

# UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO SULFETADO DE COBRE EM CERÂMICA ESTRUTURAL\*

Mário Andreato Macedo Castro<sup>1</sup>  
Fiama Gomes da Costa<sup>1</sup>  
Bruno Augusto Costa Tavares<sup>1</sup>  
Elias Fagury Neto<sup>2</sup>  
Adriano Alves Rabelo<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho teve por objetivo analisar o efeito da incorporação do rejeito de minério sulfetado de cobre em três formulações argilosas para cerâmicas estruturais. Os corpos de prova foram sinterizados em temperaturas que variaram de 900 a 1000°C, com patamar de queima de 2 horas, com o objetivo de determinar suas propriedades tecnológicas, tais como: absorção de água, densidade aparente, porosidade aparente e retração linear de queima, bem como o ensaio mecânico para a determinação do módulo de ruptura à flexão. Os resultados mostraram que as formulações obtidas apresentaram propriedades adequadas quanto à introdução do rejeito, apesar de que nenhum deles obteve valores melhores em relação à formulação sem o rejeito.

**Palavras-chave:** Sulfetado de cobre; Argila; cerâmica estrutural; Propriedades cerâmicas.

## REJECT THE USE OF ORE COPPER SULPHIDE CERAMIC STRUCTURAL

## Abstract

This study aimed to analyze the effect of incorporation of waste sulphide copper ore. Were determined three different formulations with variations in clay and sulphide of copper, from which prepared the bodies of the test piece. After preparation, these were sintered at temperatures ranging 900-1000°C, 2 hours threshold firing, in order to determine their ceramic properties, such as: water absorption, density, porosity and linear shrinkage firing, as well as mechanical testing to determine the breakdown voltage bending. The results obtained showed that the formulations had adequate properties as the introduction of the waste, although none of them had better values than the formulation without waste.

**Keywords:** Copper sulfide; Clay; Structural ceramics, Ceramic properties.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Instituto de Geociências e Engenharias, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa, Marabá, PA, Brasil

<sup>2</sup> Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia de Materiais, Instituto de Geociências e Engenharias, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa, Marabá, PA, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Diretor da Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa, Marabá, PA, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias é cada vez maior a busca por alternativas ecológicas para evitar qualquer tipo de agressão ao meio ambiente por conta da sua produção, e com alguma finalidade lucrativa, embora nem sempre se obtenham bons resultados. Nesse meio encontram-se as minas e os rejeitos que são liberados na exploração das mesmas.

O sulfetado de cobre é um desses rejeitos, cuja origem é advinda de atividades de mineração do cobre que vão desde a prospecção e a exploração mineral, com a descoberta, qualificação, quantificação e desenvolvimento de recursos e reservas, até a lavra e a concentração de minério de cobre, objetivando a produção de concentrado de cobre, principal fonte primária para extração do metal pelo segmento da transformação mineral, sendo que a flotação é a principal técnica de beneficiamento desse rejeito, a qual permite a obtenção de concentrados com elevados teores e expressivas recuperações, sendo aplicada no beneficiamento de minérios com baixo teor e granulometria fina. As empresas mineradoras produzem anualmente toneladas de rejeito de minério que é lançado em barragens e em pilhas, com milhares de toneladas em volume e de rochas trituradas, respectivamente. Ademais, a extração do minério de cobre acarreta impactos negativos, dentre os quais se destacam o impacto visual, em virtude da extração e da disposição de estéril, a poluição da água e solo, decorrente de dejetos orgânicos, metais pesados, entre outros, e o impacto pela poluição do ar devido a emissão de material particularizado produzido em virtude da detonação das rochas [1].

A cerâmica estrutural caracteriza-se pela cor vermelha de seus produtos, que são tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros. Do ponto de vista da matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é tipo monocomponente - só argila -, e pode ser denominada de simples ou natural. Essa formulação de massa busca em geral de forma empírica, uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade, para propiciar trabalhabilidade e resistência mecânica na queima. A preparação da massa é feita geralmente através da mistura de uma argila “gorda”, que é caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina, e composição essencialmente de argilominerais; com uma argila “magra”, esta rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada também como material redutor de plasticidade [2].

A inserção do rejeito siderúrgico na substituição da argila teve como principal objetivo a melhoria das propriedades mecânicas do material cerâmico em questão, bem como a economia de energia para a produção, correlacionando com a aplicação do minério sulfetado de cobre.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O rejeito de minério sulfetado de cobre foi coletado em uma das minas de exploração da Vale em Carajás – PA, e a argila foi adquirida em uma fábrica de cerâmicas estruturais em Marabá – PA que trabalha com matérias-primas com elevadas plasticidades na sua produção (Vale, Marabá-PA), argila e caulim (Marabá-PA).

Tendo como base a composição química do RMSC, rico em óxidos, o que representa um possível prejuízo em qualidade e resistência se for utilizado em grandes quantidades, para a determinação das formulações houve uma inserção

pequena do resíduo, embora suficiente para alterar as propriedades da cerâmica, pois se levou em conta a diminuição da fusibilidade e a redução da plasticidade dos corpos de prova se houvessem grandes substituições da argila nas formulações. As composições em porcentagens dos componentes estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Formulações desenvolvidas

FORMULAÇÃO	ARGILA (%)	RMSC (%)
0	100	0
1	94	6
2	89	11
3	84	16

Os corpos de prova foram submetidos a moagem via úmida com tempo de 30 minutos por formulação. Após a secagem em estufa a 100°C, as massas cerâmicas foram submetidas a prensagem uniaxial em uma matriz de aço de seção retangular, com pressão de compactação de 26 Mpa. As amostras foram sinterizadas a 900°C, 950°C e 1000 °C com patamar de queima de 2 horas no forno elétrico INTI.

Os ensaios e parâmetros realizados para determinar a eficácia do rejeito inserido nas formulações, bem como para saber a sua composição química e mineralógica foram: análise química por fluorescência de raios X utilizando espectrômetro da marca Shimadzu, modelo EDX-700 Rayny Instrument, em atmosfera à vácuo, análise mineralógica por difração de raios X em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-6000, com radiação monocromática de CuK $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406\text{\AA}$ ) em um intervalo de variação angular  $2\theta$  entre 10° e 90°, densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água, retração linear e tensão de ruptura a flexão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

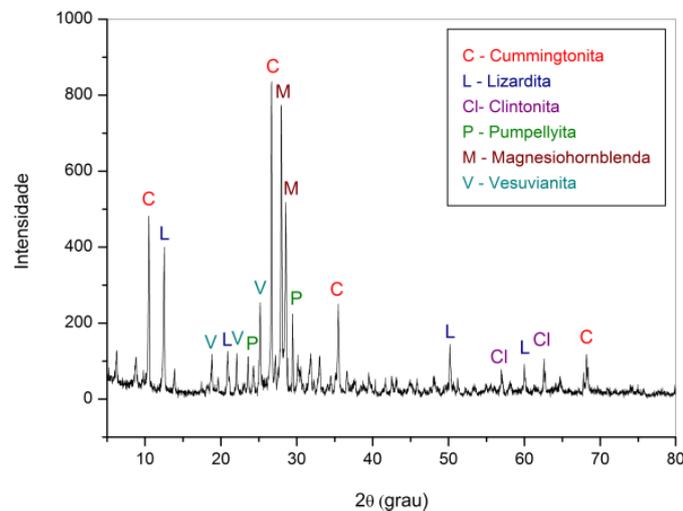
A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química do minério sulfetado de cobre.

**Tabela 2:** Composição química do rejeito de minério sulfetado de cobre.

Componentes	Teor (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,05
SiO <sub>2</sub>	44,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,52
CaO	9,46
MgO	5,34
K <sub>2</sub> O	0,87
SO <sub>3</sub>	1,70
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
MnO	0,007
CuO	0,04

Podemos observar que o rejeito apresenta superior teor de óxidos fundentes, tais como CaO (9,46%) e MgO (5,34%). O teor de cobre residual é baixo, equivalente a 0,04%, porquanto que o processo de beneficiamento deste é eficaz na recuperação do metal. O SiO<sub>2</sub> apresenta-se em valores substancialmente elevados, com o equivalente a 44,49%, esse composto contribui para o aumento da resistência mecânica da massa, pois combinado com o CaO pode formar silicatos de cálcio, além de diminuir a retração da massa [1].

Na Figura 1 está representado o difratograma do rejeito de minério de cobre.

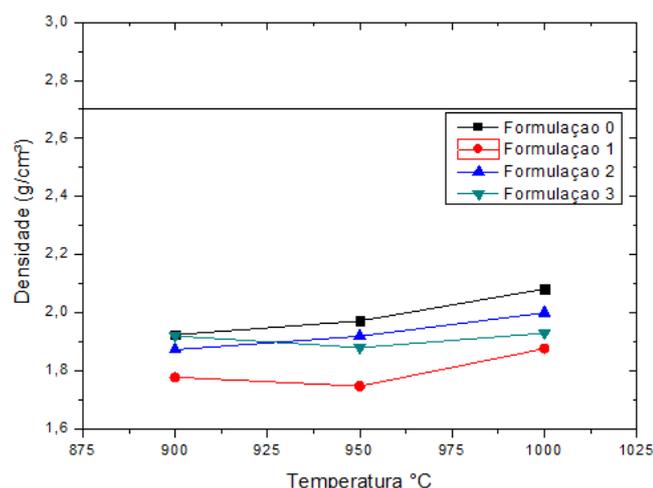


**Figura 1:** Difratograma de raios X do RMSC.

O difratograma do rejeito de minério de cobre, representado na Figura 4.2, evidencia a presença de várias fases na composição deste resíduo. De acordo com os picos distintos de difração, verifica-se a presença de:

- Cummingtonita ( $\text{Fe}_{2.558} \text{Mg}_{4.344} \text{Ca}_{0.086} \text{Al}_{0.012} (\text{Si}_8 \text{O}_{22.012} (\text{OH})_2)$ )
- Lizardita ( $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})_3 (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$ )
- Clintonita ( $(\text{Ca} (\text{Mg}_{2.16} \text{Al}_{.7} \text{Fe}_{12})) (\text{Si}_{1.32} \text{Al}_{2.68}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$ )
- Pumpellyita ( $(\text{Ca}_4 \text{Al}_4 (\text{AlMg}_{.6} \text{Fe}_{.4}) \text{Si}_6 \text{O}_{21} (\text{OH})_7$ )
- Magnesiohornblenda ( $(\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_5 (\text{Si}, \text{Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$ )
- Vesuvianita ( $(\text{Ca}_{19} (\text{Fe}_{1.8} \text{Mg}_{1.7} \text{Al}_{1.2}) \text{Al}_8 (\text{SiO}_4)_{10} (\text{Si}_2 \text{O}_7)_4 (\text{O}_3 \text{OH})_{10}$ ).

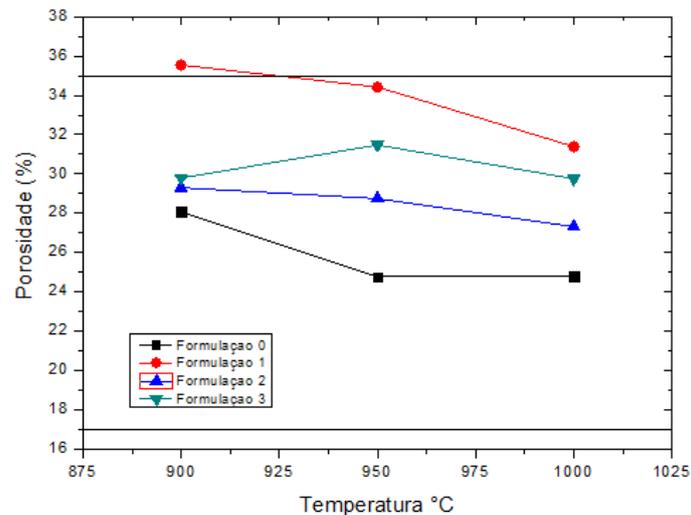
A Figura 2 apresenta os resultados das médias da densidade aparente das quatro formulações em cada temperatura utilizada.



**Figura 2.** Densidade aparente das formulações.

De acordo com a Figura 2, todas as formulações apresentaram valores de densidade adequados nas temperaturas de sinterização, ficando bem abaixo do valor mínimo exigido por norma. Os resultados mostrados no gráfico evidenciam um crescimento da densidade com o aumento da temperatura principalmente nas formulações 0 e 2 que aconteceu de forma gradativa, inferindo-se que as amostras foram diminuindo em porosidade conforme se aumentou a temperatura de queima.

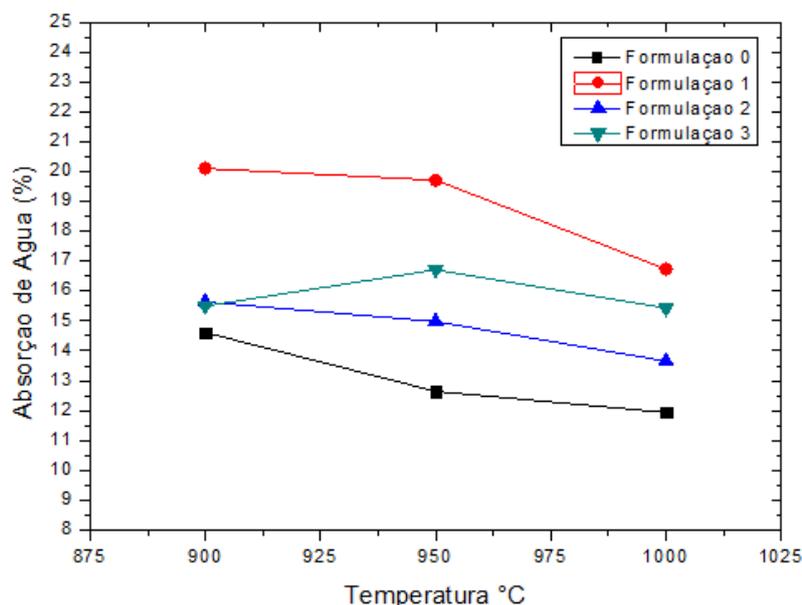
Na Figura 3, estão plotados os valores referentes a porosidade aparente das formulações.



**Figura 3.** Porosidade aparente das formulações.

O gráfico da Figura 3 mostra que a Formulação 1 teve os piores resultados de porosidade, ficando fora da norma na temperatura de 900 °C. As outras formulações por conta da boa densificação demonstrada tiveram bons resultados nessa propriedade cerâmica.

As médias dos valores da absorção de água das formulações estão descritos na Figura 4.

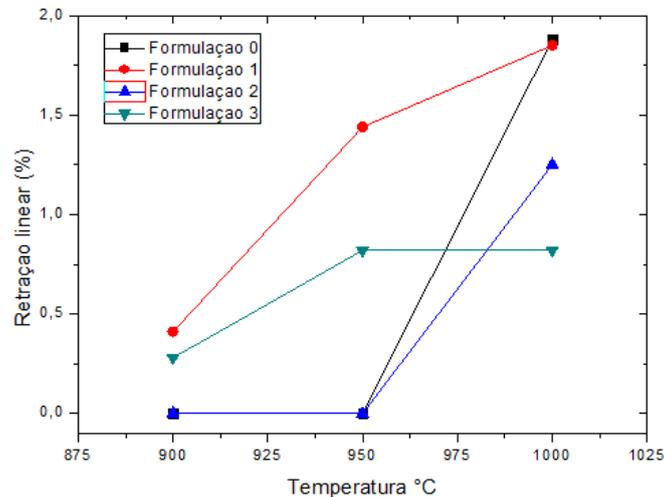


**Figura 4.** Absorção de água das formulações.

Uma vez que a absorção de água está relacionada diretamente com a porosidade do material, a formulação 1 teve os valores mais altos nesse parâmetro atingindo apenas a especificação para tijolo maciço (8 a 25%) nas temperaturas de 900 e 950°C. As outras formulações ficaram dentro do que é proposto por norma em todas as temperaturas, inclusive para telhas ( $\leq 18\%$ ) e tijolos vazados ( $\leq 20\%$ ) [3]. Como

esperado, a absorção de água diminuiu com o aumento da temperatura de queima, Neste caso os óxidos fundentes do rejeito (CaO e MgO) contribuíram para a formação de fase líquida e junto a isso, para o fechamento da porosidade aberta dos corpos cerâmicos.

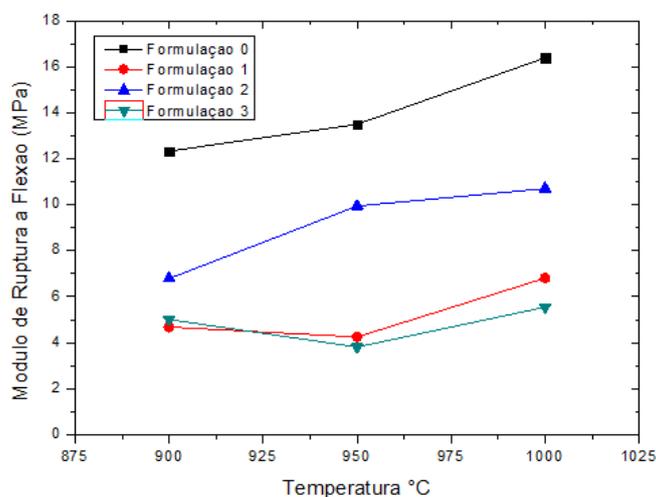
Os resultados da retração linear sofrida pelos corpos de prova estão na Figura 5.



**Figura 5.** Retração linear de queima das formulações.

Nota-se que a retração linear dos corpos de prova cresceu à medida que se aumentou a temperatura de queima com exceção das Formulações 0 e 2 que não sofreram retração nenhuma nas temperaturas de 900 e 950 °C e da Formulação 3 que se estabilizou dimensionalmente a partir de 950 °C Este comportamento está associado à formação de grande quantidade de fase líquida, bem como à recristalização de fases cerâmicas de alta temperatura, além da abundante presença do quartzo no resíduo, que permite ao corpo cerâmico boa estabilidade dimensional [4]. Os valores de retração linear obtidos estão dentro da faixa usual para fabricação de cerâmica vermelha.

O Gráfico da Figura 6 mostra os resultados médios do ensaio de resistência à flexão das formulações.



**Figura 6.** Resistência à flexão das formulações.

Os resultados mostram que apenas as formulações 0 e 2 podem ser aplicadas a toda a classe de cerâmicas estruturais em todas as temperaturas, apesar de que em

nenhuma delas a formulação 2 sequer chegou próximo da resistência desenvolvida pela formulação 0. As demais formulações revelaram valores que em geral mesmo estando dentro da especificação de tijolo maciço ( $\geq 5,5$  MPa) e tijolo vazado ( $\geq 2$  MPa) [3] não são seguras na aplicação das mesmas nessa classe de materiais cerâmicos por conta dos baixos resultados.

#### 4 CONCLUSÃO

O rejeito de minério sulfetado de cobre é um material não plástico, cuja composição química é constituída principalmente de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , além de óxidos fundentes como  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ .

Os resultados desse trabalho demonstraram que o rejeito de minério sulfetado de cobre, de uma forma geral, pode ser empregado em formulações e na fabricação de cerâmicas estruturais, pois todas as formulações com o rejeito se mostraram dentro da literatura, apesar de que ele se mostrou prejudicial diminuindo a resistência das amostras devido ao aumento da porosidade no material por conta da não suficiente formação de fase líquida nos corpos de prova além de que, em nenhuma das formulações testadas houve melhora nos parâmetros avaliados em comparação com os valores dos corpos de prova sem o rejeito.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Leite Pinheiro, LC. Processamento e avaliação das propriedades tecnológicas de porcelanato obtido com adição de rejeito de minério sulfetado de cobre [trabalho de conclusão de curso]. Marabá: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará; 2013.
- 2 Motta JF, Zanardo A, Cabral Júnior A. As Matérias-Primas cerâmicas: Parte 1: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. *Cerâmica Industrial*. 2001; 6(2): 28-39.
- 3 Souza Santos P. Ciência e tecnologia de argilas. São Paulo: Edgard Blucher; 1989.
- 4 Moreira, JMS, Manhães JPVT, Holanda JNF. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica*. 2005:184.