

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DO RESÍDUO SIDERÚRGICO PÓ DE BALÃO EM MASSAS CERÂMICAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS ESTRUTURAIIS\*

Maria Luiza da Silva Monteiro<sup>1</sup>  
César Augusto de Oliveira Gomes<sup>2</sup>  
Sérgio Neves Monteiro<sup>3</sup>  
Alisson Clay Rios da Silva<sup>4</sup>  
Verônica Scarpini Cândido<sup>5</sup>

### Resumo

A indústria metalúrgica gera uma variedade de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas nas suas diversas etapas de processamento. Um dos resíduos gerados pelo setor siderúrgico é o pó de balão que é formado por óxidos de ferro nas formas FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. O pó de balão ainda é pouco utilizado em tentativas de reaproveitá-lo como co-produto, embora possa ser aglomerado por sinterização e adicionado às matérias-primas no alto-forno. Desta forma, a adição de resíduos em cerâmica vermelha, atualmente, apresenta-se como uma das principais soluções tecnológicas para a disposição final de resíduos sólidos industriais. A incorporação do pó de balão em massas de cerâmicas requer uma análise de composição química e mineralógica para obter formulações específicas, que colaborem na busca da melhoria das propriedades dos materiais fabricados. Tendo em vista as suas diversas propriedades, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação de 5, 10 e 15% em peso do resíduo pó de balão, em massa argilosa composta por argila forte e argila fraca, para a produção de bloco estrutural cerâmico.

**Palavras-chave:** Pó de balão, bloco estrutural cerâmico, resíduos.

### MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF STEEL BALLOON POWDER RESIDUE IN CERAMIC MASS FOR PRODUCTION OF STRUCTURAL BLOCKS

#### Abstract

This industry generates a variety of solid wastes, liquid effluents and gaseous emissions in its various processing steps. One of the residues generated by the steel industry and the balloon powder that is formed by iron oxides in FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> forms. Balloon powder is still little used in attempts to reuse it as a co-product, although it can be pelleted by sintering and added to the raw materials in the blast furnace. In this way, the addition of waste in red ceramics is currently one of the main technological solutions for the final disposal of industrial solid waste. The incorporation of the balloon powder in red ceramic masses requires an analysis of chemical and mineralogical composition to obtain specific formulations that collaborate in the search of the improvement of the properties of the manufactured materials. The purpose of this study was to evaluate the effect of the incorporation of 5, 10 and 15% by weight of the residue of the balloon powder into a clay mass composed of strong clay and weak clay, for the production of a structural block ceramic.

**Key words:** Balloon powder, ceramic structural block, waste.

<sup>1</sup> Graduanda de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais Universidade Federal do Pará, Ananindeua-PA, Brasil.

<sup>2</sup> Graduação de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais Universidade Federal do Pará, Ananindeua-PA, Brasil.

- <sup>3</sup> *Graduação em Engenharia Metalúrgica, Doutor em Materials Science And Engineering, Professor Titular do Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Graduação em Química Industrial, Doutor em Ciências dos Materiais, Conselho Superior de Ensino e Pesquisa, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-PA, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Graduação em Ciências Biológicas, Doutora em Ciência dos Materiais, Professora adjunta da Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-PA, Brasil.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria do aço desempenha cinco principais atividades: fundição, produção de metais não ferrosos, produção de ferro-ligas e ferro-gusa, fabricação de tubos e siderurgia. O setor siderúrgico é um ramo da metalurgia que está ligada à fabricação e tratamento de aços e ferros fundidos, é um importante fornecedor de insumos para vários outros setores da indústria de transformação, principalmente para a construção civil. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017).

A indústria siderúrgica gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, como efluentes líquidos e emissões gasosas que poluem o meio ambiente em varias etapas de seu processo produtivo industrial. Para cada tonelada de aço produzido se gera em torno de 607 kg de resíduos de diferentes tipos como escórias, pós, lamas e carepas. Dependendo do tipo de resíduo, ele pode retorna ao processo industrial, como fonte de energia ou como matéria-prima para a produção de aço, ou comercializado como co-produto para outras atividades industriais (VIEIRA *et al.*, 2007).

Um dos resíduos gerados pelo setor siderúrgico e o pó de balão, oriundo do sistema de limpeza de gases a seco, é um material particulado captado no alto-forno pelo sistema de despoeiramento chamado balão gravitacional. O pó de balão é formado por óxidos de ferro nas formas FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, identificadas como wustita, hematita e magnetita, respectivamente (MALARD, 2009).

A utilização de resíduos em cerâmica vermelha vem se mostrando como uma solução ambientalmente correta para o reuso de resíduos sólidos industriais. As características naturais das argilas associada a técnicas de processamento cerâmico relativamente simples, é o baixo desempenho tecnológico exigido para a fabricação dos produtos, possibilita a presença de níveis de impurezas relativamente elevados. Podendo incorporar outros tipos de materiais das diversas fontes de geração de resíduos (VIEIRA *et al.*, 2007).

A incorporação do pó de balão em massas de cerâmica vermelha requer uma análise de composição química e mineralógica para obter formulações específicas, que colaborem na busca da melhoria das propriedades dos materiais fabricados. A caracterização físico-química das matérias-primas é fundamental para a obtenção de peças com propriedades finais desejadas, que juntamente ao conhecimento e controle de todas as etapas do processo industrial, podem eliminar ou reduzir os defeitos de fabricação, tais como: trincas, retração, absorção de água e resistência mecânica (OLIVEIRA, HOLANDA, 2003).

Este trabalho tem por objetivo de avaliar o efeito da incorporação de 5, 10 e 15% em peso do resíduo pó de balão proveniente de uma siderúrgica localizada no sudeste do estado do Pará, em massa argilosa composta por argila forte e argila fraca, cedida pela Cerâmica Menegalli, empresa situada no município de São Miguel do Guamá-PA, para a produção de bloco estrutural cerâmico.

## 2. MATERIAIS E METODOS

Foram utilizadas neste estudo as seguintes matérias primas: argila forte (AFO), argila fraca (AFR) e resíduo siderúrgico pó de balão (PB).

As argilas utilizadas foram obtidas da Cerâmica Menegalli, localizada no município de São Miguel do Guamá-Pa. O resíduo siderúrgico Pó de Balão foi fornecido por uma indústria siderúrgica integrada localizada no sudeste do estado do Pará.

### 2.1. Beneficiamento dos materiais

A argila forte, argila fraca e o pó de balão foram colocados em estufa a aproximadamente 110°C por 24 horas, em sequência, foram desagregados em um moinho de bolas. Posteriormente os materiais foram passados em peneira de malha de nº 80 mesh (abertura 0,180 mm). A composição das formulações da massa cerâmica com a incorporação de Pó de balão foi de 0, 5, 10 e 15% em peso de PB, estas foram umedecidas com 8% em peso de água.

Os corpos de provas foram conformados utilizando a técnica de conformação por prensagem uniaxial a frio. Passaram pelo processo de secagem em estufa por 24h em aproximadamente 110° C, sinterização em forno tipo mufla com patamar de queima de 2 horas, em três temperaturas distintas, 850, 950 e 1050°C com uma taxa de aquecimento de 2°C/min.

### 2.2. Caracterização dos materiais

As características da composição mineralógica e químicas das argilas e do resíduo foram determinadas com auxílio de técnicas de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) para a verificação dos teores de óxidos constituintes nas amostras. DRX, para determinação do grau de cristalinidade, identificação e quantificação das fases cristalinas e MEV, para identificação da microestrutura.

### 2.3. Análise química

As identificações das argilas forte e fraca foram realizadas em espectrofotômetro de raios-x (EDS). As amostras foram examinadas por difração de raios-x (DRX) em um intervalo de 2θ entre 0 e 60°, a uma taxa de varredura de 8°/min.

O resíduo pó de balão foi ensaiado utilizando o difratômetro de Raios-X Empyrean, da marca Planáltica, com Goniômetro  $\theta - \theta$  e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Co ( $K\alpha_1 = 1,78901 \text{ \AA}$ ), foco fino longo de 1800W e filtro  $k\beta$  de Fe.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) das argilas e do pó de balão foram realizadas utilizando um microscópio eletrônico de varredura de bancada Hitachi PAnalytical TableTop SEM TM3030.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados da fluorescência de raios-x da Argila Forte e Argila Fraca e do resíduo siderúrgico Pó de balão.

**Tabela 1-** Composição química da Argila Forte, Argila Fraca e do Pó de balão.

Componentes	% em peso		
	AFO	AFR	PB
SiO <sub>2</sub>	59,03	66,39	3,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,75	18,74	1,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,09	7,75	37,2
TiO <sub>2</sub>	1,80	1,63	0,18
MnO	-	0,65	0,41
MgO	-	-	0,39
CaO	-	0,97	6,90
K <sub>2</sub> O	3,31	4,36	0,42
SO <sub>3</sub>	-	-	0,60
ZnO	-	-	0,18
Cl	-	-	0,22
PF	12,19	5,38	48,01

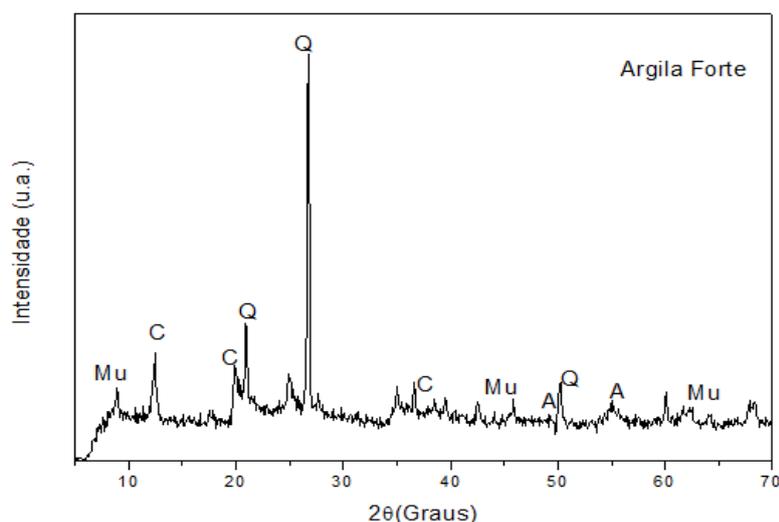
Observa-se que tanto a argila forte quanto argila fraca apresentam bastante similaridade em sua composição química, sílica (SiO<sub>2</sub>) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) como óxidos predominantes, também apresentam um bom teor de óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que proporciona o tom avermelhado após a queima, possibilitando a aplicação em cerâmica vermelha. É possível notar baixo teor de óxidos fundentes (K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) os fundentes têm como objetivo principal a formação de fase líquida, necessária para uma densificação acentuada das cerâmicas após o processo de queima, ajudando na consolidação das partículas. Esses baixos teores apresentados pelas argilas forte e fraca podem afetar diretamente o processamento cerâmico, aumentando a temperatura de queima e a porosidade do produto que se deseja fabricar (VIEIRA *et al.*, 2005).

Nas duas amostras de argila estudadas se observa uma elevada perda ao fogo (PF), com maior variação para a argila forte por conter maior quantidade de argilominerais, isto ocorre devido à perda de água de constituição dos argilominerais, desidratação de hidróxidos, oxidação de matéria orgânica e decomposição de carbonatos (RACANELLI, 2017).

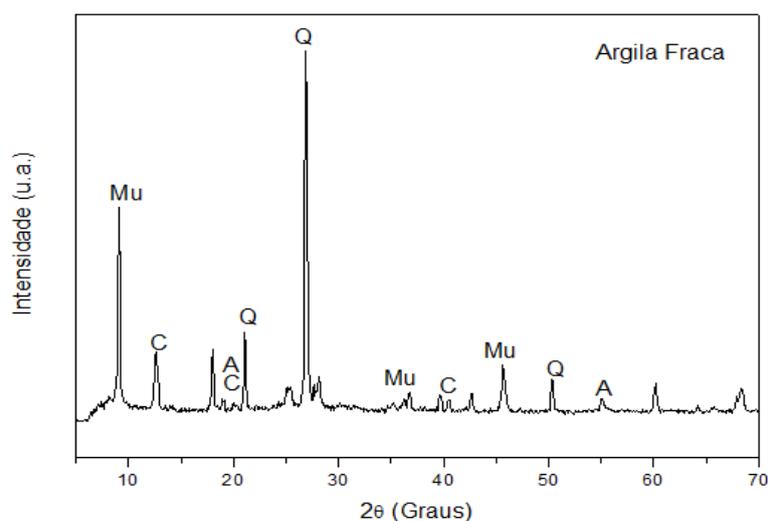
Ao analisar a composição química do resíduo siderúrgico Pó de balão (PB) nota-se elevados teores de óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que está intimamente ligado à presença da hematita, que é oriunda do pó de minério, presente na carga ferrosa que foi carregada no topo do alto forno, sendo arrastada pelos gases ascendentes durante sua descida. A presença de óxidos de ferro contribui para conferir à cerâmica queimada uma coloração avermelhada (SILVA, 2016).

Observa-se também um elevado percentual de PF (48,01%), que estar associado à presença de finos de carvão vegetal em sua composição.

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os difratogramas de raios-x das argilas forte (AFO) e fraca (AFR) e do resíduo siderúrgico pó de balão (PB) respectivamente.



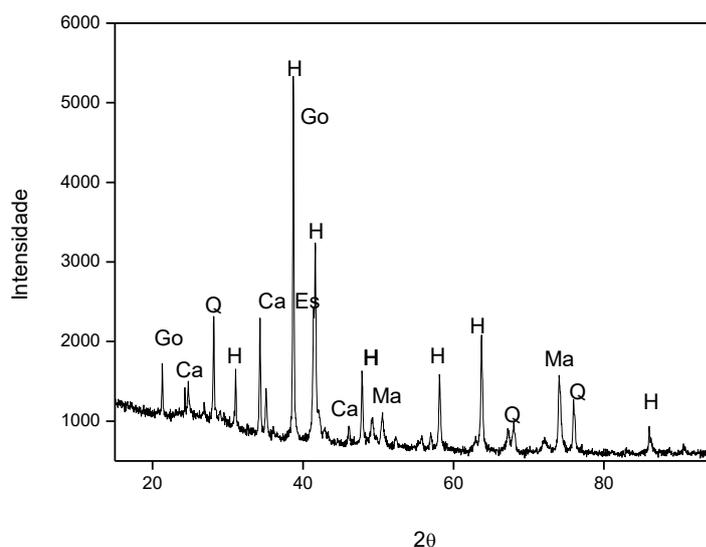
**Figura 1** - Difratograma de raios-x da AFO. (C = caulinita; Q = quartzo; Mu = mica muscovita; A= anatásio).



**Figura 2** - Difratograma de raios-x da AFR. (C = caulinita; Q = quartzo; Mu = mica muscovita; A = anatásio).

Verificam-se diferentes fases cristalinas presentes nas argilas forte e fraca como: caulinita, quartzo, mica muscovita e anatásio.

Constata-se que os picos mais intensos na argila forte são os de quartzo e a caulinita, indicando que estes são os principais argilominerais que compõe a argila, enquanto que na argila fraca observam-se picos maiores de quartzo e mica muscovita. A caulinita é um dos minerais responsáveis pelo desenvolvimento da plasticidade da argila em mistura com água, podendo também indicar um comportamento de queima refratário (MACEDO *et al.*,2008).

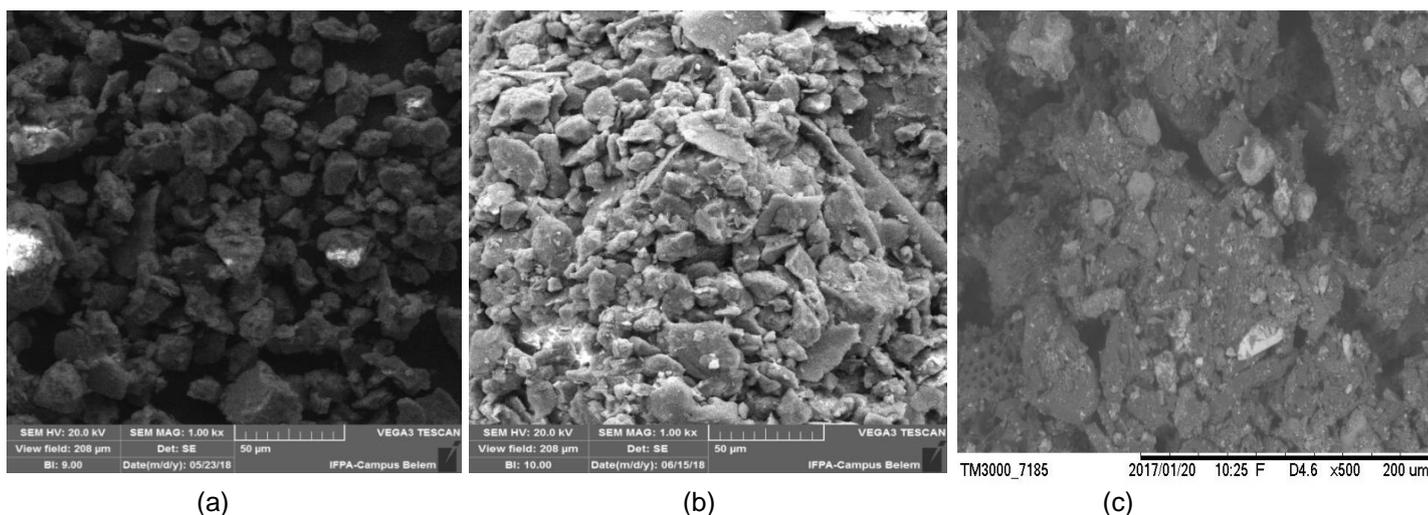


**Figura 3** - Difratoograma de raios-x do pó de balão. Ca: calcita; Es = espínélio; Go = goetita; H = hematita; M = magnetita; Q = quartzo.

A análise por difratometria de raios-x do pó de balão revelou a presença de fases como a hematita, e magnetita que estão associadas a compostos de ferro. Além dessas fases associadas a óxidos de ferro, fases como calcita e quartzo também foram observadas.

Ao correlacionar a fluorescência de raios-x com a difração de raios-x do pó de balão pode-se afirmar que a elevada perda ao fogo das amostras analisadas está relacionada à decarbonetação da calcita além da desidroxilação e/ou desidratação da goethita.

Na Figura 4 são apresentadas as micrografias obtidas por MEV das matérias-primas. Argila forte (a) fraca (b) e do resíduo pó de balão (c) respectivamente.



**Figura 4** - Micrografias obtidas por MEV das matérias-primas. Argila forte (a) fraca (b) e do resíduo pó de balão (c).

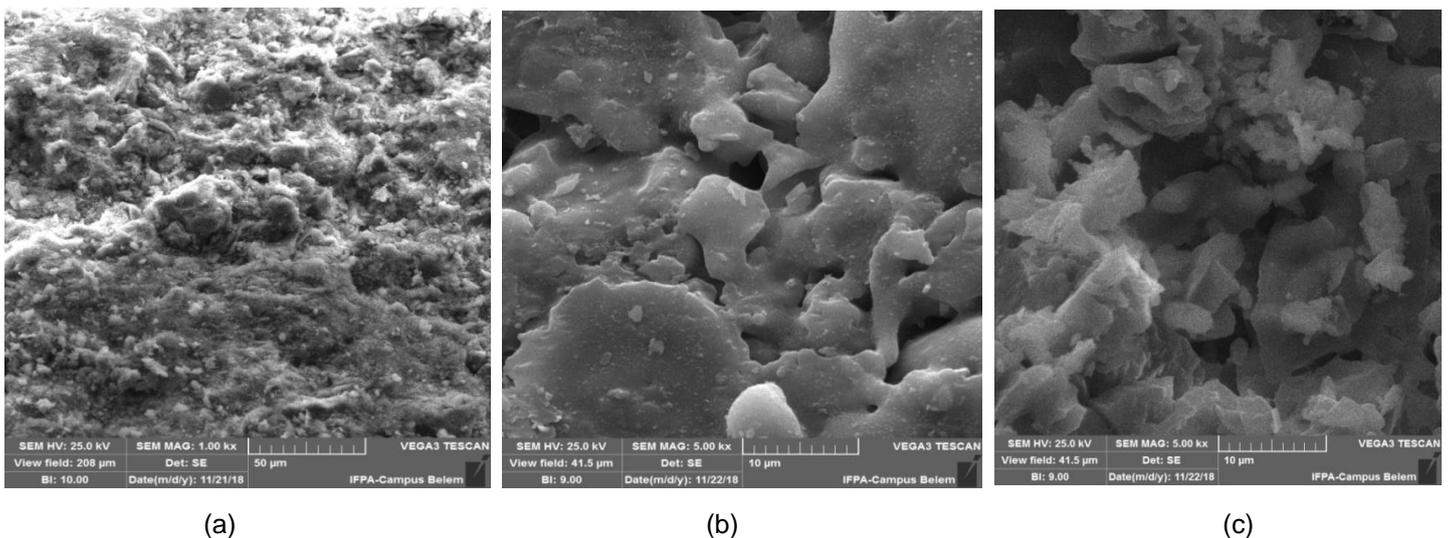
Observa-se que as argilas forte e fraca apresentam pequenas partículas em formas hexagonais associadas, provavelmente, a caulinita, argilomineral presente nas argilas (VIEIRA *et. al.*, 2005). Nota-se que o pó de balão é composto por partículas mais claras que podem estar associadas ao quartzo e partículas de coloração mais escuras que podem estar associadas ao ferro. Observa-se também que as partículas não apresentam um padrão morfológico. Dessa forma, a caracterização do pó de balão revelou que esse resíduo pode ser um material que pode contribuir para intensificar a cor das cerâmicas queimadas e, pode contribuir para melhorar o desempenho tecnológico das peças.

Nos resultados de queima a 950°C (Figuras 5, 6, e 7) mostram as micrografias obtidas por MEV da região da fratura dos corpos de provas com adição de 5, 10 e 15% de resíduo com aumento 5.000 vezes, respectivamente.

Pode observar que todas as cerâmicas apresentam uma textura rugosa e microestrutura com elevada quantidade de defeitos, sobretudo, poros de elevado tamanho e interconectados.

As cerâmicas com 5 e 10% de resíduo apresentaram maior consolidação da fase líquida, principal mecanismo para a consolidação microestrutural da cerâmica, ainda não foi suficiente para eliminar a porosidade aberta em algumas regiões.

Nas amostras com 15 % pode-se observar uma superfície mais densa que as anteriores, devido à presença de maior quantidade de resíduo, já que o pó de balão apresenta óxidos fundente em sua constituição.



**Figura 5** - Micrografia obtida por MEV com 5 % (a), 10% (b) e 15% (c) de resíduo com aumento 5.000 vezes.

#### 4. CONCLUSÃO

A caracterização do pó de balão revelou que o resíduo é rico em óxidos de ferro. As fases cristalinas presentes são hematita, a magnetita e goetita, todas associadas ao ferro, calcita associada ao óxido de cálcio e quartzo relacionado à Sílica. Pode-se inferir que a incorporação do resíduo siderúrgico, pó de balão, em massa cerâmica argilosa é favorável para a produção de bloco estrutural cerâmico, sendo a composição com 10% de resíduo sinterizado a 950°C é a mais indicada.

Os ensaios de caracterização das argilas forte e fraca demonstram que elas são constituídas por caulinita, quartzo, mica muscovita e anatásio. As argilas estudadas podem ser classificadas como cauliniticas, ajudando a desenvolver uma boa plasticidade nas massas cerâmicas, já que os argilominerais são responsáveis pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com a água.

#### REFERÊNCIAS

1. ETENE/BNB. Informe Setorial Cerâmica Vermelha. Outubro, 2010. INSTITUTO AÇO BRASIL - Preliminar Estatístico, Disponível: <http://www.intitutoaçoabrasil.com.br>. Acesso em 10 de Dezembro 2018.
2. MACEDO, R. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos. *Cerâmica*, v. 54, p. 371-381, 2008.
3. MALARD, Antônio Augusto Melo. Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do estado de Minas Gerais. 109. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009. Cap. 7.
4. OLIVEIRA, M. R. C; MARTINS, J. (2003) Caracterização e classificação do resíduo sólido "pó de balão" gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: estudo de um caso na região de Sete Lagoas/ MG. *Química Nova*, 26 (1): 5-9.
5. RACANELLI, L. A. Caracterização e determinação das propriedades tecnológicas de massas argilosas para fabricação de blocos de vedação. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém – PA, 2017. Cap. 4.
6. SILVA, H. P. S. Efeito da adição de pó de balão na combustibilidade do carvão pulverizado injetado no alto-forno. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Ciências de Materiais, Programa de Pós-graduação em Ciências – FIMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2016. Cap. 2.
7. VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C. M.; VASCONCELOS, A. M.; SÁNCHEZ, R. J.; MONTEIRO, S. N. Incorporação de lama de alto-forno em cerâmica vermelha. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, Salvador. Anais do 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Paulo: Tecart, v. 1. p. 1-12, 2007.
8. VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. DUALIBI F. J. (2005). Considerações sobre o uso da granulometria como parâmetro de controle de uma argila sedimentar. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 10, n.1, p. 23-26.