

## O EFEITO DO CORAÇÃO NEGRO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS EM CORPOS DE PROVA DE CERÂMICA VERMELHA

R. S. Macedo<sup>1</sup>; R. R. Menezes<sup>1</sup>; T. D. A. Silva<sup>2</sup>; A. S. Silva<sup>2</sup>; L. V. Cesário<sup>2</sup>  
Av. Aprígio Veloso, 882  
58429-900 – Campina Grande – Paraíba  
E-mail: [reginaldo@dema.ufcg.edu.br](mailto:reginaldo@dema.ufcg.edu.br)  
Universidade Federal de Campina Grande

<sup>1</sup>Profs. da Unid. Acadêmica de Engenharia de Materiais

<sup>2</sup>Alunas do curso de Eng. de Materiais da UFCG

### RESUMO

*A matéria-prima das cerâmicas vem da crosta terrestre, e essa por sua vez é formada por apreciáveis quantidades de substâncias capazes de reagir com o oxigênio quando atinge elevada temperatura. Essas substâncias são principalmente carbono e matéria orgânica, enxofre e seus derivados e alguns óxidos metálicos (principalmente o ferro). Por isso é necessário realizar a sinterização desses materiais em atmosferas ricas em oxigênio em temperatura média de queima para que essas substâncias oxidem, do contrário, forma-se uma região escura ao longo do corpo cerâmico denominada de coração negro. O qual é um defeito visível encontrado em produtos cerâmicos, pois os mesmos podem inchar, trincar, formar bolhas, principalmente, devido ao reduzido e inadequado ciclo de queima e de compactação. Este trabalho tem como objetivo analisar as características físico-mecânicas em corpos de prova extrudados de duas amostras de argilas vermelhas. Para viabilizar o estudo, as amostras foram ensaiadas conforme a metodologia proposta por Souza Santos <sup>(1)</sup> e corpos de prova foram conformados por extrusão e submetidos a diferentes curvas de queima para determinação das propriedades físico-mecânicas. Os resultados mostram que os corpos de prova ensaiados apresentam características físico-mecânicas alteradas, tais como: trincas, bolhas, variações geométricas e dimensionais.*

**Palavras-chave:** *coração negro, cerâmica vermelha, ciclo de queima.*

## INTRODUÇÃO

No processamento de produtos da cerâmica vermelha, destaca-se a queima, etapa na qual ocorrem transformações estruturais (físicas e químicas), tais como: perda de água adsorvida, desidroxilação, consolidação do formato da peça e formação de novas fases cristalinas, que são determinantes para as propriedades físico-mecânicas do produto final.

A argila é a matéria-prima utilizada na fabricação de uma série de produtos cerâmicos, isto ocorre devido as suas diversas características como a plasticidade, a retração, a porosidade e a resistência mecânica. É possível se fabricar produtos com propriedades bem diversificadas, dependentes da relação quantitativa entre materiais plásticos, principalmente, argilominerais e materiais não plásticos <sup>(2)</sup>.

O comportamento das diferentes matérias-primas frente à ação do calor irá definir, em muitos casos, a tipologia de produto a serem fabricadas, suas características técnicas e as variáveis de queima empregadas, isto é, temperatura máxima de queima e a duração do ciclo de queima <sup>(3)</sup>.

A presença de coração negro em peças cerâmicas é relativamente comum. Muito embora, a literatura sobre essa característica seja bastante abundante, praticamente todos os livros de cerâmica se referem a ele e trazem “receitas” para a sua eliminação, a sua ocorrência ainda é muito comum hoje em dia.

A Figura 1 registra a presença de coração negro em um corpo de prova cerâmico, o qual consiste em uma região escura que se estende paralelamente à face e próxima a meia altura da espessura, ao longo da peça. A região escura geralmente desaparece nas proximidades das bordas da peça.



Figura 1 – Presença de coração negro em corpo de prova de cerâmica vermelha.

Algumas das principais consequências danosas da presença do coração negro, que justificam os esforços para evitá-lo, são <sup>(4)</sup>:

- Inchamento das peças;
- Deformações piropásticas;
- Deterioração das características técnicas;
- Deterioração das características estéticas.

A origem do coração negro está associada à presença de compostos de carbono (matéria orgânica) e óxidos de ferro nas argilas, que segundo estudos realizados por <sup>(5)</sup>, em resumo pode-se afirmar que as principais reações responsáveis pelo desenvolvimento do coração negro são:

- A matéria orgânica sofre uma carbonização ou pirólise, catalizadas pelo silicato de alumínio também presente nos argilominerais e se transforma em coque (C).

Matéria orgânica → C (coque) + CO (gás)↑ + CO<sub>2</sub> (gás)↑

- As elevadas capacidades redutoras do C e CO, produzidos pela reação acima, provocam a redução do ferro também presente nas argilas.

Para Boschi (2001) <sup>(5)</sup> as condições de queima também afetam fortemente a formação do coração negro. Nos casos em que a massa apresenta tendência à formação do coração negro se deve procurar um ciclo de queima que possibilite a oxidação de toda a matéria orgânica antes que a absorção de água diminua e dificulte a entrada de oxigênio e a saída do CO e CO<sub>2</sub>, na peça.

A oxidação da matéria orgânica se dá entre 200 e 500°C. Portanto, na medida do possível, deve-se projetar o ciclo de queima de modo a assegurar a completa oxidação da matéria orgânica prolongando-se o estágio de pré-aquecimento. Nos casos de ciclos muito rápidos e/ou fornos muito curtos, a tendência ao aparecimento do coração negro se acentua <sup>(5)</sup>.

Ressalta-se ainda em relação à queima que as diferenças de temperatura encontradas entre o centro e a superfície das peças podem chegar a valores da ordem de 40°C nesse intervalo de temperatura <sup>(6)</sup>.

Este trabalho teve como objetivo analisar as características físico-mecânicas em corpos de prova extrudados de duas amostras de argilas vermelhas, contendo a presença de coração negro, após a sinterização de corpos de prova.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas amostras, sendo uma argila bruta e a outra uma massa argilosa, fornecidas por duas empresas da cerâmica vermelha, identificadas por amostras (AB e MA), respectivamente.

Para a realização da análise granulométrica, as amostras foram desaglomeradas e passadas 100% em peneira ABNT nº. 200 (abertura 0,074mm), dispersa em água destilada com ultrassom durante 5 minutos; em seguida, foram analisadas em uma fase líquida, associadas com um processo de medida à laser, em um equipamento da marca CILAS 1064L.

Nos ensaios de plasticidade as amostras passaram em peneira ABNT nº. 80 (abertura 0,177 mm), em seguida determinaram-se as características de plasticidade: limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade pelo método de Casagrande, segundo a NBR 6459 <sup>(7)</sup> e a NBR 7180 <sup>(8)</sup>.

Para a análise química os pós passados em peneira ABNT nº. 200 foram submetidos à caracterização química utilizando-se um espectrômetro de raios X por energia dispersiva (RAY – EDX 720, Energy Dispersive X-RAY Spectrometer – Shimadzu).

As amostras passadas em peneira ABNT nº. 80 foram umidificadas, até atingir a plasticidade adequada, permaneceram em repouso por 24 horas, e posteriormente, foram submetidas ao processo de extrusão, obtendo-se corpos de prova com uma geometria retangular nas dimensões de (10,0 x 2,0 x 1,0) cm<sup>3</sup>. Em seguida foram queimados em um forno elétrico de laboratório, nas temperaturas de 800, 900 e 1000°C, com taxas de aquecimento de 2°C/min.

Após a etapa de queima foram determinadas as seguintes propriedades: absorção de água, retração linear de queima, porosidade aparente e resistência mecânica à flexão, este por três pontos (Fig. 2). Para a determinação da resistência mecânica à flexão utilizou-se uma máquina de ensaios mecânicos da EMIC, linha DL com capacidade para 100 kN, operando a uma velocidade de 0,5 mm/min.

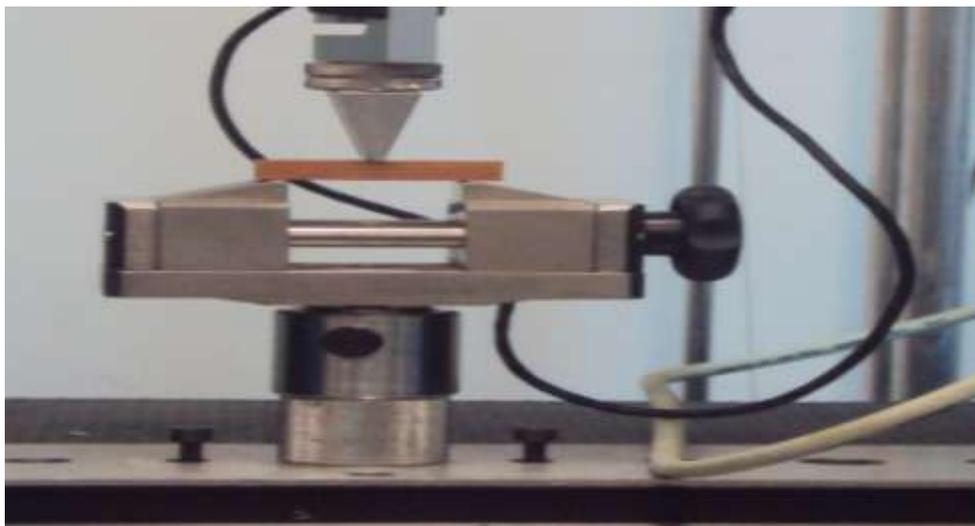


Figura 2 – Imagem do ensaio de flexão por três pontos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 constam os resultados de plasticidade e do tamanho de partículas com diâmetros abaixo de 2  $\mu\text{m}$ , entre 2 e 20  $\mu\text{m}$  e acima de 20  $\mu\text{m}$ . Analisando os resultados do ensaio de plasticidade com os de tamanhos de partículas constantes na Tabela 1, e comparando com o diagrama de Winkler <sup>(9)</sup>, observa-se que as amostras ensaiadas apresentam baixos percentuais da fração argila (< 2  $\mu\text{m}$ ) para serem utilizadas na fabricação de telhas e blocos, no entanto, as frações de silte (2 - 20  $\mu\text{m}$ ) e areia (> 20  $\mu\text{m}$ ) se encontram na faixa aceitável. Quanto ao índice de plasticidade, as amostras apresentaram valores dentro da faixa de plasticidade mediana adequada para a produção de blocos e telhas, segundo a literatura consultada <sup>(10)</sup>.

Tabela 1 – Índice de plasticidade e distribuição de tamanho de partícula das amostras estudadas.

AMOSTRA	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)		
		< 2 $\mu\text{m}$	2 - 20 $\mu\text{m}$	> 20 $\mu\text{m}$
<b>AB</b>	19,25	18,58	62,42	19,00
<b>MA</b>	12,52	14,75	41,70	43,55

Nota-se pela quantidade de fração argila que a amostra AB é mais argilosa, logo tem uma melhor plasticidade, favorecendo a trabalhabilidade da massa em relação à conformação e a qualidade dos produtos finais.

O índice de plasticidade (IP) que é a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade, indica a faixa de consistência plástica e representa a quantidade de água que pode ser adicionada a partir do limite de plasticidade, sem alterar o estado plástico da argila ou massa cerâmica. Observa-se que as amostras ensaiadas apresentam índice de plasticidade superior a 10%, que é o índice considerado mínimo. Abaixo deste valor torna-se muito perigosa a etapa de conformação, já que há um grande risco de mudança no comportamento plástico com pequena alteração na quantidade de água utilizada.

A Tabela 2 representa a composição química das amostras estudadas. Observa-se que as amostras apresentam teores similares de fundentes. Os óxidos fundentes contribuem para a formação de fase líquida durante a queima possibilitando uma redução da porosidade. A amostra MA contém um maior teor de óxido de ferro, os compostos de ferro são os principais responsáveis pela coloração das cerâmicas argilosas. Teores abaixo de 3% são indicados para a fabricação de produtos de coloração clara, o que indica que poderá ocorrer diferença de coloração após a queima entre as argilas, bem como, um maior teor de perda ao fogo e uma menor relação  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Tabela 2 – Análise química das amostras ensaiadas.

AMOSTRA	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	MnO	Outros	PF <sup>a</sup>
AB	51,2	28,4	6,7	0,8	3,5	2,4	0,9	0,1	0,1	5,8
MA	51,5	26,3	8,1	1,0	1,7	2,5	1,1		0,3	7,1

<sup>a</sup> PF- Perda ao Fogo

Na Tabela 3 encontram-se os resultados das características cerâmicas das amostras queimadas em três temperaturas: 800°C, 900°C e 1000°C, para avaliação da potencialidade do uso das argilas em cerâmica estrutural. As argilas para cerâmica vermelha são processadas, em geral, em baixas temperaturas, por apresentarem elevadas quantidades de fundentes, particularmente o ferro, por isso da utilização de temperaturas não superiores a 1000°C.

Para o ensaio de absorção de água observa-se que os valores encontrados estão dentro do limite admissível. As argilas com maior porcentagem de quartzo apresentam maior valor de absorção de água, em função da maior porosidade. De modo geral, a variação na absorção de água pode estar relacionada com os

minerais componentes da amostra, assim como o grau de alteração destes, além de sua granulometria.

Os valores de retração linear encontrados após a queima dos corpos de prova são extremamente baixos. Um menor valor de retração linear está relacionado com uma maior porcentagem de quartzo na amostra.

Tabela 3 – Propriedades físico-mecânicas das amostras ensaiadas

AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA (%)	TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (MPa)
<b>AB</b>	800	11,97±0,62	22,42±0,01	0,85±0,30	24,92±1,46
	900	13,53±0,45	25,18±0,51	1,75±0,40	15,09±1,76
	1000	9,25±0,48	14,76±0,21	ND	ND
<b>MA</b>	800	16,78±0,41	29,45±0,39	4,91±0,20	15,72±0,77
	900	6,36±0,56	13,08±0,55	4,99±0,15	17,62±1,50
	1000	8,91±0,37	18,26±0,07	5,25±0,25	22,60±0,86

ND = não determinado.

Com o aumento da temperatura a retração aumenta, pois os poros se fecham e as partículas se aproximam, provocando um decréscimo nos valores da porosidade aparente, o que não aconteceu, devido aos defeitos apresentados nos corpos de prova, provocado pela presença de coração negro, onde se constatou: inchamento dos corpos de prova; deformações piropásticas; deterioração das características técnicas e deterioração das características estéticas.

Já para a resistência mecânica pós queima os valores mais baixos podem estar relacionados com micro trincas, o que, influencia o comportamento final das peças.

Quando a quantidade de micro trincas é grande, o corpo de prova não suporta a mesma carga de pressão, rompendo-se com maior facilidade. Os valores maiores da tensão de ruptura à flexão podem ser explicados pela quantidade de quartzo presente nas amostras, que pode acelerar a formação de fases líquidas na queima, o que pode incrementar a resistência mecânica.

Observando os valores constantes na Tabela 3, nota-se que não há uma sequência lógica com relação ao aumento da temperatura. O qual é devido à presença de coração negro em ambas as amostras (ver Fig. 3), com maior intensidade na amostra AB, causando a perda de corpos de prova após a sinterização com o aumento da temperatura. O que confirma dados da literatura <sup>(6)</sup>, onde há uma deterioração das características técnicas do corpo cerâmico, devido ao desprendimento de CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O durante a queima, criam grandes quantidades de “vazios” no interior da peça, se sua permeabilidade não permitir a saída dos gases. Esses “vazios”, por sua vez, comprometem as propriedades mecânicas do produto cerâmico.



Figura 3 – Presença de coração negro nas amostras AB e MA analisadas.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados pode-se concluir que argilas para cerâmica vermelha mesmo contendo baixa quantidade de matéria orgânica e queimadas em ciclos de queima rápida podem desenvolver coração negro durante a queima. Conclui-se também que é crítico o desenvolvimento de coração negro para as propriedades físicas das peças queimadas, com as peças que desenvolvem coração negro apresentando alterações na sua porosidade e na sua resistência mecânica.

## REFERÊNCIAS

- (1) SOUZA SANTOS, P., ***Ciência e Tecnologia de Argilas***. São Paulo: v. I e II, Edgard Blücher, 1992.
- (2) BARBA, A.; BELTRÁN, V.; FELIU, C.; GARCÍA, J.; GINÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, V. *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*, 2ª ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2002.
- (3) PINTO, M. F.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. Efeito do ciclo de queima sobre as propriedades tecnológicas de uma massa cerâmica vermelha para revestimento. *Cerâmica*, n. 51, p.225-229, 2005.
- (4) BARBA, A.; BELTRAN, V.; FELIU, C.; GARCIA, J.; GINES, F.; SANCHEZ, E.; SANZ, V. *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas – Instituto de Tecnología Cerámica*.
- (5) DAMIANI, J. C.; PEREZ, F.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Coração negro em revestimentos cerâmicos: principais causas e possíveis soluções. *Cerâmica Industrial*, 6 (2), p. 12, 2001.
- (6) MECHIADES, F.G.; SILVA, L.L.; QUINTEIRO, E.; ALBERS, A.P.; BALDO, J.B.; BOSCHI, A.O. Alternativas para eliminar (ou reduzir) os furos no esmalte causados por partículas de calcário em revestimentos fabricados por via seca. *Cerâmica Industrial*, 6 (1), p. 7, 2001.
- (7) Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459**: Determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- (8) Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180**: Determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- (9) TRINDADE, M. F. S.; SOUZA, A. G.; SILVA, J. H. E.; SILVA, J. M.; SANTOS, I. M. G. Estudo comparativo entre massas para blocos cerâmicos provenientes de diferentes regiões da Paraíba. In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERAMICA, Maio de 2001.
- (10) MACEDO, R. S. ***Estudo comparativo entre massas cerâmicas industriais e aditivadas para uso em blocos cerâmicos***. 2005. 125f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - CCT/UFCG, Campina Grande.

## THE EFFECT OF THE BLACK HEART ON PHYSICAL AND MECHANICAL IN BODY OF PROOF OF POTTERY RED

### ABSTRACT

The raw material of ceramics comes from the crust, and this in turn is formed of appreciable quantities of substances capable of reacting with oxygen when it reaches elevated temperature. These substances are mainly organic matter and carbon, sulfur and its derivatives and certain metal oxides (especially iron). Therefore it is necessary to perform the sintering of these materials in oxygen-enriched atmospheres in average temperature firing for these substances oxidize, otherwise forms a dark region along the ceramic body called black heart. Which is a visible defect found in ceramic products, as they may swell, crack, blister, mainly due to reduced and inappropriate firing cycle and compression. This study aims to analyze the physico-mechanical test specimens extruded from two samples of red clays. To facilitate the study, samples were assayed according to the methodology proposed by Souza Santos, and specimens were extruded and subjected to different firing curves to determine the physical and mechanical properties. The results show that the samples tested have altered physical and mechanical characteristics, such as cracks, bubbles, geometric and dimensional variations.

Keywords black heart, red ceramic, firing cycle.