

## Uso das cinzas dos fornos de cerâmica em substituição parcial do cimento portland para produção de microconcretos

### Use of ceramic furnace ashes in partial replacement of portland cement in microconcrets

DOI:10.34117/bjdv9n3-164

Recebimento dos originais: 24/02/2023

Aceitação para publicação: 17/03/2023

#### **Rafael Braganceiro Santin**

Graduado em Engenharia Civil pelo Instituto Filadélfia de Londrina (UNIFIL)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Câmpus Avançado Ilha Solteira

Endereço: Alameda Tucuuruí, 164, Zona Norte, Ilha Solteira – SP, CEP: 15385-000

E-mail: rafael.santin@ifsp.edu.br

#### **João Victor Fazzan**

Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade

Estadual Paulista – (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Câmpus Avançado Ilha Solteira

Endereço: Alameda Tucuuruí, 164, Zona Norte, Ilha Solteira - SP, CEP 15385-000

E-mail: jvfazzan@ifsp.edu.br

#### **Adriana Maria Pereira**

Doutora em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Estadual Paulista – (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Câmpus Avançado Ilha Solteira

Endereço: Alameda Tucuuruí, 164, Zona Norte, Ilha Solteira - SP, CEP: 15385-000

E-mail: adrianapereiradu@ifsp.edu.br

#### **Antonio Carlos Vilella Caldeira**

Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Toledo (UNITOLEDO) – Araçatuba - SP

Instituição: Centro Universitário Toledo (UNITOLEDO) – Araçatuba - SP

Endereço: R. Antônio Afonso de Toledo, 595, Jardim Sumare, Araçatuba - SP, CEP: 16015-270

E-mail: carlosvilella.civil@gmail.com

#### **Murilo Henrique Lima de Souza**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)

Endereço: Avenida Brasil, 56, Centro, Ilha Solteira – SP, CEP: 15385-000

E-mail: murilo.l.souza@unesp.br

**Vanderley Moacyr John**

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Departamento de  
Engenharia de Construção Civil  
Endereço: Avenida Almeida Prado, Trav. 2, Nº 87, Cidade Universitária,  
CEP: 05508-900, São Paulo - SP  
E-mail: vmjohn@usp.br

**RESUMO**

Nos últimos anos, embora já foram desenvolvidos inúmeros trabalhos voltados ao entendimento da reatividade pozolânica entre as adições minerais e o hidróxido de cálcio, novos estudos das interações cimento/pozolana para novos materiais são necessários para garantir o entendimento dos mecanismos de interação dos materiais, tratando-se de um interesse científico e tecnológico dentro do setor da construção civil. Ao mesmo tempo, as indústrias da construção civil ainda têm gerado impactos ambientais nos processos produtivos com a geração de resíduos, apresentando-se como grande potencial para absorver uma grande parcela desses materiais. Neste sentido, a pesquisa visa o estudo da caracterização da cinza do resíduo dos fornos das cerâmicas locais (CFC) e a avaliação de sua reatividade. Foram moldados corpos de prova de microconcretos com diferentes porcentagens de resíduo em substituição parcial do cimento Portland, para análise da resistência à compressão. Os resultados mostram que diferentes propriedades podem ser obtidas por meio das condições de preparo das cinzas, indicando uma reatividade mais tardia no ganho das propriedades mecânicas. Além disso, se obtiveram Coeficientes entre Resistências à Compressão dos Microconcretos superiores aos previstos por norma quando se utiliza o material em substituição ao cimento Portland.

**Palavras-chave:** resíduo dos fornos de cerâmica, microconcretos, pozolanas.

**ABSTRACT**

In recent years, although a number of studies have been conducted to understand the pozzolanic reactivity between mineral additions and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , new studies of cement / pozzolan interactions for new materials are made to ensure understanding of material interaction methods. , as a scientific and technological interest within the civil construction sector. At the same time, as the construction industries still cause environmental impacts on the production processes with waste generation, they have a great potential to absorb a large portion of these materials. Thus, the research aims to study the characterization of local ceramic furnaces ashes (CFA) and the evaluation of its reactivity. Microconcrete specimens with different residue percentages in partial replacement of Portland cement were molded for compressive strength analysis. The results show that different properties can be obtained through the ash preparation conditions, indicating a later reactivity in the gain of mechanical properties. In addition, Microconcrete Compression Resistance Coefficients were higher than those Standards prescribed when using the material in partial replacement of Portland cement

**Keywords:** ceramic furnace wastes, microconcretos, pozzolans.

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da realidade no setor da Construção Civil, estudos que visam o reuso de materiais provenientes da produção de bens e serviços inovando e contribuindo com a diminuição dos impactos ambientais se fazem necessários.

Dentre eles, encontra-se a cerâmica vermelha, que engloba diversos materiais utilizados na construção civil, como blocos, telhas, tijolos maciços, tubos para saneamento, elementos de enchimentos (laje), green wall, elementos vazados e também argila expandida (AMBIENTAL, 2013).

Segundo Sebrae (2012), os principais impactos ambientais relacionados à indústria de cerâmica vermelha estão geralmente associados a fatores como: degradação das áreas de extração da argila, consumo de energia, geração de resíduos sólidos decorrentes de perdas por falhas na qualidade do produto, emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa.

Uma das adições minerais mais comuns que vem ganhando espaço no mercado brasileiro é a argila calcinada (GARCIA et al., 2015). Segundo Dal Molin (2011), estes compreendem substâncias silicosas finamente cominuídas, que, adicionadas ao cimento, interagem química e fisicamente com os produtos da hidratação deste, modificando a microestrutura do material. A reação entre a adição e o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  com a formação de silicato de cálcio hidratado adicional é denominada reação pozolânica.

Esta pesquisa tem como principal objetivo sugerir um destino adequado para as cinzas dos fornos de cerâmica (CFC), que, para a região noroeste do estado de São Paulo, não agrega até o momento nenhum valor comercial. A incorporação da CFC se deu por meio da substituição parcial do cimento Portland. Com isso, buscou-se a caracterização das propriedades mecânicas a partir de corpos de prova de microconcreto feitos com cimento e CFC.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

O agregado miúdo utilizado foi classificado como areia média natural, com diâmetro máximo de 2,36 mm e massa específica absoluta de 2,62 g/cm<sup>3</sup>. O agregado graúdo utilizado foi classificado como brita 0 de origem basáltica, com diâmetro máximo de 9,5 mm e massa específica absoluta de 2,89 g/cm<sup>3</sup>.

O cimento utilizado foi o CP V – ARI. Trata-se de um cimento com mais de 95% de clínquer na composição, sem adição de pozolana, para que não haja interferência na

atividade pozolânica da CFC. Foram determinados os valores de massa específica absoluta e massa específica aparente, iguais à 3,14 e 1,02 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

### 3 MÉTODOS

Os resíduos foram fornecidos pela Cerâmica Urubupungá Ltda., localizada no município de Pereira Barreto-SP. As cinzas obtidas foram produzidas por meio da produção de tijolos em Fornos de seção circular, conhecido como abóbada, provenientes de eucaliptos e mangueiras. O material coletado no fundo dos fornos passou por um processo de queima a aproximadamente 850°C. Após a coleta do resíduo dos fornos de cerâmica *in natura*, realizou-se o peneiramento utilizando um peneirador granulométrico de agregados miúdos. Sendo assim, o material classificado como “cinza dos fornos de cerâmica” (CFC) foi obtido pelo descarte da parcela de material retida na peneira de abertura 0,075 mm. O processo de cominuição da cinza foi concluído através da moagem do material em um moinho de facas. A Figura 1 mostra o resíduo em seus diversos estados.

Figura 1 Resíduos dos Fornos de Cerâmica *in natura* (a); Material descartado após peneiramento (b) e Cinza obtida após o processo de peneiramento (c).



Para a dosagem dos microconcretos, definiu-se que as misturas seriam elaboradas na proporção 1:3,5 (Cimento : Agregados), em massa, e fator Água/Cimento fixado em 0,45. Foram confeccionados corpos de prova Controle, apenas com cimento, agregados e água, e corpos de prova com substituição parcial do cimento Portland por CFC em diferentes proporções (10% e 30%). A Tabela 1 abaixo mostra a proporção de materiais utilizados na pesquisa.

Tabela 1 Dosagem dos Microconcretos para os traços controle, 10% e 30% de CFC.

| Materiais (kg/m <sup>3</sup> ) | Traços   |         |        |
|--------------------------------|----------|---------|--------|
|                                | Controle | 10%     | 30%    |
| Cimento                        | 480,06   | 425,89  | 322,05 |
| CFC                            | ---      | 47,32   | 138,02 |
| Areia                          | 664,88   | 655,39  | 637,20 |
| Brita 0                        | 1015,32  | 1000,83 | 973,05 |
| Água                           | 216,03   | 212,94  | 207,03 |
| Fator Água/Cimento             | 0,45     | 0,45    | 0,45   |

Moldaram-se os corpos de prova metálicos cúbicos com 5 cm de aresta, seguindo as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2016). No dia seguinte, os CP's foram desmoldados e levados para a câmara úmida para permanecerem em processo de cura até o dia agendado para cada um dos ensaios.

### 3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme descreve a NBR 7215 (ABNT, 2019), utilizando a Máquina Universal de Ensaios. Os dados de resistência à compressão foram obtidos aos 7 e 28 dias de cura, sendo utilizados 3 corpos de prova para cada traço definido e idade de ruptura.

As médias dos valores de resistência foram calculadas considerando o desvio relativo máximo, conforme item 3.6.3 da NBR 7215 (ABNT, 2019). Para desvios relativos máximos superiores a 6%, foram desconsiderados os valores discrepantes e calculadas novas médias, conforme prescreve o item 3.6.4 da NBR 7215 (ABNT, 2019).

### 3.2 COEFICIENTE ENTRE RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DE MICROCONCRETOS

Analogamente ao Índice de Atividade Resistente (IAR) aplicado às misturas de argamassa e preconizado pela norma ASTM C-618 (2015), se pretende neste trabalho avaliar a evolução da reatividade da CFC por meio da comparação entre as resistências das misturas com pozolana e as misturas controle, para uma mesma relação a/c. O coeficiente é dado pela Equação 1 abaixo.

$$\text{Coeficiente} = \frac{R_{c_{\text{poz.}}}}{R_{c_{\text{contr.}}}} \quad (1)$$

Onde:

$R_{c_{\text{poz.}}}$  - Resistência à compressão da mistura de concreto com adição de pozolana.

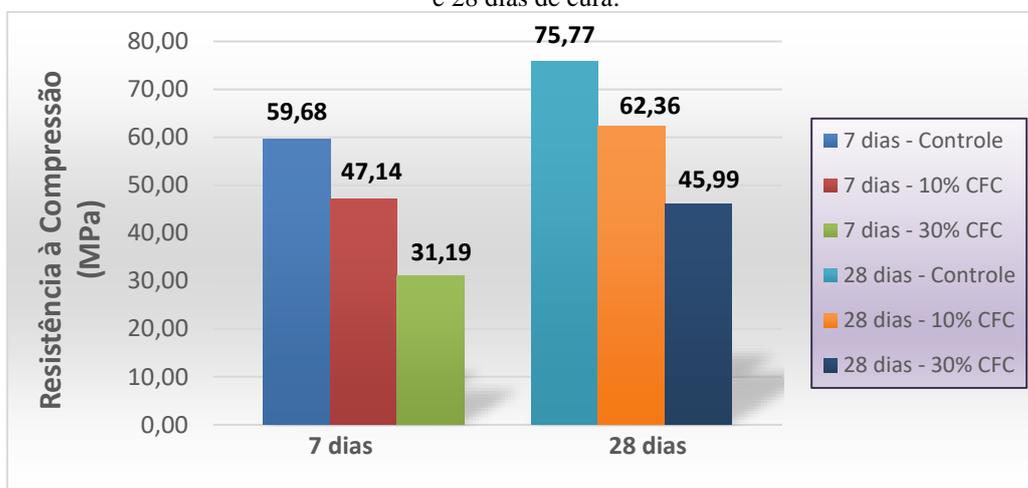
$R_{c\text{ contr.}}$  - Resistência à compressão da mistura de concreto sem adição de pozolana (controle).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MICROCONCRETOS

Os valores de resistências mecânicas à compressão ao longo do tempo para as misturas de microconcretos sem e com adição de CFC podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 Resistência à Compressão de Microconcretos para os traços controle, 10% e 30% de CFC, aos 7 e 28 dias de cura.



De maneira geral, os dados mostram que todos os traços apresentaram valores crescentes de resistência com a idade de cura. Além disso, observa-se que a substituição de cimento Portland por CFC resultou na redução da resistência dos microconcretos. Essa diferença é pouco menos expressiva quando são verificadas idades mais avançadas das misturas.

De fato, aos 7 dias de cura, enquanto houve uma redução de 21,0% nos valores de resistência para o traço com 10% de CFC em relação ao traço controle, para o traço com 30,0% de CFC esse valor está compreendido em torno de 48% de redução.

Por outro lado, aos 28 dias de cura, o traço com 10% de CFC apresentou uma redução de 17,7% em relação ao traço controle, enquanto que o traço com 30% de CFC apresentou redução de 39,3%.

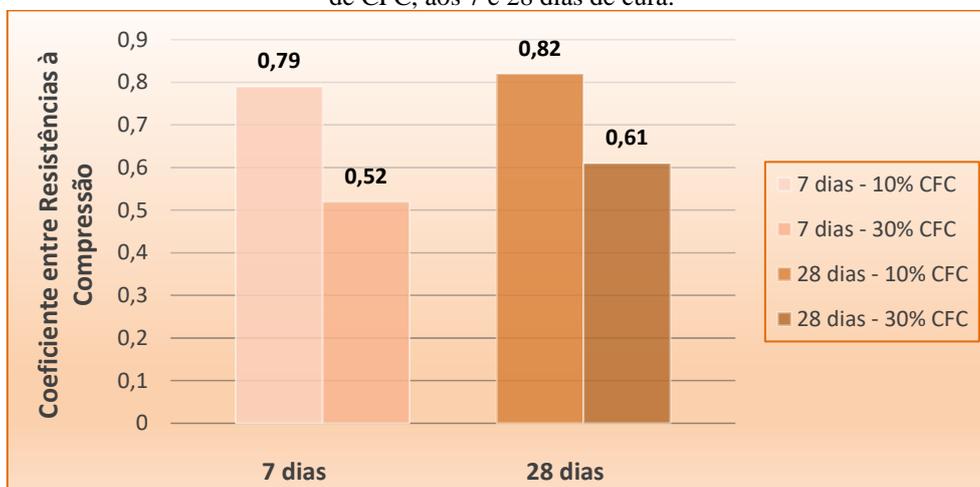
Estes dados podem indicar o caráter reativo da CFC mais tardio, em que as reduções de resistência à compressão em relação aos traços controle tendem a ser diminuídas com o avanço do tempo de cura.

Avaliando a porcentagem de ganho de resistência para os mesmos traços em relação ao tempo de cura, observa-se que as misturas controle apresentaram um ganho de 27% dos 7 para os 28 dias de cura. Ao mesmo tempo, este dado está compreendido em torno de 32,3% para as misturas com 10% de CFC e 47,4% para as misturas com 30% de CFC. Isso mostra que, quanto maior o consumo de CFC nas misturas de microconcreto, maior é o ganho de resistência ao longo do tempo de cura, indicando mais uma vez a característica de reatividade mais tardia da CFC.

#### 4.2 COEFICIENTE ENTRE RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DE MICROCONCRETOS

A Figura 3 apresenta os valores de Coeficiente entre Resistências à Compressão de Microconcretos, correspondente índice de Atividade Resistente (IAR) utilizado em argamassas de cimento Portland. Os resultados foram obtidos a partir dos dados de resistência à compressão, para as diferentes idades de cura dos microconcretos com CFC, em relação ao traço controle.

Figura 3 Coeficiente entre Resistências à Compressão de Microconcretos para os traços com 10% e 30% de CFC, aos 7 e 28 dias de cura.



Fazendo uma analogia entre as misturas de argamassa e microconcretos, a norma ASTM C-618 (2015) define um valor mínimo de IAR de 0,75 para classificar o material em estudo como pozolana de classe F, aos 7 e 28 dias de cura. Se estas condições fossem válidas para misturas de microconcreto, as dosagens estudadas com 10% de CFC em relação à massa de cimento Portland satisfariam os requerimentos da norma. Por outro lado, as misturas com 30% de CFC não estiveram de acordo com o limite estabelecido.

Assim como observado nos valores de resistência à compressão, os dados de coeficientes tendem a aumentar com o avanço do tempo de cura. Isso pode ser um indício de que os efeitos físicos regem em sua grande maioria os mecanismos de hidratação nas primeiras idades de cura, ao passo que os efeitos químicos podem ser mais pronunciados a longas idades de cura, após os 28 dias de cura.

## **5 CONCLUSÕES**

Este trabalho propõe a avaliação das propriedades pozolânicas da cinza dos fornos de cerâmica (CFC), por meio de ensaios mecânicos e a partir da produção de corpos de prova de microconcretos.

Apesar da inclusão de CFC ter resultado na redução da resistência à compressão dos microconcretos, as porcentagens de redução das resistências foram menos expressivas com o avanço do tempo de cura das amostras, indicando que a reatividade do material alternativo pode se comportar de maneira mais tardia. Além disso, o ganho de resistência com o tempo de cura foi incrementando à medida em que se aumentou o consumo de CFC.

Por meio da correlação entre os valores das resistências dos corpos de prova sem e com adição de CFC, foram constatados valores acima dos especificados por norma, demonstrando que a CFC não possui caráter de material inerte.

De maneira geral, o maior benefício será gerado pela substituição de 10%, em massa, de cimento Portland por cinza do resíduo dos fornos de cerâmica, uma vez que são observadas melhores propriedades mecânicas dos microconcretos produzidos, o que pode ser atribuído ao caráter reativo da cinza.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Câmpus Avançado Ilha Solteira, ao LEC - Laboratório de Engenharia Civil da UniToledo – Centro Universitário Toledo – Araçatuba - Brasil, além da empresa Cerâmica Urubupungá Ltda., pela doação dos resíduos dos fornos de cerâmica.

## REFERÊNCIAS

AMBIENTAL. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG - Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM. Belo Horizonte, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM: ASTM C 618: standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. New York, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7215: Cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019. 8 p.

D. C. C. DAL MOLIN. “Adições minerais”. In: G. C. Isaia, Ed., Concreto: ciência e tecnologia. S. Paulo: IBRACON, 2011.

E. GARCIA, M. CABRAL JUNIOR, V. A. QUARCIONI, F. F. CHOTOLI. Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de SP. Cerâmica, v.61, p.251-258, 2015.

SEBRAE. Indústria de Cerâmica – Ideias de Negócios Sustentáveis. Brasília, SEBRAE, 2012.