

## ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PRODUTOS CERÂMICOS INCORPORADOS COM RESÍDUO SÓLIDO

FRANCINE MACHADO NUNES<sup>1</sup>; EDUARDA MEDRAN RANGEL<sup>2</sup>; CRISTIANE  
FERRAZ AZEVEDO<sup>3</sup>; THOMAZ FRAZATTO CARRARA<sup>4</sup>; RUBENS  
CAMARATTA<sup>5</sup>; FERNANDO MACHADO MACHADO<sup>6</sup>;

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – francinemachadonunes@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – eduardamrangel@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – cristiane.quim@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – tf.carrara@uol.com.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – rubenscamaratta@yahoo.com.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

A incorporação de resíduos sólidos provenientes de diversas indústrias se destaca como uma alternativa para reduzir os impactos ambientais gerados pela extração de argila (GRIGOLETTI; SATTLER, 2003). Desta forma, inúmeros estudos mostram matérias-primas diversas, com concentrações e combinações diferentes, a fim de aplicar na fabricação de cerâmicos tradicionais (LEITE *et al.*, 2015; KARAYANNIS, 2016; NUNES, 2016). A lâmpada fluorescente é um exemplo de resíduo sólido que pode ser reaproveitamento como aditivo em peças cerâmicas.

As lâmpadas fluorescentes consumidas no Brasil possuem um índice baixo de descarte adequado após a sua vida útil, o que intensifica a necessidade do seu reaproveitamento em formas distintas (TAN; LI, 2014; RANGEL *et al.*, 2017). A possibilidade da utilização desse resíduo em cerâmica vermelha é notória devido a sua compatibilidade química com a argila, compatibilidade essa gerada entre os compostos a base sílica, cálcio e sódio, característicos de vidro do tipo sodocálcico (RANGEL *et al.*, 2017), e óxidos fundentes, que apresentarem.

Assim, a utilização deste resíduo pode beneficiar as propriedades físico-mecânicas dos produtos cerâmicos tradicionais, reduzindo a absorção de água e a porosidade e aumentando a resistência mecânica do material (GODINHO *et al.*, 2005; VIEIRA *et al.*, 2016). O presente trabalho tem a finalidade de avaliar propriedades físico-mecânicas de corpos de prova cerâmicos fabricados com formulações de argila e resíduo de vidro (RV) oriundo de lâmpadas fluorescentes (RV).

### 2. METODOLOGIA

Para a fabricação de 5 corpos de prova cerâmicos (CP) foram utilizadas a argila e o RV. A argila seca foi submetida à redução de granulometria por meio de moagem em moinho de bolas e, em seguida, peneirada. O RV foi adquirido posterior ao processo de descontaminação do mesmo, no qual o vapor de mercúrio é capturado através de um filtro de carvão ativado. A fração passante de argila na peneira mesh 80 (abertura 0,177mm) e passante de RV na peneira mesh 50 (abertura 0,297mm) foi reservada para elaboração das formulações. O percentual de 3% em massa de RV foi adicionado à argila. Os CP foram conformados em uma prensa hidráulica uniaxial. As dimensões da matriz de aço utilizada foi de 83x12x10mm e a carga aplicada de 5 toneladas.

Posteriormente, ocorreu o processo de secagem natural, em temperatura ambiente de  $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 h e, secagem artificial a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 h. A queima dos CP a  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  sucedeu em forno elétrico de escala de laboratório, com taxa de aquecimento de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e patamar na última temperatura de 120 min. O resfriamento dos CP foi realizado com o desligamento do forno, para posterior retirada do seu interior.

Para a tensão de ruptura à flexão em três pontos ( $R_m$ ) foi utilizada uma máquina de ensaio Instron E3000 com capacidade de aplicação de carga de até 3kN. Os CP foram arranjados em cima de dois apoios e, em seguida, aplicados uma carga concentrada no ponto médio e velocidade de descida do êmbolo em 0,8mm/min. Depois, empregando uma das metades dos CP restantes do ensaio de  $R_m$ , foram realizados os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. As pesagens dos CP foram efetuados em uma balança semi-analítica, Mart AS5500, e as medições com o auxílio de um paquímetro digital, Powerfix Z22855.

As seguintes normativas foram utilizadas para realização dos ensaios e determinação dos parâmetros físico-mecânico dos CP: contração linear de secagem ( $C_s$ ) (C-021/95), contração linear de queima ( $C_q$ ) (C-026/95), perda ao fogo ( $P_f$ ) (C-028/95), tensão de ruptura à flexão em três pontos ( $R_m$ ) (C-027/95), absorção de água ( $A_a$ ) (C-022/95), porosidade aparente ( $P_a$ ) (C-023/95) e massa específica aparente ( $M_{ea}$ ) (C-024/95).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a média aritmética dos valores encontrados para a umidade de conformação (U), contração linear de secagem e de queima, e perda ao fogo para os CP e seus respectivos desvios padrão. Esses valores correspondem aos CP de argila (FV0) e argila com a adição de RV (FV3).

Tabela 1 – Resultados encontrados para os ensaios U,  $C_s$ ,  $C_q$  e  $P_f$  para os corpos de prova cerâmicos.

Formulações	U (%)	$C_s$ (%)	$C_q$ (%)	$P_f$ (%)
FV0	$7,25 \pm 0,06$	$0,12 \pm 0,03$	$-0,17 \pm 0,03$	$4,44 \pm 0,03$
FV3	$6,51 \pm 0,73$	$0,18 \pm 0,07$	$-0,25 \pm 0,02$	$4,17 \pm 0,04$

De acordo com os valores apresentados na Tabela 1, observa-se que a adição de RV nos CP, ocasionou o decréscimo de U e  $C_s$  quando comparado aos CP contendo somente argila. Essas propriedades estão relacionadas com a diminuição da fração de argila na formulação e a substituição por RV. Os espaços vazios antes ocupados pelas partículas argilosas nos CP foram trocados pelas partículas de RV. O valor de  $C_q$  obtido para a formulação FV3 foi maior que o da FV0, já para  $P_f$ , a formulação FV3 apresentou um menor valor em relação a FV0. O parâmetro  $C_q$  geralmente diminui com o aumento de temperatura de queima. Os valores negativos encontrados podem ser relacionados à expansão dos PC (FLOSS et al., 2006), principalmente em função dos gases formados e liberados durante a queima. O valores de  $P_f$  obtidos para ambas as formulações possuem relação com a perda de massa constatada nos CP, após a queima, a medida que a temperatura aumenta. O maior valor de  $P_f$  para a formulação FV0 pode ser atribuído à liberação de hidroxila quimicamente ligada à caulinita, no qual ocorreu próximo a  $800^{\circ}\text{C}$  (NUNES, 2016).

A Tabela 2 apresenta a média aritmética dos valores encontrados para a tensão de ruptura à flexão em três pontos ( $R_m$ ), absorção de água ( $A_a$ ),

porosidade aparente (Pa) e massa específica aparente (Mea) para os CP e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 2 - Resultados encontrados para os ensaios Rm, Aa, Pa e Mea para os corpos de prova cerâmicos.

Formulações	Rm (MPa)	Aa (%)	Pa (%)	Mea (g/cm <sup>3</sup> )
FV0	3,07 ± 0,27	9,06 ± 0,45	16,30 ± 0,86	1,64 ± 0,27
FV3	2,65 ± 0,41	8,65 ± 0,56	15,4 8± 1,06	1,63 ± 0,01

A média dos valores encontrados para a formulação FV3 para Rm, Aa, Pa e Mea mostra que estes diminuíram quando relacionados à formulação FV0. A resistência mecânica dos CP com a formulação FV3 demonstrou comportamento inferior a FV0, o que pode ser atribuído à dispersão inadequada de partículas de vidro, como também, a presença de partículas grandes. Essas aglomerações de vidro nos CP dificultam a queima homogênea da estrutura (GODINHO *et al.*, 2005). Outro fator que deve ser considerado é a baixa concentração do aditivo e baixa temperatura de queima avaliada. Visto que é necessária a formação da fase vítrea e redução de tamanho de poros em temperaturas mais elevadas para obter uma melhor estrutura no material. Os demais parâmetros que envolvem a quantificação de porosidade dos PC, tais como, Aa, Pa e Mea mostraram que a adição de RV na formulação, reduz a presença de poros nos PC e, consequentemente, diminuem a absorção de água.

Comparando os resultados encontrados para Rm e Aa com os índices normativos NBR 7170 (1983) para resistência mecânica para tijolo maciço, NBR 15270-1 (2005) para resistência mecânica para blocos cerâmicos e NBR 7171 (1992) para absorção de água em tijolos maciços, todos os valores obtidos no estudo estão dentro os índices recomendados.

#### 4. CONCLUSÕES

A adição de resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes em argila favoreceu a maioria das propriedades físico-mecânicas avaliadas. Os valores encontrados para a resistência mecânica e absorção de água se encontram dentro dos índices recomendados para a fabricação de tijolos maciços e blocos cerâmicos. Desta forma, o resíduo mostrou-se praticável como aditivo em cerâmica vermelha tradicional. A análise de diferentes concentrações do resíduo em outras granulometrias e temperaturas de queima superiores são interessantes a ser investigadas. A coleta e análise de um maior número de dados com a aplicação do resíduo podem levar a compreensão da necessidade da melhor distribuição deste nos corpos de prova, como também, aprimorar a reprodutibilidade do material.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRIGOLETTI; G. C.; SATTler, M. A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.3, n.3, p. 19 – 32, 2003.
- LEITE, F. H. G.; ALMEIDA, T. F.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de chamote e casca de ovo para produção de material cerâmico. **Acta Scientiae & Technicae**, v. 3, n. 2, p. 39 – 43, 2015.

KARAYANNIS,V.G. Development of extruded and fired bricks with steel industry byproduct towards circular economy. **Journal of Building Engineering**, v. 7, p. 382-387, 2016.

NUNES, F. M. **Produção e caracterização da cerâmica vermelha com a adição de resíduos oriundos da lavagem da lã de ovinos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2016. 114 f.

TAN, Q.; LI, J. A study of waste fluorescent lamp generation in mainland China. **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 227- 233, 2014.

RANGEL, E. M.; MELO, C. C. N.; CARVALHO, C. O.; RODRIGUES, D. L. C.; OSORIO, A. G.; MACHADO, F. M. Produção de espumas vítreas de baixo impacto ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 3, n.1, p. 1-6, 2017.

GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F.; SILVA, A. G. P. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. **Cerâmica**, v. 51, p. 419 – 427, 2005.

VIEIRA, C. M. F.; Moraes, A. S. C.; Monteiro, S. N.; Delaqua, G. C. G. Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente. **Cerâmica**, v. 62, p. 376-385, 2016.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. M-CIENTEC C-020: Argilas – Determinação da Umidade de Conformação. CIENTEC, Porto Alegre, RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC C-021: Argilas – Determinação da Contração Linear de Secagem. CIENTEC, Porto Alegre, RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC C-022: Materiais cerâmicos - Determinação da absorção de água após queima. Porto Alegre - RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC C-023: Argilas – Determinação da porosidade aparente após queima. Porto Alegre - RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC C-024: Argilas – Determinação da massa específica aparente após queima. Porto Alegre - RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC C-026: Argilas – \_\_\_\_\_. Materiais cerâmicos – Determinação da contração linear de queima. Porto Alegre - RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC. C-027: Materiais cerâmicos - Determinação da tensão de ruptura à flexão após queima. Porto Alegre - RS, 1995.

\_\_\_\_\_.M-CIENTEC. C-028: Materiais cerâmicos - Determinação da perda ao fogo. Porto Alegre - RS, 1995.

FLOSS, M. F, THOMÉ, A. Adição de resíduo proveniente do corte e polimento de rochas basálticas em materiais de cerâmica vermelha. **RECIE**, v. 15, p. 1–7, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170: tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria: Rio de Janeiro, 1992. 8 p.

\_\_\_\_\_.NBR 15270-1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.