

Franco Tagliari

A. Pokorny, F.M. Machado, C. P. Bergmann
ftagliari@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os tubos de raios catódicos (do inglês *Cathode Ray Tubes* - CRT), representam um preocupante problema ambiental devido, principalmente, a dificuldade de reutilização e armazenamento ao final de sua vida útil. Essa dificuldade é justificada pelo alto teor de chumbo presente em sua composição (aproximadamente 25% do seu peso), que quando exposta a intempérie pode lixiviar. Eles são compostos por três partes: tela ou painel (parte da frente), funil e pescoço (parte de trás).

A produção de espumas vítreas pode ser considerada uma forma eficaz de reciclar diversos produtos de vidro, inclusive aqueles obtidos dos CRTs. Levando em conta a difícil reutilização deste tipo de resíduo, evidencia-se a necessidade de buscar alternativas para a aplicação do mesmo, como por exemplo, a fabricação de produtos rentáveis, tais como as espumas vítreas. Este produto pode ser utilizado como isolante térmico em construções industriais e estruturas comerciais, em telhados e paredes.

2. OBJETIVOS

- O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre a temperatura de queima, o agente espumante e as porosidades obtidas em espumas vítreas conformadas a partir de resíduos de vidro de tubos de raios catódicos (CRTs) e carbeto de silício (SiC) e carbonato de cálcio (CaCO₃), utilizados como agentes espumantes, com vistas à aplicação como isolante térmico na construção civil.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

- Resíduos de vidro de tubos de raios catódicos (CRTs). O processo de obtenção do material envolveu separação, moagem e classificação granulométrica na peneira 150 ABNT (45 µm);
- Carbeto de silício (SiC);
- Carbonato de cálcio (CaCO₃).

3.2 Métodos - Produção da Espuma Vítreas

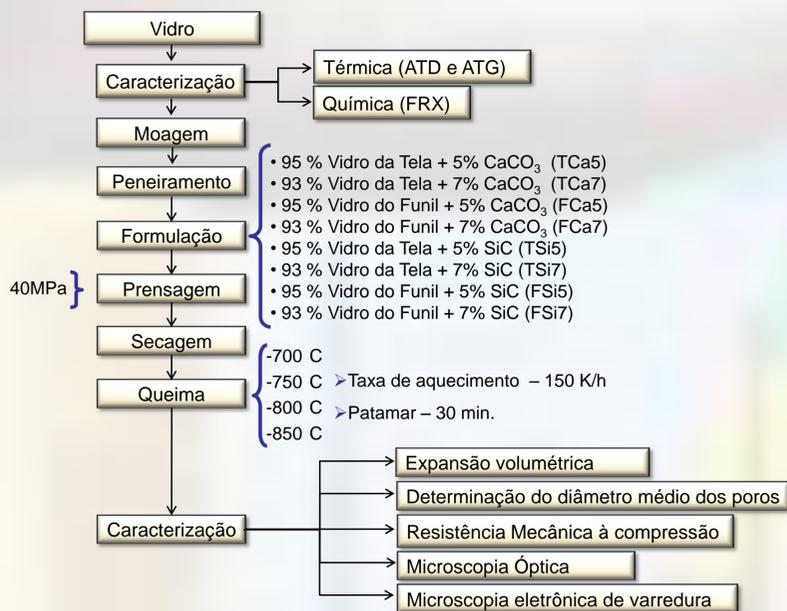


Figura 1 - Fluxograma da metodologia desenvolvida neste trabalho.

Tabela 1 - Composição química por fluorescência de raios-X dos vidros oriundos da tela e do funil dos CRTs.

Oxidos	Vidro da Tela (%)	Vidro do Funil (%)
SiO ₂	56,84	50,58
PbO	0,99	31,35
SrO	14,63	0,66
BaO	11,52	0,38
K ₂ O	8,32	8,38
ZrO ₂	2,55	---
Al ₂ O ₃	1,62	1,60
Na ₂ O	1,39	1,31
ZnO	0,64	0,09
TiO ₂	0,60	---
CaO	0,42	3,50
Fe ₂ O ₃	0,15	0,30
MgO	0,15	1,03

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da expansão volumétrica

Com o intuito de avaliar a expansão volumétrica, desenvolveu-se as formulações com vidros CRTs do funil e da tela. Nestes vidros, adicionou-se agente espumante em dois teores, 5 e 7%. Os agentes espumantes testados foram SiC e CaCO₃.

O gráfico das Figuras 2a e 2b apresentam os resultados da expansão volumétrica dos corpos cerâmicos com (a) 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de funil e (b) 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de tela, em função da temperatura de queima.

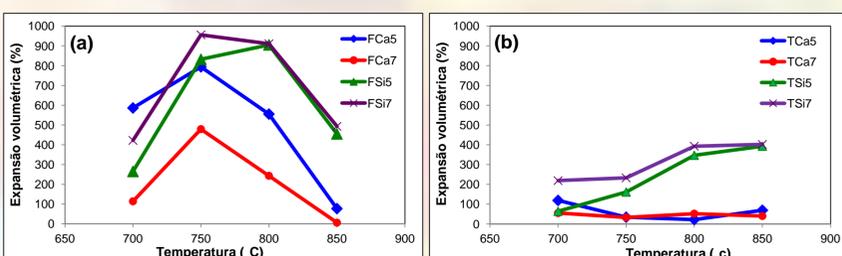


Figura 2 - Variação da expansão volumétrica em função da temperatura de queima de espumas vítreas formuladas com 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de funil (a) e 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de tela (b).

A partir da Figura 2a é possível verificar que a maioria das formulações apresentou uma expansão máxima na temperatura de 750 C. O mesmo não aconteceu para FSi5, que obteve expansão máxima a 800 C. A maior expansão dos corpos cerâmicos foi obtida utilizando-se 7% de SiC como agente espumante (FSi7), em torno de 956%. Como era de se esperar, o maior teor de agente espumante promoveu uma maior expansão.

A Figura 2b mostra que o CaCO₃ e o SiC apresentaram temperaturas de expansão máxima distintas. Para o agente espumante CaCO₃ a expansão máxima ocorreu a 700 C, temperatura esta bem inferior à temperatura de maior expansão dos corpos cerâmicos com SiC, 800 C. Comparando os dois agentes espumantes utilizados, verifica-se que o SiC proporcionou uma expansão consideravelmente maior. Neste caso, provavelmente o SiC tenha reagido com o PbO dentro da estrutura do vidro, formando CO₂.

Através dos resultados da Figura 2 (a) e (b), conclui-se que a reação de redução promovida pelo SiC é mais eficaz que a decomposição do CaCO₃ na produção de CO₂. Em relação ao vidro, observa-se que o vidro do funil proporcionou maior expansão que o vidro da tela. Isto pode ser atribuído ao maior percentual de óxidos de metais pesados, presentes na composição do vidro do funil (Tabela 1).

4.2 Análise do diâmetro médio dos poros

A Figura 3 apresenta os valores do diâmetro médio dos poros dos corpos cerâmicos com 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) utilizando-se vidro de funil (a) e 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) utilizando-se vidro de tela (b) em função das diferentes temperaturas de queima.

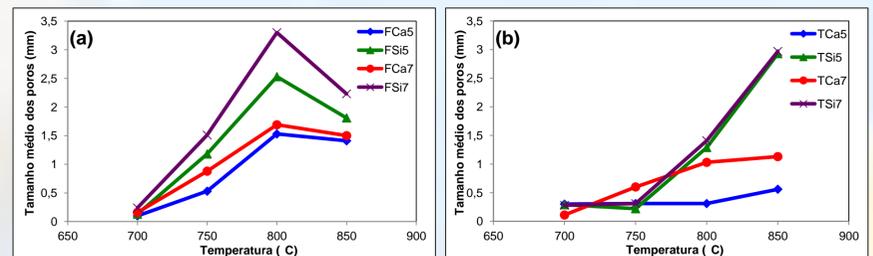


Figura 3 - (a) Diâmetro médio dos poros dos corpos cerâmicos com 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de funil (a) e 5% e 7% de agente espumante (SiC e CaCO₃) e vidro de tela (b) em função da temperatura de queima.

Através da Figura 3a, pode-se observar que o maior diâmetro médio dos poros foi obtido a 800 C. Assim como ocorreu na expansão volumétrica (Figura 2a), as amostras com SiC além de apresentarem a maior expansão, apresentaram poros maiores. Já, utilizando-se o vidro da tela (Figura 3b), a temperatura que proporcionou poros maiores foi a 850 C. Os diâmetros médios dos poros das amostras variaram bastante, conforme a expansão volumétrica. Os valores ficaram entre 0,10 e 3,30 mm.

4.3 Avaliação da resistência mecânica à compressão

A Figura 4 apresenta a avaliação da resistência mecânica à compressão dos corpos-de-prova com SiC e CaCO₃ com vidro de funil, sinterizadas nas temperaturas de 750 C e 800 C. Estas condições foram as que proporcionaram maior expansão.

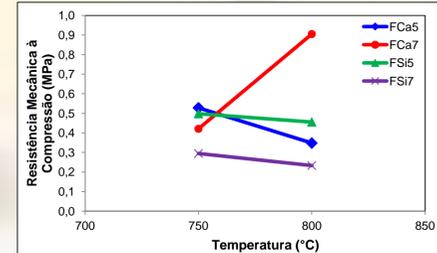


Figura 4 - Avaliação da resistência mecânica à compressão dos corpos-de-prova com 5 e 7% de SiC e CaCO₃ com vidro de funil, sinterizadas nas temperaturas de 750 C e 800 C.

Através da Figura 4, pode-se observar que a resistência mecânica à compressão não chegou a apresentar uma tendência muito definida. Isto provavelmente ocorreu devido à existência de poros, que podem atuar como fragilizadores da estrutura. A formulação FSi7 que apresentou a maior expansão volumétrica, apresentou a menor resistência mecânica. Os valores de resistência mecânica obtidos ficaram entre 0,23 e 0,91 MPa. Alguns corpos cerâmicos apresentaram valores de resistência mecânica superiores aos valores encontrados em produtos comerciais, em torno de 0,62 MPa.

4.4 Avaliação da microestrutura por microscopia óptica e MEV

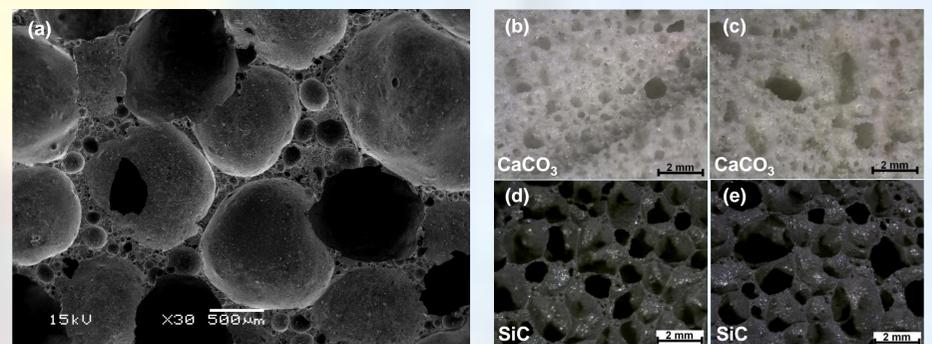


Figura 5 - (a) Imagem obtida por MEV do corpo cerâmico FSi7; microscopia óptica do corpo cerâmico (b) FCa5; (c) FCa7; (d) FSi5 e (e) FSi7, todos sinterizados a 750°C.

A Figura 5a apresenta uma micrografia obtida por MEV da microestrutura da espuma vítreas FSi7 queimada a 750°C. Analisando-se esta imagem observa-se paredes espessas e uma distribuição dupla de tamanho de poros, ou seja, há a presença de poros menores circundando os poros maiores. Essa distribuição dupla pode induzir fenômenos de coalescência ou crescimento de poros, quando os poros menores são susceptíveis de serem dissolvidos em poros maiores, o que é favorecido pela diminuição da energia superficial do sistema.

Pelas imagens obtidas das microestruturas das amostras formuladas com vidro do funil, pode-se observar que o SiC (Figura 5d e 5e) proporcionou maior homogeneidade e maior tamanho dos poros nos corpos cerâmicos produzidos, quando comparadas às microestruturas das amostras com CaCO₃. Além disso, verificou-se que o maior teor de agente espumante favoreceu o fenômeno de coalescência dos poros (Figura 5c e 5e).

5. CONCLUSÕES

- Foi possível obter espumas vítreas a partir de pó de vidro oriundo de CRTs, utilizando CaCO₃ e SiC como agente espumante;
- As temperaturas de queima de 750 C e 800 C foram as que mais favoreceram a expansão dos corpos-de-prova;
- O vidro do funil se mostrou mais promissor na produção de espumas vítreas quando comparado ao vidro da tela;
- Com relação aos agentes espumantes, o SiC foi o que proporcionou maior expansão. A maior expansão foi obtida pelo corpo cerâmico sinterizado a 750 C com vidro do funil e 7% de SiC (FSi7), em torno de 956%;
- O diâmetro médio dos poros apresentou um comportamento correspondente à expansão volumétrica dos corpos cerâmicos. Para a maioria dos corpos cerâmicos, uma maior expansão volumétrica levou a um maior diâmetro médio dos poros e uma menor expansão volumétrica levou a um menor diâmetro médio dos poros. As amostras com SiC além de apresentarem a maior expansão, apresentaram poros maiores. Os valores dos diâmetros médios dos poros ficaram entre 0,10 e 3,30 mm;
- Os valores de resistência mecânica obtidos ficaram entre 0,23 e 0,91 MPa. Alguns corpos cerâmicos apresentaram valores de resistência mecânica superiores aos valores encontrados em produtos comerciais, em torno de 0,62 MPa;
- SiC proporcionou maior homogeneidade e maior tamanho dos poros nos corpos cerâmicos produzidos, quando comparadas às microestruturas das amostras com CaCO₃. Além disso, verificou-se que o maior teor de agente espumante favoreceu o fenômeno de coalescência dos poros.