

## **A INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NA EXPANSÃO VOLUMÉTRICA E DENSIDADE DE ESPUMAS VÍTREAS**

**LUCAS JONATAS DA SILVA NASCIMENTO<sup>1</sup>; EDUARDA MEDRAN RANGEL<sup>2</sup>;  
FRANCINE MACHADO NUNES<sup>3</sup>; ALICE GONÇALVES OSÓRIO<sup>4</sup>; FERNANDO  
MACHADO MACHADO<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [lucaas.jn@gmail.com](mailto:lucaas.jn@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [eduardamrangel@gmail.com](mailto:eduardamrangel@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [francinemachadonunes@gmail.com](mailto:francinemachadonunes@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [osorio.alice@gmail.com](mailto:osorio.alice@gmail.com)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – [fernando.machado@hotmail.com.br](mailto:fernando.machado@hotmail.com.br)

### **1. INTRODUÇÃO**

A espuma vítrea (EV) é um material poroso, obtido pela adição de um agente espumante (AE) ao vidro finamente moído e queimado em temperaturas acima da temperatura de sinterização (KÖNIG, 2014; SASMAL, 2015). Durante a queima o AE libera gases que formam bolhas dispersas na matriz vítrea. O surgimento dessas bolhas de gás aumenta o volume da amostra, formando assim um produto de baixa densidade e extremamente poroso (KÖNIG, 2014). Essas estruturas possuem excelentes propriedades, tais como: baixa densidade, elevada resistência à compressão, umidade e ao fogo, não absorve água, possui baixa condutividade térmica (isolamento térmico), baixa transmissão sonora (isolante acústico), inércia química e não toxicidade (SHI et al., 2016; ZHU et al., 2016).

As EVs podem ser produzidas a partir de vidros proveniente de diversos produtos como, por exemplo, resíduos de lâmpadas, garrafas de vidro inutilizadas, vidro laminado, vidros de tubos de raios catódicos entre outros (BENZERGA et al., 2015; GONG et al., 2016). A distribuição granulométrica das partículas de vidro percorridas no processo de formação de espuma podem influenciar na densidade aparente e na morfologia dos poros, como o revelado por König et al. (2016). Partículas menores contribuem para a sinterização do pó e a formação da fase vítrea, favorecendo o aprisionamento do gás produzido pelo agente espumante, constituindo uma porosidade mais fechada.

Diante deste contexto, o presente trabalho teve por objetivo verificar como a granulometria do vidro precursor influencia na densidade e expansão volumétrica da espuma vítrea. Para tanto, foram obtidas espumas vítreas utilizando casca de ovo como AE e resíduos de vidro de lâmpada fluorescente (RVLF) com diferentes granulometrias: passantes em peneiras 100 ABNT (com abertura 149 µm) e 200 ABNT (com abertura 74 µm).

### **2. METODOLOGIA**

O resíduo de vidro de lâmpada fluorescente (previamente descontaminado) utilizado para produção dos corpos de prova (CP) foi obtido junto à empresa Recilux, após o processo de separação - descontaminação que consiste em capturar todo o vapor de mercúrio através do filtro de carvão ativado. Como AE foram utilizadas cascas de ovos sem a película interna, armazenadas em recipiente de vidro protegido de calor e umidade. A Figura 1 apresenta a metodologia em etapas para o processo de síntese e caracterização das espumas vítreas.

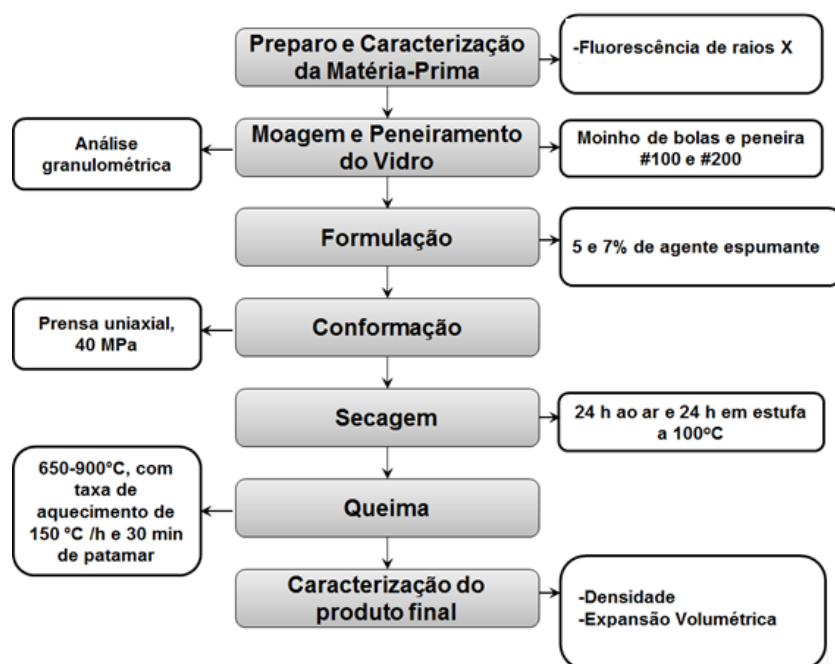


Figura 1: Fluxograma das etapas de produção e caracterização das EVs.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise química realizada por fluorescência de Raios X (Shimatzu, modelo XRF1800) do pó RVLf pode-se verificar a presença predominante de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ , típica de um vidro sodocálcico. Não foi encontrado Hg na composição do vidro, isso se justifica pela eficiência do processo de remoção utilizado pela empresa que gentilmente nos forneceu o vidro. A Tabela 1 apresenta o resultado da distribuição granulométrica do vidro sodocálcico passante nas peneiras #100 e 200, obtido por granulometria a *laser* (CILAS 1180). Pode-se verificar que o vidro apresentou diâmetro médio de partícula após moagem e peneiramento de 77,45  $\mu\text{m}$  para #100 e 32,90  $\mu\text{m}$  para #200.

Tabela 1. Distribuição granulométrica obtida por difração a *laser* do vidro sodocálcico e das cascas de ovos utilizados na obtenção das espumas vítreas.

Matéria-prima	D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>90</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>médio</sub> ( $\mu\text{m}$ )
Vidro #100	8,67	70,52	157,80	77,45
Vidro #200	5,84	29,71	63,29	32,90
Casca de ovo	1,33	15,34	42,64	19,01

As cascas de ovos apresentaram tamanho médio de partícula igual a 9,01  $\mu\text{m}$ . Um estudo recente realizado por König, Petersen e Yue (2014) relata que o tamanho máximo da partícula do AE, para uma boa formação da espuma vítrea com baixa densidade, é de 27  $\mu\text{m}$  (D<sub>90</sub>). König et al. (2016) relatam que para a formação de uma EV com baixa densidade, o tamanho máximo da partícula (D<sub>90</sub>) de vidro e do AE devem ser inferiores a 163  $\mu\text{m}$  e 27  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Os resultados de distribuição granulométrica obtidos nesse trabalho para os vidros de

lâmpadas fluorescentes e a casca de ovo apresentam características necessárias para a obtenção de um produto final de boa qualidade.

Os valores encontrados para densidade das EVs com vidro nas #100 e #200, nas temperaturas de 650 a 900 °C, utilizando casca de ovo como AE estão apresentados na Figura 2. Os resultados para #100 e #200 foram bem próximos sendo de 0,24 g cm<sup>-3</sup> para a formulação com vidro #200 e 0,28 g cm<sup>-3</sup> para a formulação com vidro #100, valores semelhantes aos comerciais, tipicamente entre 0,1 - 0,3 g cm<sup>-3</sup> (MUGONI et al., 2015). Foi possível observar que quanto mais próximo o tamanho da partícula de vidro e o AE, melhores são os resultados.

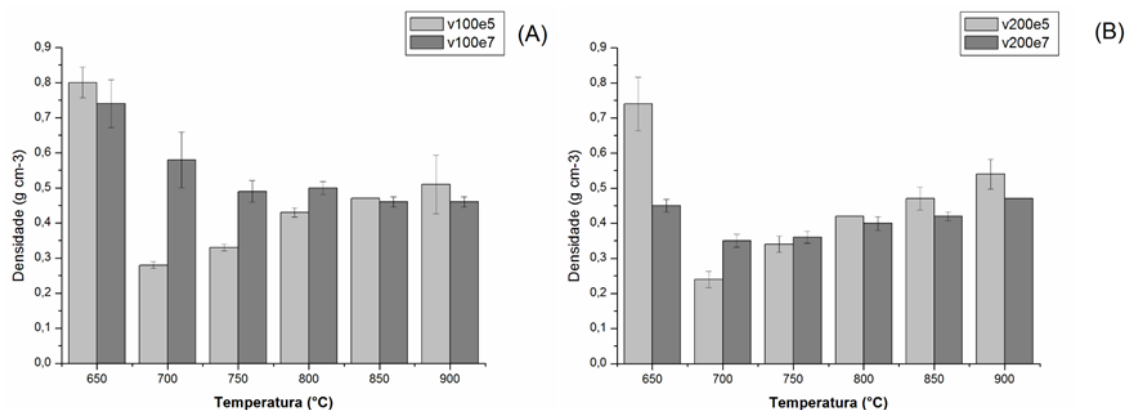


Figura 2. Densidade das EVs com (A) vidro #100 utilizando 5% e 7% de AE e (B) vidro #200 utilizando 5% e 7% de AE obtidas de 650 a 900 °C.

Os resultados de expansão volumétrica encontrados para as formulações com 5 e 7% de casca de ovo e vidros de lâmpada #100 e #200 em função da temperatura estão apresentadas na Figura 3. Através dessa é possível observar que o melhor resultado para expansão volumétrica é a 700 °C tanto para #100 quanto para #200, é possível visualizar que os CPs produzidos com vidro #200, que possui  $D_{Médio}$  de 32,90 µm tiveram, de uma forma geral, maior expansão que os CPs confeccionados com vidro #100, que possui  $D_{Médio}$  de 77,45 µm. Esse comportamento pode ser explicado provavelmente pela maior fuga de CO<sub>2</sub> liberado pela casca de ovo antes que o corpo cerâmico confeccionado com vidro #100 estivesse sinterizado e o aprisionasse nos poros fechados. Vale ressaltar que partículas maiores apresentam menor reatividade e consequentemente, demoram mais para alcançar a porosidade fechada na superfície da peça.

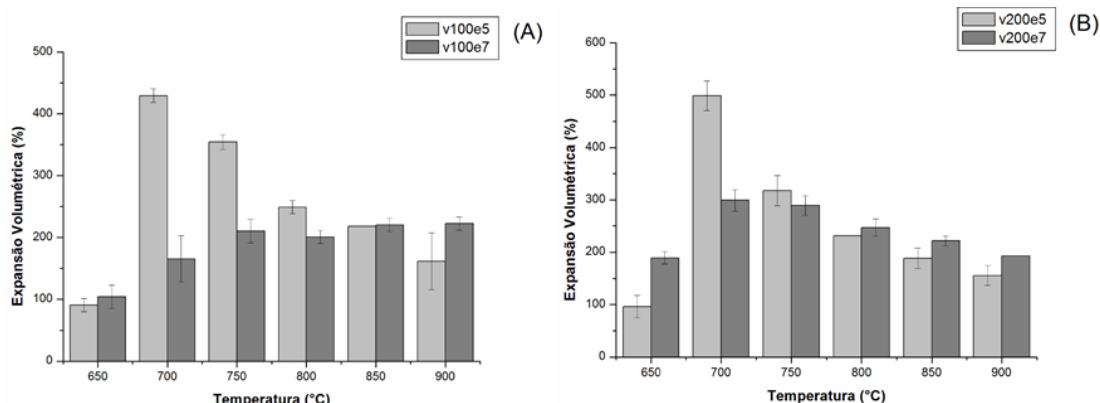


Figura 3. Expansão volumétrica para EVs com (A) vidro #100 utilizando 5% e 7% de AE e (B) vidro #200 utilizando 5% e 7% de AE obtidas de 650 a 900 °C.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível obter espumas vítreas com baixo impacto ambiental utilizando como matéria-prima o resíduo de vidro de lâmpada fluorescente e resíduo de casca de ovo como agente espumante. Ainda, foi possível determinar que a granulometria do vidro precursor é um parâmetro determinante na produção do produto de EVs. Quanto mais próximas estiver a granulometria do vidro precursor a granulometria do AE, mais eficiente é o processo de espumação e, consequentemente, maior é a expansão da peça. Os melhores resultados foram alcançados para a EV formulada com vidro # 200 e 5% de AE obtida a 700 °C, na qual se obteve expansão de 499% e densidade de 0,24 g cm<sup>-3</sup>, valor esse muito próximo da faixa de densidade de produtos comerciais. Vale ressaltar que a proposta aqui demonstrada apresenta uma alternativa para destinação final de resíduos sólidos e consequente aplicação de valor comercial para rejeitos de lâmpadas fluorescentes e cascas de ovos. Além disso, o material sintetizado é inovador, sustentável e de baixo custo, que pode desempenhar funções de isolamento acústico e térmico.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENZERGA, R.; LAURB, V.; LEBULLENGER, R.; GENDREA, L.; GENTY, S.; SHARAIHA, A.; QUEFFELEC, P. Waste-glass recycling: A step toward microwave applications. **Materials Research Bulletin**, v. 67, p.261-265, jul. 2015.

GONG, Y.; DONGOLA, R.; YATONGCHAI, C.; WRENA, A.W.; SUNDARAMA, S.K.; MELLOTTA, N.P. Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams. **Journal Of Cleaner Production**, v. 112, p.4534-4539, jan. 2016.

KÖNIG, J.; PETERSEN, R. R.; YUE, Y. Influence of the glass–calcium carbonate mixture's characteristics on the foaming process and the properties of the foam glass. **Journal Of The European Ceramic Society**. p. 1591-1598. jun. 2014.

KÖNIG, J.; PETERSEN, R. R.; YUE, Y. Influence of the glass particle size on the foaming process and physical characteristics of foam glasses. **Journal Of Non-crystalline Solids**, v. 447, p.190-197, set. 2016.

SASMAL, N.; GARAI, G.; KARMAKAR, B. Preparation and characterization of novel foamed porous glass-ceramics. **Materials Characterization**, v. 103, p.90-100, maio 2015.

ZHU, M.; JI, R.; LI, Z.; WANG, H.; LIU, L.; ZHANG, Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. **Construction And Building Materials**, v. 112, p.398-405, jun. 2016.