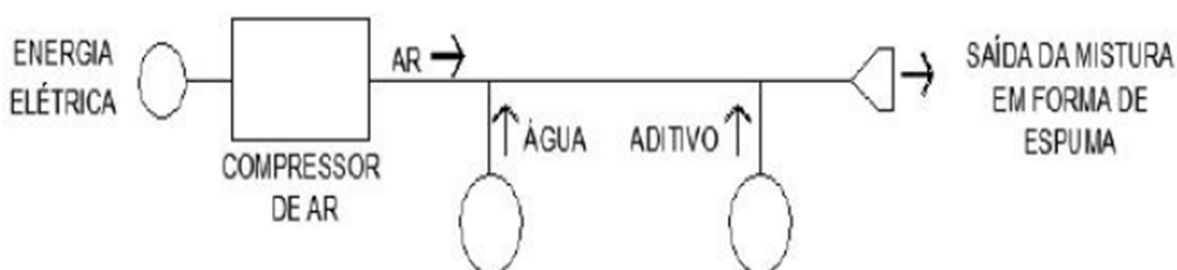


Figura 1 – Esquema de funcionamento do gerador de espuma (Lencina, 2015).

O controle da vazão e a relativa densidade da espuma obtida, precisam ser controlados através de dispositivos controladores de fluxo, para que assim, possa ser garantida a qualidade da espuma. O equipamento alternativo, produzido por Lencina (2015), é composto por:

- Compressor de ar de baixa pressão;
- Eletrobomba;
- Mangueiras;
- Abraçadeiras de alta pressão;
- Reservatório com capacidade de 20 litros;
- Válvula de retenção;
- Tudos e conexões em PVC;
- Ilhós.

Primeiramente, realizou-se a confecção de um tubo de “perda de carga”, este com a função de homogeneizar a mistura com o ar pressurizado. Ao reservatório é acoplada uma eletrobomba com função de aumentar o fluxo de água e aditivo químico, acessando o tubo de perda de carga por uma das entradas posicionadas na parte inferior. Uma segunda entrada é posiciona-se ao lado da primeira, para que possa ser adicionado o ar pressurizado, através do compressor de baixa pressão. No interior do tubo a mistura perde velocidade, assim o ar introduzido reage com o aditivo, formando a espuma que é expelida pela saída do tubo.

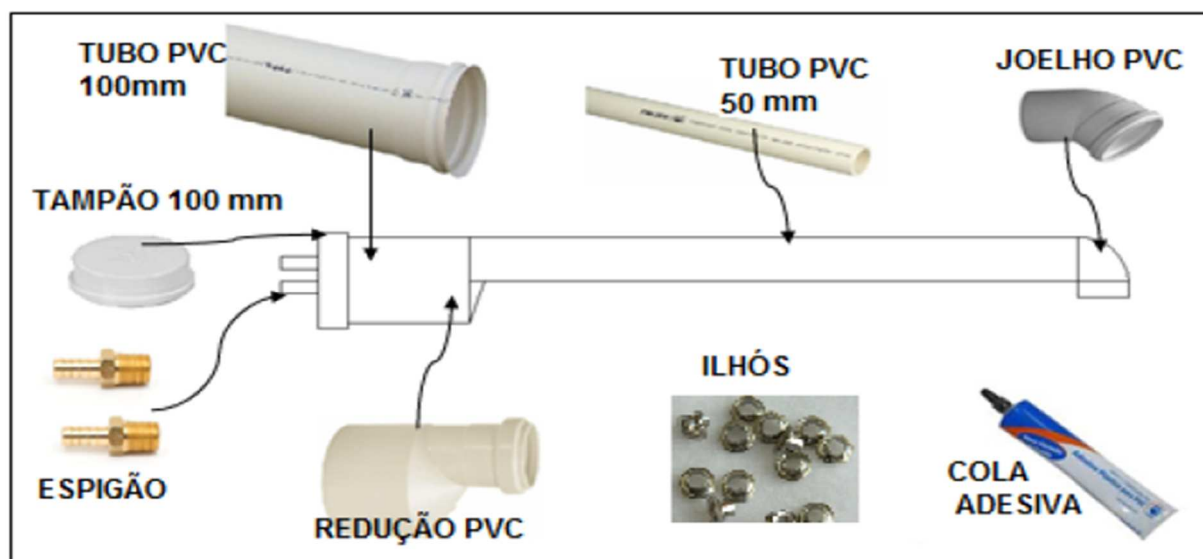


Figura 2 – Tubo de “perda de carga”. Materiais tubo de perda de carga (Lencina, 2015).

Salienta-se a necessidade de uma válvula de retenção, devendo ser acoplada entre a eletrobomba e o reservatório, com a finalidade de impedir o acesso do ar pressurizado ao reservatório, o que comprometeria a funcionalidade do equipamento.

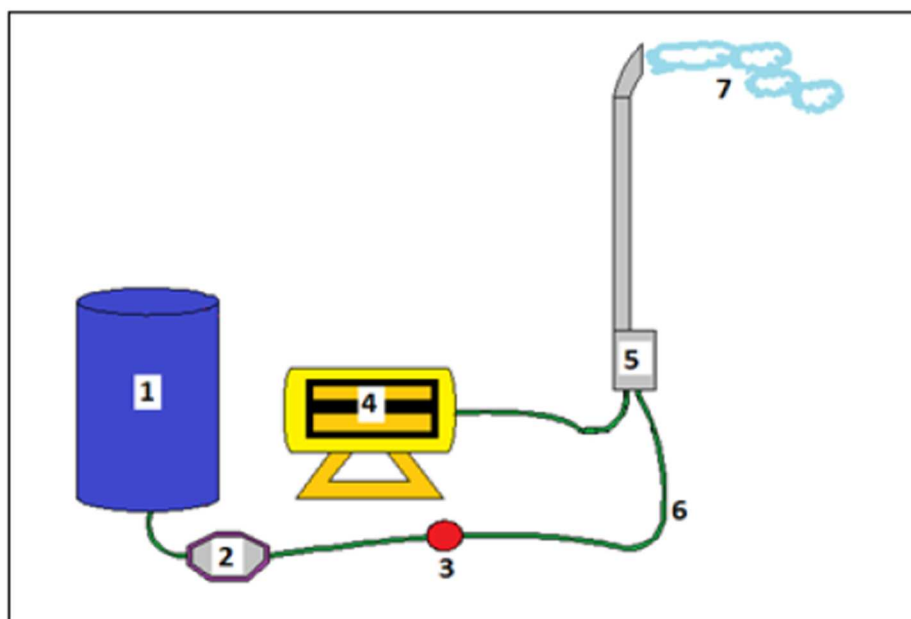


Figura 3 – Gerador de espuma. Conexões que compõem o gerador de espuma (Lencina, 2015).

A imagem acima demonstra o posicionamento dos elementos presentes no gerador de espuma, sendo: (1) Reservatório de armazenamento da Água e Aditivo, (2) Eletrobomba, (3) Válvula de retenção, (4) Compressor, (5) Tubo de perda de Carga, (6) Mangueiras de ligações, (7) Saída da espuma.

2.2 Aditivo Incorporador de Ar

O aditivo incorporador de ar é composto de mistura de tenso ativos especiais e estabilizadores de espuma, tem sua principal aplicação na aeração de concreto e argamassa frescos. Possui ação plastificante e auxilia na coesão e homogeneidade dos agregados, proporcionando melhor trabalhabilidade da massa. Dosaram-se para os testes a mistura de 1 parte de aditivo para cada 40 partes de água.

2.3 Cinza Volante

A cinza utilizada como substituição ao aglomerante é proveniente da Companhia Tractebel Energia com sede em Florianópolis, no estado de Santa Catarina, o resíduo pode ser encontrado na termoeletrica Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo, também em Santa Catarina.

2.4 Definições de Dosagem e Densidade

Aferidas as características do gerador de espuma, é necessária a dosagem do concreto celular a ser testado. Baseou-se então nas dosagens fornecidas pela empresa Ecopore, elaborada através de estudos utilizando o mesmo aditivo. Os traços são relacionados a uma densidade pré-estipulada, utilizando-se como referência a densidade de 900Kg/m³. Para as misturas, utilizou-se de cimento Portland CP-V ARI; para porção de agregado, usou-se areia média, com toda sua massa passante pela peneira N°4, tendo esta abertura de malha de 4,75mm.

Elaborou-se para obtenção de parâmetros uma mistura de referência, para que posteriormente pudesse ser correlacionada com as misturas com substituição de aglomerante, possuindo traço unitário de 1:1, relacionado cimento Portland com o agregado. Seguiu-se com a elaboração de um traço que substituisse 10% do aglomerante por cinza volante, este apresenta traço unitário de 1: 1,11 : 0,1

relacionado, cimento, agregado e pozolana, respectivamente. Um terceiro traço propondo a substituir 15% do aglomerante, apresentou 1:1,17:0,15, na mesma relação citada acima. Por fim, substituiu-se 20% do aglomerante obtendo traço unitário de 1:1,25:0,2 em ambos os traços testados manteve-se a mesma relação água/cimento, esta quantificada em 0,4.

Com os traços estabelecidos e as quantidades pré-ajustadas, o processo iniciou-se com a separação dos materiais necessário para cada traço.

2.5 Elaboração da espuma

Para a obtenção da espuma, primeiramente, diluiu-se o aditivo incorporador de ar em água, em proporções de 1:40 aditivo em relação a água, como indicado pelo fabricante, estes diluídos no reservatório e homogeneizados manualmente. Após o processo de geração, reservou-se a espuma obtida em um recipiente de volume conhecido e graduado, para que a dosagem adequada pudesse ser mensurada. Também se controlaram os parâmetros de densidade em 75g/litro. Assim então, adicionou-se lentamente a espuma na mistura já homogeneizada no interior do misturador de eixo vertical.

2.6 Moldagem do concreto celular

Após a mistura obter aspecto homogêneo, despejou-se nos moldes, adotados em dimensões de (150x150x500) cm, após o preenchimento dos moldes com o concreto celular, pode-se obter a densidade no estado fresco, com medidas conhecidas, bastou-se pesar a amostra e estabelecer a relação.

Pesados os blocos, os mesmos permaneceram curando nos moldes por 48 horas, após esse período desformaram-se e determinou-se a densidade no estado seco.



Figura 4 – Blocos de concreto celular. Blocos com diferentes teores de cinza volante.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Densidade dos blocos

Os resultados obtidos nos procedimentos de determinação da densidade, estão dispostos a seguir.

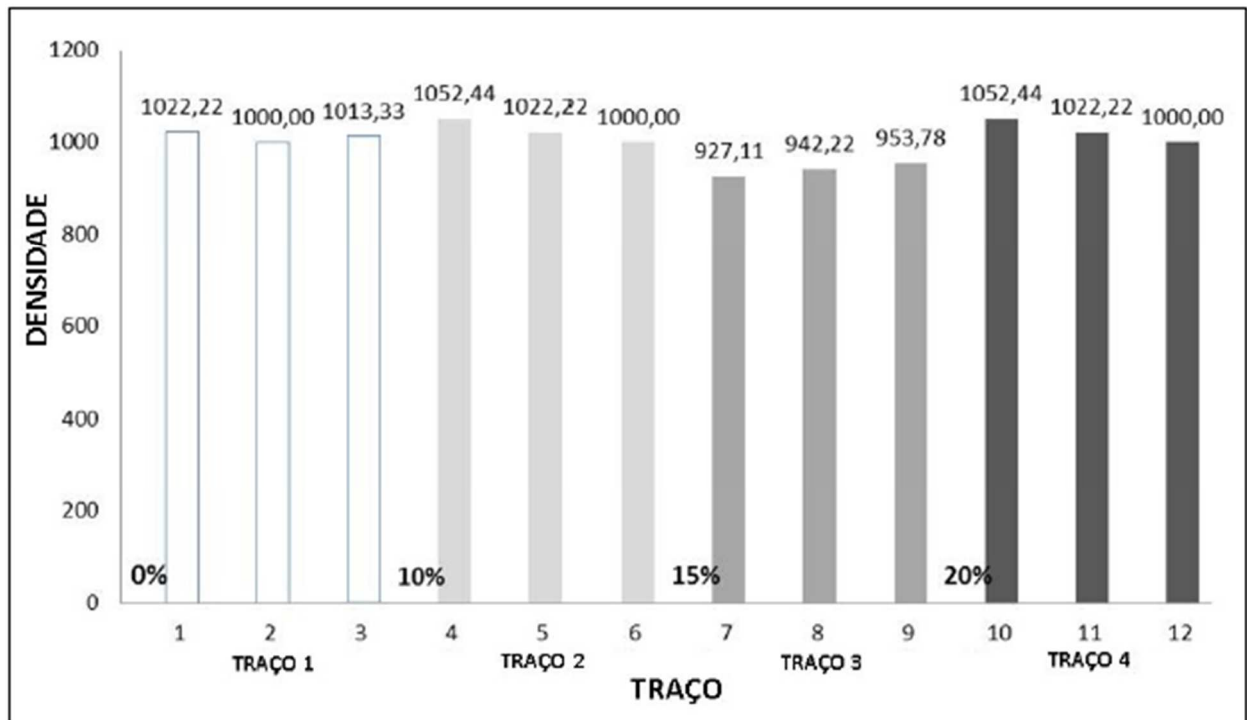


Figura 5 – Densidade fresca por porcentagem de resíduo.

Constata-se que os traços se aproximam da densidade estipulada no início da dosagem ($1030,21 \text{ kg/m}^3$) para o estado fresco e de 900 kg/m^3 após a cura. Ressalta-se que, em média, todos os corpos de prova perderam cerca de 10,4% sua densidade durante o processo de cura. Observando o gráfico abaixo, confere-se que a densidade do bloco pouco varia com a adição de cinza volante após a cura.

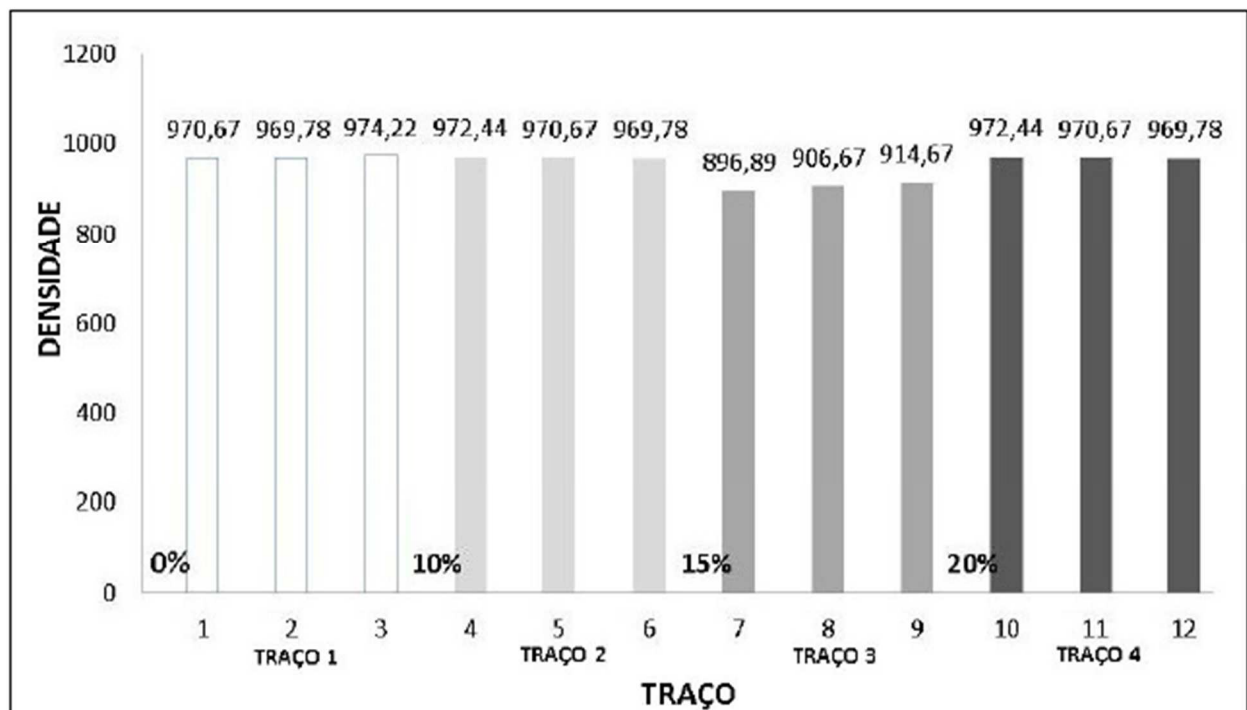


Figura 6 – Densidade curada por porcentagem de resíduo.

3.2 Resistência à compressão

Seguiu-se a norma NBR 13440 (ABNT, 2013), a qual define no ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto celulares, devem-se retirar corpos de prova a partir de duas amostras extraídas do bloco a ser avaliado, estes corpos de prova devem ser cúbicos com 10 centímetros de lado. Tratando-se de um bloco de concreto celular, as amostras podem ser extraídas com o uso de uma serra manual, retiradas do centro do bloco, uma de cada bloco.

Devido a superfície irregular, as amostras devem receber capeamento de nata de cimento Portland aplicado nas extremidades, para regularizar a superfície de contato com a prensa hidráulica. Efetuou-se a ruptura dos blocos aos 7 dias após a execução de cada traço. Ensaíram-se os corpos de prova em uma prensa *Emic SSh300 Tsc* versão 3.04, utilizando o método de ensaio para bloco celular 200KN. Os resultados do ensaio podem ser observados abaixo.

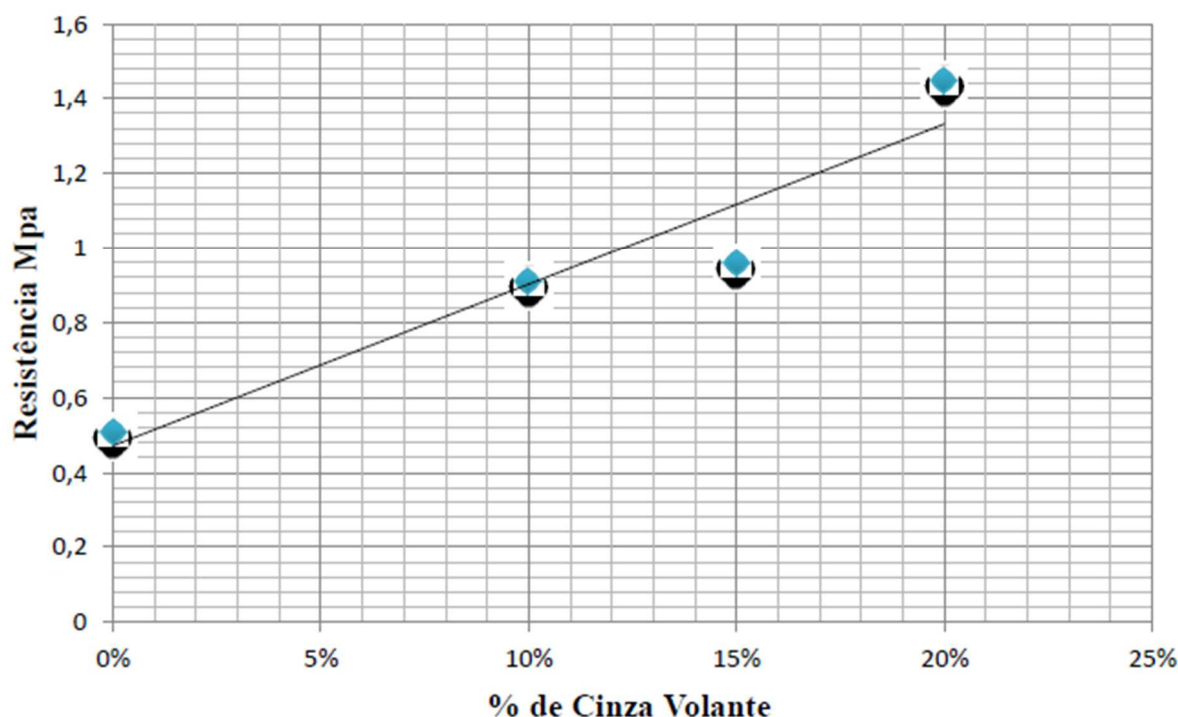


Figura 7 – Resistencia axial a compressão. Resistencia por teor de substituição de aglomerante.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto celular espumoso analisado neste trabalho apresenta um aditivo capaz de promover a aeração da mistura de concreto, reduzindo consideravelmente a sua densidade. Com esta incorporação as misturas são mais eficientes, necessitando de menos agregados e aglomerantes para as mesmas quantidades de concreto desejadas.

O dispositivo gerador de espuma apresentou resultados satisfatórios quanto a criação e a reação do aditivo para produção da espuma, porém, ainda se faz necessário alguns ajustes no equipamento que venham reduzir o desperdício de aditivo, bem como produzir uma densidade de espuma homogênea e regular.

Analisando os comportamentos obtidos através da determinação da densidade das misturas frescas e após a cura, comprova-se que o traço sugerido pela empresa fornecedora do aditivo se enquadra nas especificações estipuladas. Além disso, pode-se concluir que há uma redução média de 10% na densidade das misturas quando trocam do estado fresco para o curado.

Na análise dos resultados obtidos através dos ensaios de compressão axial, as resistências das amostras ficaram abaixo do estipulado pelo fabricante do aditivo, mesmo seguindo rigorosamente os

traços indicados pela empresa. Esta inferioridade pode estar diretamente associada a discrepância na granulometria do agregado miúdo utilizado, como também, o excesso de água adicionado à mistura junto a espuma, aumentando a relação água cimento e diminuindo assim a resistência do produto final.

Sobre a substituição do cimento Portland pela cinza volante, as amostras ganharam resistência conforme incorporou-se uma maior quantidade do resíduo na mistura, substituindo uma parcela do material aglomerante. Esse ganho de resistência pode estar associado ao preenchimento dos vazios proporcionado pela cinza nas misturas, sendo que este preenchimento, não comprometeu a densidade estipulada como meta, ou seja, a substituição do resíduo apresentou resultados bastante satisfatórios tanto para a resistência final quanto para as densidades.

5. REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C; ZORDAN S. E; JOHN. V. M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**, PCC – Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP, 2010, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12646: Parede de Concreto Celular Espumoso Moldado no Local*. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *NBR 1763: Aditivo para Concreto de Cimento Portland*. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *NBR 13438: Blocos de Concreto Celular Autoclavado – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 13440: Blocos de Concreto Celular Autoclavado – Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2013.

BATTAGIN, A. F. **Inovações em Cimento Portland e Novos Ligantes**, disponível em: <http://www.ficem.org/multimedia/2011/tecnico11/17_INOVACOES%20EM%20CIMENTO%20PORTLAND%20E%20NOVOS%20LIGANTES%20-BATTAGIN.pdf>, acesso em Agosto de 2015.

CORTELASSI, E. M.; TORALLES-CARBONARI, B. M. **Avaliação do comportamento mecânico de concretos celulares espumosos de alto desempenho**. VI Simpósio EPUSP, Londrina, 2006.

ECOPORE DO BRASIL. *Concreto celular e concreto leve*. Mauá, 2015. Disponível em <<http://www.ecopore.com.br/concreto-celular>>. Acesso Junho. 2015.

LENCINA, L. C. J. **Fabricação de Mecanismo de Espuma – Elaboração do Concreto Celular**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2015.

MALHORTA V. M; MEHTA P. K. **Pozzolanic And Cementitious Materials**. Advances In Concrete Technology – vol. 1 – 173p. 42

MANNRICH, B. L. **Alvenaria em concreto celular espumoso moldada in loco**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2013.

TEIXEIRA, F. J.; TESUKO, Y. **Considerações Sobre Algumas Propriedades Dos Concretos Celulares Espumosos**. 1992. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1992.

WSM BRASIL LTDA. *Aditivo incorporador de ar para concreto celular*. São José dos Pinhais, 2015. Disponível em <<http://www.wsm.com.br/guia-ecoar---incorporador-de-ar-para-concreto-celular~258~49~4~maquinas~construcao-civil>>. Acesso Agosto. 2015.