

André Luiz Dultra

A. Pokorny, J. Vicenzi, C. P. Bergmann  
andredultra@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, surgiu uma preocupante questão ambiental devido à produção de grandes quantidades de resíduos, gerados pela intensa atividade industrial a nível mundial. Isto tem tornado cada vez mais presente a necessidade da utilização de tecnologias alternativas nos processos produtivos que visem à diminuição ou até mesmo a total eliminação dos resíduos gerados.

Uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos de vidro é o desenvolvimento da espuma vítrea, que é particularmente atrativo, pois grandes quantidades de resíduos de vidro podem ser utilizadas como matéria-prima para possível reuso em produtos comerciais, obtendo-se, assim, produtos com menor custo. Além disso, esses materiais poderão substituir os materiais usualmente utilizados como isolantes, aliando boas propriedades, tais como baixa densidade, baixa condutividade térmica e boa estabilidade térmica e química, com reaproveitamento de resíduos de vidro, minimizando assim o impacto ambiental causado por estes.

Estes produtos são obtidos pela adição de um agente espumante ao vidro finamente moído e queimados em temperaturas acima do ponto de amolecimento do vidro. Esta temperatura é então mantida até que o gás liberado pelo agente espumante seja capturado na estrutura do vidro, formando uma grande quantidade de poros.

A distribuição dos poros, tamanho e estabilidade é um fator importante para a qualidade da espuma vítrea. O raio inicial das bolhas pode ser ajustado pelo tamanho de grão do pó de vidro inicial. O tamanho final das bolhas depende da taxa de crescimento das mesmas e a coalescência destas a altas temperaturas e a baixa viscosidades (Steiner e Beerkens, 2001). A forma dos poros e as propriedades da espuma vítrea obtida dependem, em grande parte, da concentração e do tipo do agente espumante usado (Spiridinov e Orlova, 2003).

Assim, para que se possa obter a microestrutura desejada (distribuição, forma e tamanho dos poros), favorecendo assim, o surgimento das propriedades de interesse, se faz necessário investigar a relação entre a composição química das matérias-primas e o teor de  $CO_2$  liberado durante a queima. É neste contexto que se insere este trabalho.



Figura 1 - Amostras de espumas vítreas – atualmente, em larga utilização como isolantes termoacústicos na construção civil.

## 2. OBJETIVOS

- Avaliar a relação entre a composição química e as porosidades obtidas em espumas vítreas conformadas a partir de vidro sodo-cálcico e um carbonato sintético, utilizado como agente espumante, com composição semelhante à de um calcário dolomítico comercial, aditivado com diferentes óxidos ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ );
- Reaproveitar os resíduos de vidro de forma rentável e ecologicamente eficiente, já que o vidro é reciclado.

## 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.1 Materiais

- Carbonato sintético obtido misturando-se carbonatos de cálcio e magnésio puros grau P.A.. Através de cálculos estequiométricos da quantidade de cada carbonato presente no calcário dolomítico, obteve-se as quantidades de 40,978 g de  $MgCO_3$  e 51,803 g de  $CaCO_3$ ;
- Óxidos que constituem o calcário dolomítico comercial, cujas presenças influenciam suas propriedades ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ );
- Vidro sodo-cálcico oriundo de embalagens (garrafas) de vidro transparente. O processo de obtenção do material envolveu lavagem, secagem a seco, moagem e classificação granulométrica na peneira 150 ABNT (45  $\mu m$ ).

### 3.2 Métodos - Produção da Espuma Vítrea

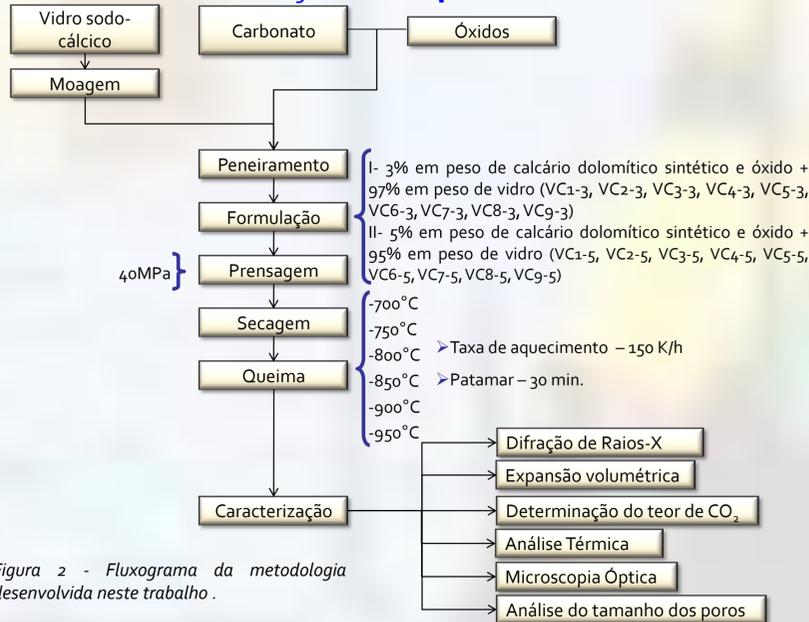


Figura 2 - Fluxograma da metodologia desenvolvida neste trabalho.

O calcário dolomítico é caracterizado pelas presenças de carbonato de cálcio e magnésio na sua composição. Então, para fazer a formulação do carbonato sintético a partir de carbonatos puros, primeiramente fez-se um cálculo estequiométrico de quanto de carbonato de magnésio e de cálcio se formaria, levando-se em consideração a composição química de um calcário comercial. Cada formulação que foi estudada é constituída das quantidades calculada de carbonato de cálcio e magnésio e ainda será inserido, separadamente, cada óxido puro ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ ).

Tabela 1 – Nomenclatura das formulações.

Nomenclatura	Óxido adicionado	Mistura de calcário e óxido (g)			Matérias-primas (% em peso)	
		$CaCO_3$	$MgCO_3$	Óxido	Vidro	Mistura de calcário e óxido
VC1-3	$SiO_2$	40,978	51,804	13,81	97	3
VC1-5	$SiO_2$	40,978	51,804	13,81	95	5
VC2-3	$Al_2O_3$	40,978	51,804	0,95	97	3
VC2-5	$Al_2O_3$	40,978	51,804	0,95	95	5
VC3-3	$Fe_2O_3$	40,978	51,804	0,8	97	3
VC3-5	$Fe_2O_3$	40,978	51,804	0,8	95	5
VC4-3	$MnO_2$	40,978	51,804	0,02	97	3
VC4-5	$MnO_2$	40,978	51,804	0,02	95	5
VC5-3	$Na_2O$	40,978	51,804	0,18	97	3
VC5-5	$Na_2O$	40,978	51,804	0,18	95	5
VC6-3	$K_2O$	40,978	51,804	0,28	97	3
VC6-5	$K_2O$	40,978	51,804	0,28	95	5
VC7-3	$TiO_2$	40,978	51,804	0,03	97	3
VC7-5	$TiO_2$	40,978	51,804	0,03	95	5
VC8-3	$P_2O_5$	40,978	51,804	0,05	97	3
VC8-5	$P_2O_5$	40,978	51,804	0,05	95	5
VC9-3	-----	40,978	51,804	-----	97	3
VC9-5	-----	40,978	51,804	-----	95	5

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise da expansão volumétrica

Com o intuito de avaliar a expansão volumétrica, desenvolveu-se as formulações com vidro sodo-cálcico (97% e 95%) e o carbonato sintético, obtido pela mistura de  $CaCO_3+MgCO_3$  e cada óxido separadamente. Esta mistura foi adicionada ao vidro nas quantidades de 3 e 5%.

O gráfico das Figuras 3a e 3b apresentam os resultados da expansão volumétrica dos corpos cerâmicos com (a) 3% de carbonato sintético + óxidos com 97% de vidro sodo-cálcico e (b) 5% de carbonato sintético + óxidos com 95% de vidro sodo-cálcico, em função da temperatura de queima.

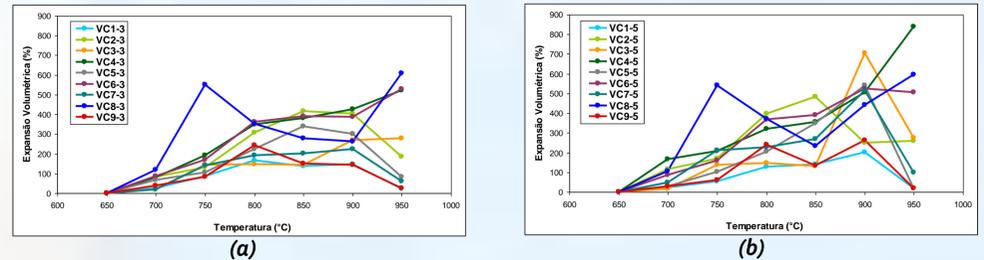


Figura 3 - Variação da expansão volumétrica em função da temperatura de queima de espumas vítreas formuladas com 3% (a) e 5% (b) de carbonato sintético obtido através da mistura de 40,978 g de  $MgCO_3$  e 51,803 g de  $CaCO_3$  e os diferentes óxidos.

Através do gráfico da Figura 3a e 3b, pode-se observar que a expansão volumétrica dos corpos cerâmicos tende a aumentar a medida que eleva-se as temperaturas de sinterização. Este comportamento é observado em todas as formulações até a temperatura de 900°C. A partir desse ponto, a expansão é diferenciada para cada óxido, podendo haver expansão ou contração. A contração provavelmente ocorre devido à vitrificação do corpo cerâmico, ocasionada pela alta temperatura de queima.

Uma análise separada de cada óxido nos mostra que os melhores resultados de expansão ocorreram com as formulações compostas de  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  e  $P_2O_5$ .

A Figura 4 apresenta imagens dos corpos cerâmicos antes e após a queima.

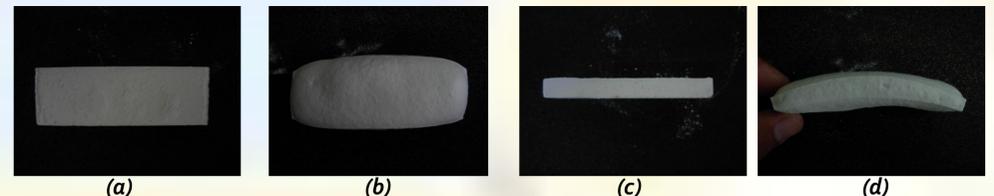


Figura 4 - Imagens de corpos cerâmicos antes e depois da queima. Em (a), formulação de 5% de calcário dolomítico sintético e  $MnO_2$  + 97% de vidro antes da queima; em (b), o mesmo corpo cerâmico expandido após queima na temperatura de 850°C. Em (c) e (d), o mesmo corpo cerâmico, antes e depois da queima na mesma temperatura, respectivamente, de outra perspectiva.

### 4.2 Análise Térmica e Quantificação do teor de $CO_2$

A Figura 5a apresenta a análise térmica da mistura de  $CaCO_3 + MgCO_3$  e  $P_2O_5$ ,  $MnO_2$  e  $Fe_2O_3$  que foram os óxidos que proporcionaram maiores valores de expansão volumétrica quando misturados ao vidro. Para comparação, adicionou-se ainda nesta figura a análise térmica do carbonato sintético sem nenhum óxido ( $CaCO_3 + MgCO_3$ ). A Figura 5b apresenta os valores de  $CO_2$  quantificados pelo analisador de gases durante a queima.

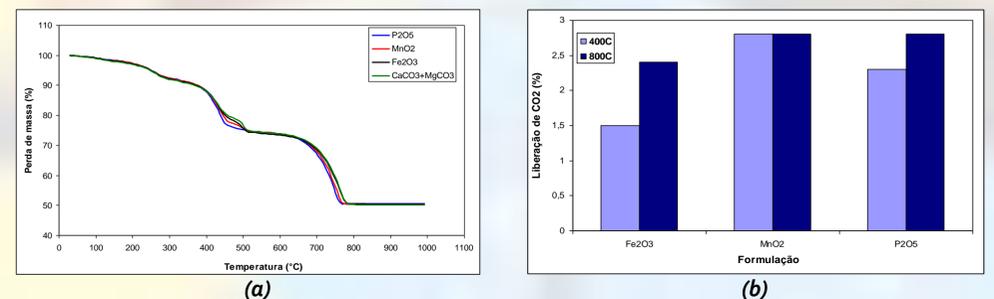


Figura 5 - (a) Análise termogravimétrica das formulações com maiores valores de expansão volumétrica e (b) quantificação do teor de  $CO_2$  nas temperaturas de 400°C e 800°C, que foram as temperaturas que houve uma maior liberação de  $CO_2$ .

Através da Figura 5a, pode-se observar uma banda endotérmica entre as temperaturas de 450°C e 780°C. Provavelmente, nesta faixa de temperatura esteja ocorrendo uma perda de massa devido a dissociação dos carbonatos de cálcio e magnésio e liberação de  $CO_2$ . Este fato é confirmado com a análise feita para determinar o teor de  $CO_2$  liberado pelas formulações de  $CaCO_3+MgCO_3$  e  $Fe_2O_3$ ,  $CaCO_3+MgCO_3$  e  $MnO_2$  e  $CaCO_3+MgCO_3$  e  $P_2O_5$  (Figura 5b). Pela Figura 5b verifica-se que há uma liberação considerável de  $CO_2$  na temperatura de 400°C e este fenômeno é repetido na temperatura de 800°C, só que, com maior intensidade.

### 4.3 Análise do diâmetro médio dos poros

Para avaliação do tamanho dos poros, selecionou-se as formulações e as temperaturas onde se obteve maiores valores de expansão volumétrica. A Tabela 2 apresenta os valores do diâmetro médio dos poros dos corpos cerâmicos com 3% e 5% de calcário dolomítico sintético (VC3-3, VC3-5, VC4-3, VC4-5, VC8-3, VC8-5) nas temperaturas de 750°C, 900°C e 950°C.

Tabela 2 – Diâmetro médio dos poros dos corpos cerâmicos.

Amostras	Diâmetro médio dos poros (mm)		
	750°C	900°C	950°C
VC3-3	0,200	0,270	0,390
VC3-5	0,257	0,877	0,495
VC4-3	0,103	0,293	0,583
VC4-5	0,219	0,538	0,502
VC8-3	0,309	0,376	0,497
VC8-5	0,191	0,314	0,436

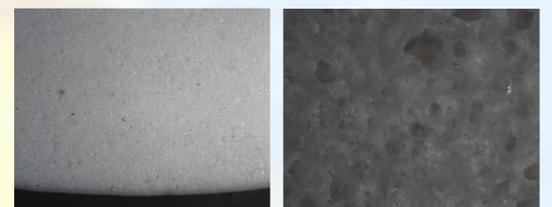


Figura 6 - Imagens obtidas em lupa dos corpos cerâmicos VC4-3 a 750°C e VC3-5 a 900°C, cujos resultados foram o de menor e maior média de tamanho dos poros, respectivamente.

## 5. CONCLUSÕES

- Os resultados mostraram que há relação direta entre o teor dos óxidos que compõem os corpos cerâmicos e a expansão volumétrica dos mesmos, assim como da temperatura a que são submetidos a sinterização;
- Quanto maior o teor do carbonato sintético e óxido na formulação, mais intenso foi o processo de expansão, para uma mesma temperatura de queima;
- A formulação que apresentou maior valor de expansão volumétrica foi aquela com 5% de carbonato sintético com adição de  $MnO_2$  e  $Fe_2O_3$  a 950°C. Os valores de expansão volumétrica destes corpos cerâmicos foram 840% e 700%, respectivamente;
- Na análise termogravimétrica a perda de massa ocorre devido a dissociação dos carbonatos de cálcio e magnésio e liberação de  $CO_2$ . As maiores perdas de massa ocorrem a 800°C. Este fato pode ser confirmado pelo ensaio de determinação do teor de  $CO_2$  que apresentou maiores teores de  $CO_2$  liberados nesta temperatura;
- O diâmetro médio dos poros dos corpos cerâmicos está relacionado ao teor de carbonato sintético e ao óxido adicionado na formulação e à temperatura de queima. O diâmetro médio tende a aumentar com a temperatura de queima e o teor de carbonato sintético na formulação.