



## **ESTUDO E AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS COM ADIÇÕES DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS**

Railton Tenorio de Oliveira – Graduando em Engenharia de Materiais – Unifesspa  
*raito@unifesspa.edu.br*

Adriano Alves Rabelo – Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais – Professor Associado da  
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Femat/IGE/Unifesspa)  
*adriano@unifesspa.edu.br*

**Agência Financiadora:** FAPESPA

**Eixo Temático/Área de Conhecimento:** Tecnologia/Engenharias.

### **1. INTRODUÇÃO**

Na indústria é cada vez mais comum a busca por meios mais ecologicamente amigáveis para destinar resíduos sólidos industriais, sendo que sua utilização em teores adequados nos materiais cerâmicos tradicionais, tais como blocos para alvenaria ou telhas, uma excelente alternativa uma vez que são submetidos a queima, tornando-os inativos no produto final.

O presente trabalho avaliou a reprodutibilidade do processamento cerâmico analisando os resultados das propriedades mecânicas utilizando-se a distribuição de Weibull para misturas de argila com os rejeitos: pó de balão proveniente do alto-forno, pó de despoeiramento de aciaria e rejeito mineral sulfetado de cobre. Caracterizou-se as propriedades tecnológicas, módulo de elasticidade estático por excitação por pulso acústico e o módulo de ruptura à flexão em três pontos das amostras antes e após serem submetidas a formação acelerada de eflorescência. Os resultados apresentados mostram as possibilidades promissoras para a incorporação de resíduos da siderurgia e da extração mineral em produtos cerâmicos na região sudeste do Pará.

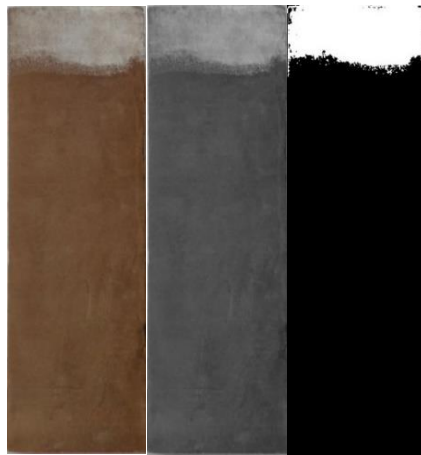
### **2. MATERIAS E MÉTODOS**

Foram produzidos trinta corpos de prova para validar a distribuição de Weibull. A argila e os resíduos foram desagregados em malha de 100 mesh e após o proporcionamento em dois teores dos diferentes teores dos resíduos, foram homogeneizados em moinho de bolas, peneirado em malha de 40 mesh. Ajustou-se a umidade da massa para 5%p.com água destilada e em seguida os corpos de prova de seção quadrada foram conformados em matriz de 60 x 20 mm, utilizando prensagem uniaxial a 55 MPa, obtendo-se corpos de prova com coloração marrom claro.

Os corpos de prova foram calcinados a 400°C/1h em forno mufla, marca Marconi, modelo MA 385/3, seguindo diretamente para o patamar de sinterização a 850°C/2h, com taxa de aquecimento de 5 °C/min. Verificou-se as caracterizações tecnológicas densidade aparente, absorção de água, porosidade aparente, utilizando o método de Arquimedes, deixando os corpos de prova imersos em água por 24 h para a saturação dos poros abertos, e medidas de retração linear de queima e perda ao fogo. Os corpos de prova foram identificados em função do teor de rejeito adicionado e os ensaios foram realizados conforme normas técnicas pertinentes. As composições avaliadas foram 3 e 9% Pó de Balão, 5 e 25% Pó de Despoeiramento e 10 e 20% Rejeito Mineral Sulfetado de Cobre.

Para que os corpos de prova fossem avaliados quanto a degradação eventual por eflorescência, estes foram submetidos submersos 80% de seu comprimento por 14 dias, repostos todos os dias o volume de água. A cada 7 dias os corpos de prova foram submetidos a secagem a 110 °C por 24 h em estufa para acelerar a formação da eflorescência, que se dá pela migração dos sais solúveis presentes por capilaridade a superfície, provocando manchas esbranquiçadas se em quantidade apreciável. Para a análise da formação de eflorescência, registrou-se imagens das laterais, ajustando para que cada imagem possuísse a mesma dimensão original. Através do software livre *ImageJ*, para quantificar a porcentagem de eflorescência após ajustes na imagem, como alterar para 8 bits e balanço de cor, conforme sequência apresentada na Figura 1. Após a análise no *ImageJ*, calculou-se os valores médios e desvio padrão

**Figura 1:** Processo de ajuste de imagem no software *ImageJ*.



Fonte: Autor, 2020.

Para obtenção do valor do módulo de elasticidade estático utilizou-se o método de ensaio não destrutivo de excitação acústica, a partir da frequência de vibração da peça cerâmica com amplitudes de vibração mínimas. Com o ensaio de ruptura à flexão em três pontos no equipamento EMIC foi obtido o módulo de Weibull. Os resultados foram reorganizados com os valores crescentes de tensão de ruptura para fazer a análise de Kaplan e Meier que é uma estatística não paramétrica usada para estimar a função de sobrevivência a partir de dados da vida.

$$F = \frac{i}{n+1}$$

$i$  = valor da posição que está a amostra  
 $n$  = número de observações nos dados

O cálculo foi realizado utilizando a equação  $F(\sigma) = 1 - e^{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m}$ , após se aplicar o duplo logaritmo, obtendo-se a reta para plotar o gráfico da distribuição de Weibull, com  $\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(\sigma)}\right)\right)$  para o eixo  $X$  e  $m \cdot \ln(\sigma)$  para o eixo  $Y$ , sendo  $m$  o coeficiente angular denominado Módulo de Weibull.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

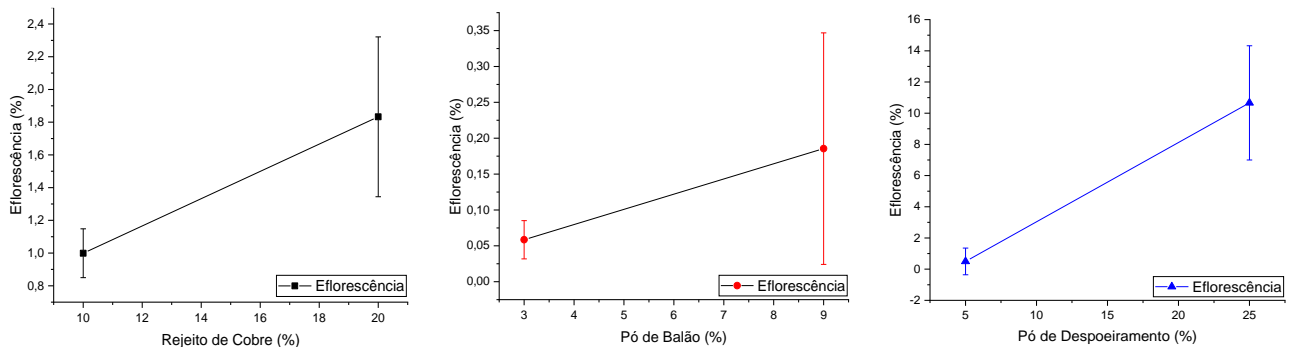
Os resultados das propriedades tecnológicas absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), densidade aparente (DA) obtidas pelo método de Arquimedes, juntamente com retração linear de queima (RLq) e perda ao fogo (PF), são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Resultados tecnológicos das amostras sinterizadas a 850 °C/2 h.**

FORMULAÇÃO	AA(%)	PA(%)	DA(%)	RLq(%)	PF(%)
0%	16,23 ± 0,37	30,27 ± 0,56	1,86 ± 0,02	1,12 ± 0,24	11,61 ± 0,24
3%	15,81 ± 1,33	28,79 ± 1,79	1,82 ± 0,05	1,93 ± 1,06	15,08 ± 1,45
9%	14,54 ± 0,40	26,21 ± 0,50	1,80 ± 0,02	3,27 ± 0,34	18,78 ± 0,42
10%	15,30 ± 1,07	29,34 ± 1,86	1,90 ± 0,02	0,83 ± 0,18	12,46 ± 1,67
20%	14,81 ± 0,85	28,63 ± 1,37	1,93 ± 0,2	0,86 ± 0,26	10,91 ± 0,94
5%	15,35 ± 0,82	29,26 ± 1,19	1,90 ± 0,03	1,56 ± 0,30	12,43 ± 0,76
25%	12,63 ± 1,16	26,13 ± 2,13	2,06 ± 0,03	2,67 ± 0,46	15,03 ± 0,60

Fonte: Autor, 2019.

**Figura 2:** Quantificação de eflorescência: (a) rejeito de cobre, (b) pó de balão e (c) de despoeiramento.

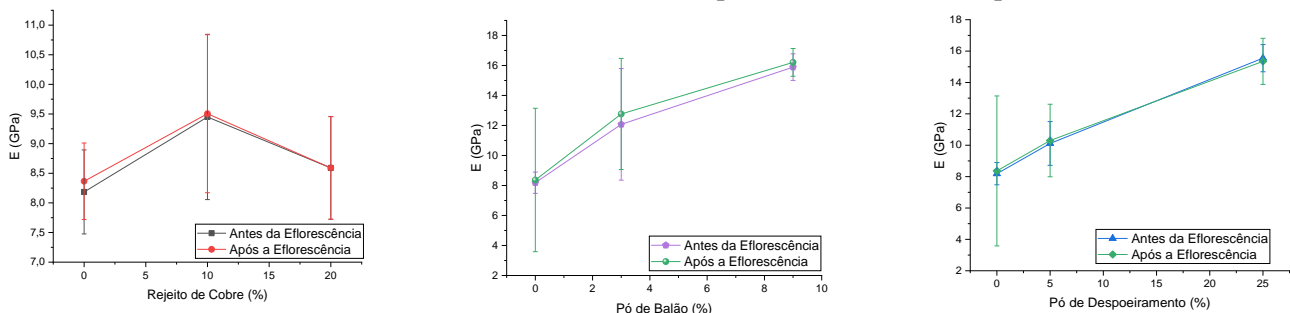


Fonte: Autor 2020.

Percebe-se que o aumento do teor de rejeito aumenta a quantidade de eflorescência, entretanto os valores reportados por (SOBRINHO, 2019) e (F. G. DA COSTA, 2016) apresentaram formação inferior mesmo após 14 dias de ensaio, provavelmente devido à homogeneização, que no nosso caso foi feita através do moinho de bolas seguido de um peneiramento para retirar os aglomerados. Outra possível explicação para tal diferença está na calcinação das matérias-primas para diminuir os sais presentes e eliminando água, evitando a explosão durante a queima.

Os resultados de módulo de elasticidade realizados antes e após o processo de aceleração da eflorescência são apresentados na Figura 3.

**Figura 3:** Módulo de elasticidade: (a) MRSC, (b) pó de balão e (c) de despoeiramento.



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 4 apresenta os resultados da distribuição de Weibull para análise de probabilidade de falha das cerâmicas estudadas em todas as composições e determinação do módulo de Weibull, *m*.

# VI Seminário de Iniciação Científica

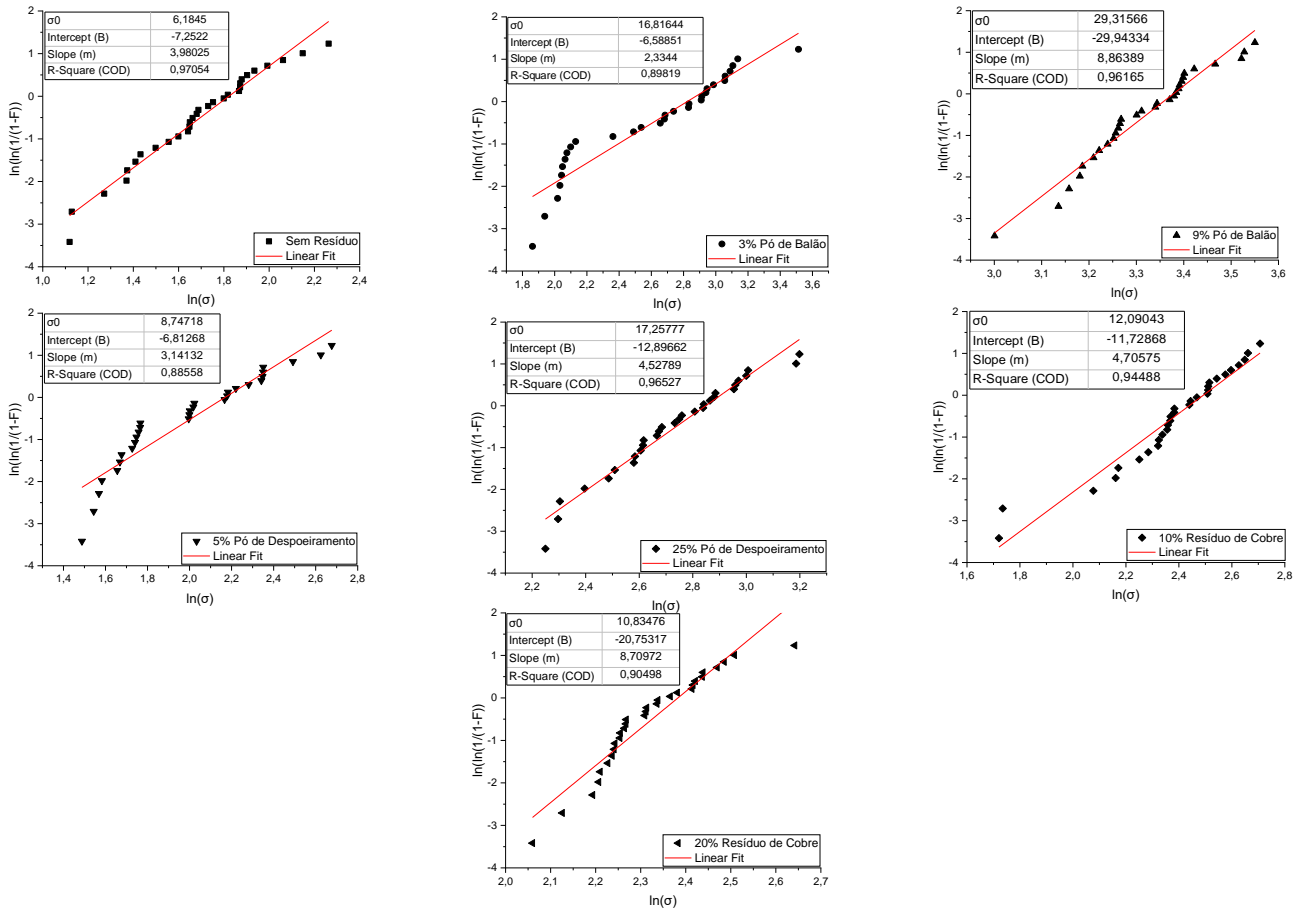
Pesquisa na Amazônia: Novos cenários

27 a 29 de Outubro de 2020

On-line pela plataforma Google Meet

UNIFESSPA | PROPIT

**Figuras 4:** Distribuição de Weibull para (a) corpo de prova de referência, (b) PB, (c) PD e (d) RMSC.



Fonte: Autor, 2020.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Presente estudo permitiu concluir que a aplicação de rejeito em corpos de prova cerâmicos pode influenciar de forma positiva as propriedades mecânicas. O incremento do teor de rejeito tende a diminuir a porosidade aparente, resultando em melhor resposta mecânica, o que abre possibilidade de redução da temperatura de queima e consequente economia de energia. A formação de eflorescência é proporcional a adição dos resíduos, entretanto, os valores do módulo de Weibull mostraram que os resultados mais elevados estão diretamente relacionados com o aumento dos teores incorporados à massa.

## 5. REFERÊNCIAS

F. G. DA COSTA, M. A. C. D. S. L. E. F. N. A. A. R. ESTUDO DE SAIS SOLÚVEIS E EFLORESCÊNCIA NA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO EM CERÂMICA VERMELHA. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal, RN, Brasil, 6 a 10 Novembro 2016.

OLIVEIRA SOBRINHO, I. ; RABELO, A.A. . Avaliação da degradação de blocos cerâmicos com adições de pó de balão. In: V Seminário de Iniciação Científica: Talentos da Ciência e Tecnologia em Ação, 2019, Marabá. **Anais do V Seminário de Iniciação Científica: Talentos da Ciência e Tecnologia em Ação**, 2019. p. 465-468.