

**Artigos científicos /**  
Scientific articles

# OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARTEFATOS DE CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZAS PESADAS DE CARVÃO MINERAL

Cláudia Terezinha Kniess<sup>1</sup>, Carlindo Baeta de Oliveira<sup>1</sup>, Luciano Borgonovo<sup>2</sup>, Bruno Moreira de Aguiar<sup>3</sup>, Patrícia Bodanese Prates<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Ibirapuera

Av. Interlagos 1329 - São Paulo - SP

claudia.kniess@ibirapuera.br

<sup>2</sup>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI - SC

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN - SP

<sup>4</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

## Resumo

As características físicas, químicas e mineralógicas das cinzas pesadas de carvão mineral, geradas nas usinas termelétricas, são compatíveis com várias matérias-primas utilizadas nas indústrias cerâmicas, o que indica uma possibilidade de substituição parcial ou integral destas matérias-primas por este resíduo, formado majoritariamente por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e mullita ( $3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ). A possibilidade da utilização das cinzas pesadas de carvão mineral na produção de artefatos de cimento é uma alternativa para minimizar problema de meio-ambiente. Para isso, é necessário que o material apresente características competitivas e processo de produção economicamente viável. Este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade da utilização das cinzas de carvão mineral, estabilizadas com cal hidratada, como matéria-prima de baixo custo e alto valor agregado, reduzindo assim o impacto ambiental causado pela disposição do mesmo. Foram desenvolvidas duas formulações utilizando cinzas pesadas de carvão mineral e cal hidratada em diferentes percentuais. Os parâmetros experimentais variáveis foram o percentual de água utilizado na moldagem dos blocos, a pressão de conformação e o tempo de cura, buscando otimizar a condição que apresenta as melhores propriedades mecânicas.

**Palavras-chaves:** Cinza Pesada de Carvão Mineral, Blocos de Concreto, Propriedades Mecânicas.

## Abstract

The physical characteristics, chemistries and mineralogical of the mineral coal bottom ashes, generated in the thermal electric plant, are compatible with several raw materials used in the ceramic industries, what indicates a possibility of substitution partial or integral of these raw materials for this residue, formed for the most part by quartz ( $\text{SiO}_2$ ) and mullite ( $3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ). The possibility of the use of mineral coal bottom ashes in the production of concrete workmanships is an attractive alternative to minimize environment problems. For such, it is obviously necessary that the use of that residue as raw material leads to the production of a material with characteristics appropriate and economically competitive. This work has as objective verifies the possibility of use of the mineral coal bottom ashes, stabilized with moisturized whitewash, as raw material in the production of concrete blocks, seeking to reduce the environmental impact caused by the by-product and to join commercial value to the same. Two formulations were developed using coal bottom ashes and moisturized whitewash with percentiles different. The variable experimental parameters were the percentile of water used for the molding of the blocks, the conformation pressure and the cure period, looking for to optimize the condition with the best mechanical properties.

**Keywords:** Mineral Coal Bottom Ash, Concrete Blocks, Mechanical Properties.

---

---

## 1. Introdução

As características físicas, químicas e mineralógicas das cinzas de carvão mineral, geradas nas usinas termelétricas, são compatíveis com várias matérias-primas utilizadas nas indústrias cerâmicas (1), o que indica uma possibilidade de substituição parcial ou integral destas matérias-primas por este resíduo, formado majoritariamente por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e mulita ( $3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ). No caso brasileiro, um forte argumento para o uso de cinzas de carvão é a quantidade gerada pela combustão dos carvões nacionais (sub-betuminoso), que pode chegar a mais de 50% em massa (2).

Blocos de concreto são produtos a base de cimento que tem como função proporcionar à obra a vedação e resistência estrutural. O processo produtivo de bloco de concreto é bastante simplificado, pois se resume ao processo de mistura, prensagem e/ou moldagem e cura, sem passar por processo de queima, como acontece com os blocos cerâmicos, por exemplo.

A normalização brasileira define basicamente dois tipos de blocos de concreto, de acordo com sua aplicação: para vedação, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (3), e com função estrutural, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural (4).

Para a resistência à compressão e absorção de água a norma brasileira estabelece os limites:

- Bloco Estrutural – resistência à compressão superior a 4,5 MPa e absorção de água menor ou igual a 10 %.
- Bloco de Vedação – resistência à compressão superior a 2,5 MPa e absorção de água menor ou igual a 15 %.

Dentro deste contexto, este trabalho tem foco no desenvolvimento tecnológico de um processo para a utilização industrial das cinzas pesadas de carvão mineral, geradas nas usinas termelétricas, como matéria-prima de baixo custo e alto valor agregado, adaptável aos processos de fabricação de artefatos de cimento.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Caracterização das Matérias-Primas

A cinza pesada de carvão mineral utilizada neste trabalho, produto resultante da combustão do carvão mineral sub-betuminoso, é proveniente da bacia de decantação do Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, situado no município de Capivari de Baixo, SC.

O lote de cinza pesada bruta utilizado foi submetido à secagem em estufa a 110°C durante 24 horas. Foi utilizada a cal hidratada tipo CH III proveniente da indústria de cal Gulin Ltda, situada no Estado do Paraná. A cal hidratada foi seca em estufa com temperatura de  $100 \pm 10$  °C por um período de 72 horas e apresentou apenas 1% de umidade. Em seguida foi misturada e armazenada em embalagem plástica de forma que não absorvesse umidade, pois trata-se de um material higroscópico.

O ensaio de distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas foi realizado via seco, onde foi verificado o percentual de material retido e acumulado por malha em peneira.

A determinação da composição química do subproduto industrial foi efetuada num espectrômetro de FRX Philips PW 1400 com ampola de Rh. Para a obtenção da amostra vítrea utilizou-se uma mistura de tetraborato de lítio e metaborato de lítio como fundente. Os elementos traços foram determinados por Absorção Atômica.

A análise mineralógica da cinza pesada de carvão mineral foi realizada através do método do pó. O equipamento utilizado foi um difratômetro Philips, modelo X'Pert, com radiação cobre  $K\alpha$  ( $\lambda = 1,54056$  Å), filtro de níquel na ótica secundária, potência de 40 kV e 30 mA e fenda de divergência de 1°. O subproduto foi moído em almofariz, peneirado e separadas as frações com granulometria inferior a 45  $\mu\text{m}$ . As condições de análise foram: passo de 0,02°, tempo de passo de 2s e intervalo de medida, em  $2\theta$ , de 10 a 90°.

---

## 2.2 Obtenção dos Blocos de Concreto

Foram desenvolvidas duas formulações utilizando cinza pesada (CP) e cal hidratada (CH), onde houve a necessidade de variar o percentual de água utilizado para moldagem, a pressão de prensagem e ainda o período de cura, buscando a melhor formulação através das variáveis de processos sugeridas nesta pesquisa, conforme ilustra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Formulações dos blocos de concreto e variáveis do processo de fabricação.

MP	F - 01 (%)			F - 03 (%)		
CP	90	90	90	70	70	70
CH	10	10	10	30	30	30
Total	100	100	100	100	100	100

Variável	F - 01 (%)			F - 03 (%)		
Água	10	10	10	10	10	10
	15	15	15	15	15	15
	20	20	20	20	20	20

Variável	F - 01 (kgf/cm <sup>2</sup> )			F - 03 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Pressão	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200

Corpo Prova	F - 01			F - 03		
Peças	15	15	15	15	15	15
	15	15	15	15	15	15
	15	15	15	15	15	15
Total	45	45	45	45	45	45

Cura	F - 01 (dias)			F - 03 (dias)		
Período	10	20	30	10	20	30

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Caracterização das Matérias-Primas

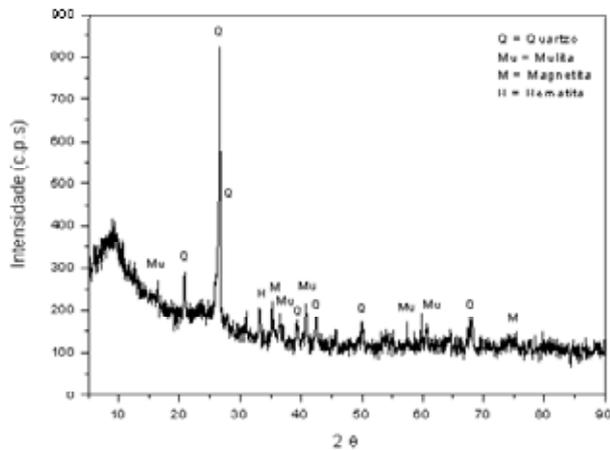
A análise química da cinza pesada de carvão mineral, realizada através da técnica de Fluorescência de raios X, está apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2** - Análise química, em óxidos, da cinza pesada de carvão mineral.

Constituintes	Cinza Pesada (%)
SiO <sub>2</sub>	54,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,61
CaO	2,26
MnO	0,03
MgO	1,41
TiO <sub>2</sub>	0,91
Na <sub>2</sub> O	0,86
K <sub>2</sub> O	0,95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22
Perda ao Fogo	8,52

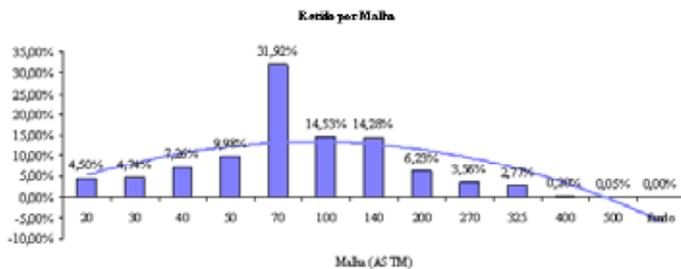
Os constituintes majoritários da cinza pesada de carvão mineral são SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sendo que os dois primeiros representam cerca de 80% do total da composição. Os percentuais de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e outras impurezas presentes na cinza pesada são baixos. Observa-se a presença de alguns constituintes minoritários como o CaO, MgO e TiO<sub>2</sub>.

A Figura 1 apresenta o difratograma de raios X da cinza pesada de carvão mineral. As fases cristalinas presentes foram indentificadas utilizando os bancos de dados JCPDS (5) e ICSD (6). A análise do difratograma mostra que a cinza pesada é formada pelas fases cristalinas quartzo (SiO<sub>2</sub> - JCPDS 5-490), mulita (Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>13</sub> - JCPDS 15-776), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - JCPDS 19-629) e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - JCPDS 13-534).



**Figura 1** – Difratograma de raios X da cinza pesada de carvão mineral.

A Figura 2 apresenta o percentual de material cinza pesada de carvão mineral retido por malha.



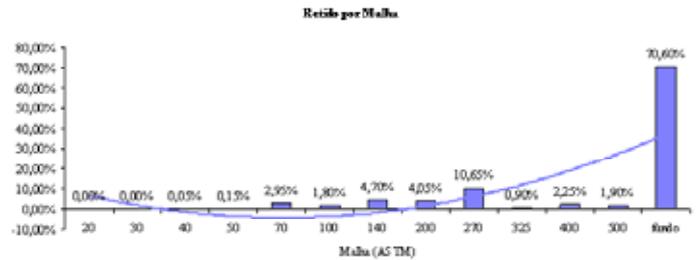
**Figura 2** – Distribuição de tamanho de partículas das cinzas pesadas de carvão mineral: material retido por malha.

A análise química da cal hidratada foi fornecida pelo fabricante, conforme disposto na Tabela 3.

**Tabela 3** - Análise química, em óxidos, da cal hidratada utilizada.

Óxidos	(%)
CaO	57,60
MgO	37,65
CO <sub>2</sub>	4,76

A Figura 3 apresenta o ensaio de distribuição de tamanho de partículas da cal hidratada, onde foi verificado o percentual de material retido por malha.

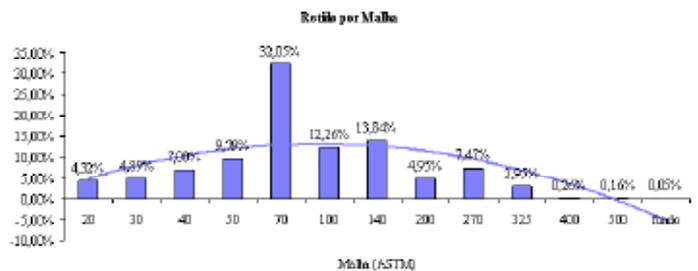


**Figura 3** – Distribuição de tamanho de partículas da cal hidratada: material retido por malha.

### 3.2 Caracterização dos Materiais Desenvolvidos

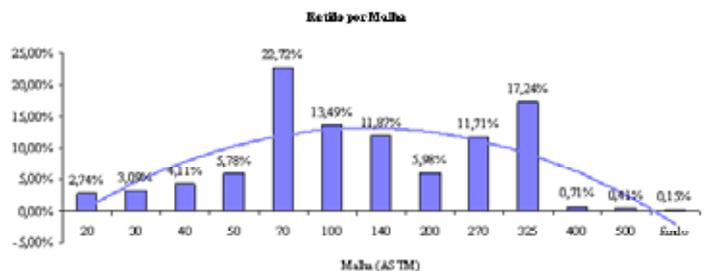
#### 3.2.1 Distribuição do Tamanho de Partículas das Formulações

A Figura 4 apresenta o percentual de material retido por malha da formulação F-01. Nota-se um pico de 30,05% na malha 70 mesh e um vale na malha 200 mesh de percentual igual a 4,95%, ou seja, há uma falha na distribuição. Esta falha pode prejudicar o empacotamento e conseqüentemente as características do produto final.



**Figura 4** – Distribuição de tamanho de partículas da formulação F- 01: material retido por malha.

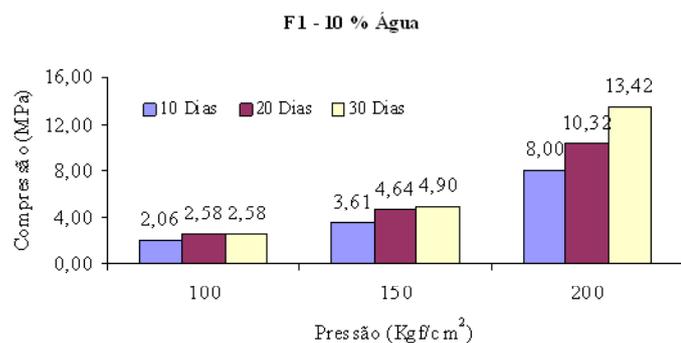
A Figura 5 mostra o percentual de material retido por malha da formulação F-03, que apresentou um pico na malha 70 mesh de 26,72%. A F-03 apresentou ainda um vale na malha 200 mesh de 5,98% e um segundo pico na malha 325 mesh de 17,24%. O deslocamento da curva ocorreu devido à maior concentração de cal hidratada na formulação F-03.



**Figura 5** – Distribuição de tamanho de partículas da formulação F- 03: material retido por malha.

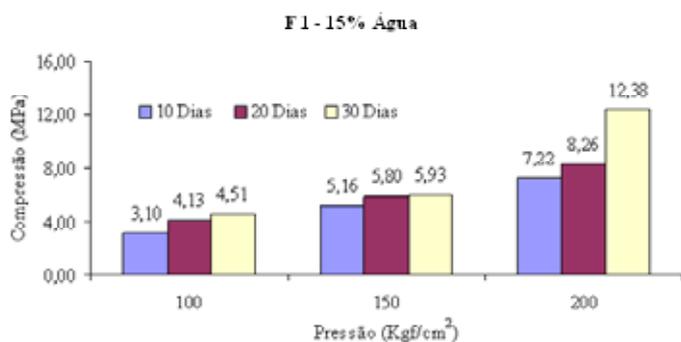
### 3.2.2 Resistência Mecânica à Compressão

A Figura 6 mostra os resultados de resistência mecânica à compressão da formulação F-01, utilizando 10 % de água para prensagem, com diferentes períodos de cura. Através do gráfico, fica evidente que ao elevar a pressão de prensagem e o período de cura eleva-se a resistência à compressão para todos períodos de cura utilizados.



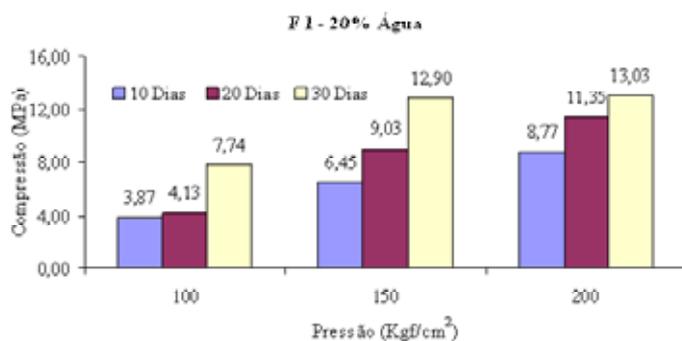
**Figura 6** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-01 com a adição de 10% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.

A Figura 7 apresenta os resultados de resistência mecânica à compressão da formulação F-01, utilizando 15 % de água para prensagem, com diferentes períodos de cura. Neste caso percebe-se uma pequena melhora nos resultados de resistência a compressão, com exceção das peças prensadas com 200 Kgf/cm<sup>2</sup> e curadas por 30 dias, que apresentaram valores menores que o esperado.



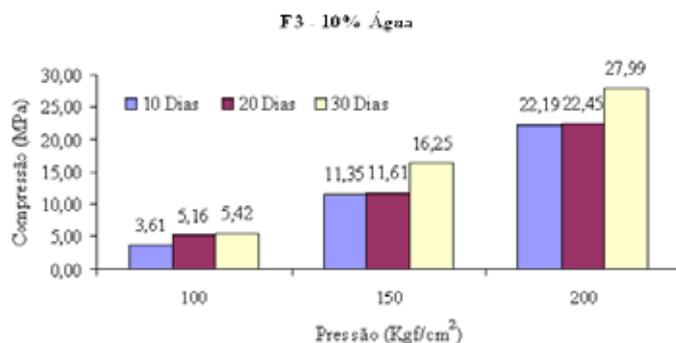
**Figura 7** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-01 com a adição de 15% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.

A Figura 8 mostra os resultados de resistência mecânica à compressão da formulação F-01, utilizando 20% de água para prensagem. Percebe-se que houve uma boa melhora nos resultados de resistência a compressão, pois apresentaram valores superiores aos dos dois gráficos anteriores.

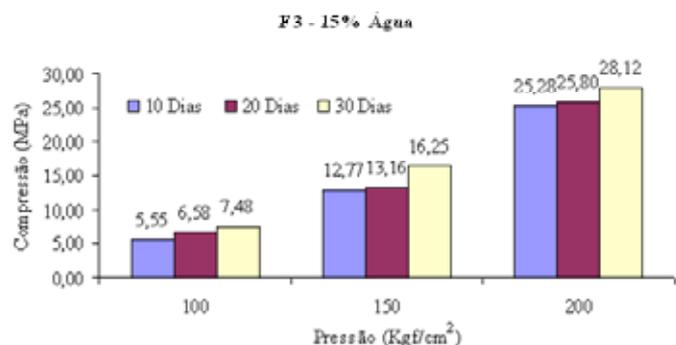


**Figura 8** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-01 com a adição de 20% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.

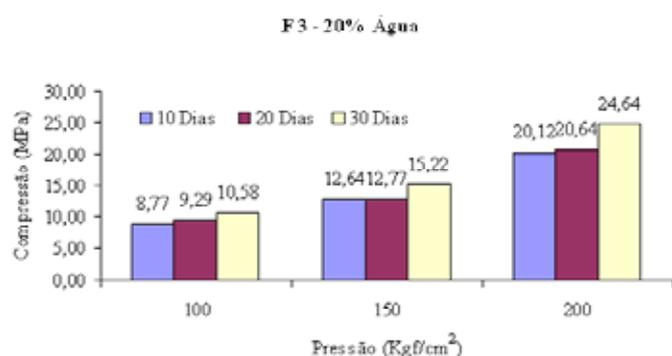
As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os resultados de resistência mecânica à compressão da formulação F-03, utilizando 10 %, 15% e 20% respectivamente de água para prensagem. A formulação F3 foi a que apresentou os maiores valores de resistência a compressão das formulações analisadas dentro das condições estabelecidas.



**Figura 9** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-03 com a adição de 10% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.



**Figura 10** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-03 com a adição de 15% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.



**Figura 11** - Resistência mecânica à compressão para a formulação F-03 com a adição de 20% de água e tempos de cura de 10, 20 e 30 dias.

4. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas - NBR 6136/80 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro; 1980
5. JCPDS - Joint Committee of Powder Diffraction Standards. International Centre for Diffraction Data. Pennsylvania, USA; 1981.
6. ICSD - Inorganic Crystal Structure Database. Gmchin-Intitut fur Anorganische Chemie and Fachinformationzentrum FIZ. Karlsruhe, Germany; 1995.

#### 4. Considerações Finais

O desenvolvimento deste trabalho comprovou a viabilidade de utilizar o resíduo da combustão do carvão mineral na obtenção de blocos de concreto. Através dos resultados obtidos constatou-se que a resistência à compressão dos blocos de concreto formulados com cinza/cal (F-3) apresentaram valores superiores da norma NBR 7173/82.

Pode-se concluir ainda que a cal hidratada é um bom aglomerante, mas necessita de um período cura mais longo devido sua cura ser aérea e não hidráulica como a do cimento. Embora o uso da cal necessite de cuidados especiais, este se justifica pelo baixo custo se comparado com o cimento, além de ser menos nocivo ao meio ambiente.

#### 5. Referências Bibliográficas

1. Chies, F, Zwonok, O, SILVA, N, W. Desenvolvimento de blocos e tijolos a partir de cinzas de fundo. Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção habitacional. v.4; 1995.
2. Pozzobon, C. E. Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis; 1999.
3. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7173/82 - Blocos vazados de concreto de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro; 1980.