SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ESPUMAS DE VIDRO CONTENDO PENTÓXIDO DE NIÓBIO

Isabelle Maysa Trevizan (PIBIC/CNPq), Rafael Eiji Saito, Robson Couto da Silva, Sergio Tebcherani, Evaldo Toniolo Kubaski (Orientador), e-mail: evaldotk@outlook.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia de Materiais.

Engenharia de Materiais e Metalúrgica. Materiais não Metálicos.

Palavras-chave: Espuma de vidro, reciclagem de vidro, pentóxido de nióbio

Resumo

Uma forma alternativa de reciclar o vidro é a produção de espumas de vidro, que pode ser utilizada como isolante térmico e como isolante acústico. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do pentóxido de nióbio como agente de reforço. Foram analisadas amostras contendo 3%, 6%, 9% e 12% de pentóxido de nióbio, além de amostras sem pentóxido de nióbio. As caracterizações realizadas foram picnometria de hélio, caracterização física, microscopia eletrônica de alta resolução e ensaio de resistência a flexão. As densidades das espumas variaram de 0,12 g/cm^3 para a composição com 3% de pentóxido de nióbio a 0,25 g/cm^3 para a composição de 12% de pentóxido de nióbio. A adição pentóxido de nióbio aumentou a resistências a flexão das espumas, passando de 0,53 MPa para a composição sem Nb_2O_5 até 1,02 MPa para a composição contendo 12% pentóxido de nióbio.

Introdução

O vidro é um dos materiais mais utilizados no mundo devido ao bom conjunto de propriedades que ele possui, como transparência, baixa condutividade térmica, durabilidade, além do baixo custo considerando que o principal componente do vidro é a sílica (SiO_2). Milhões de toneladas de vidro são produzidas todos os anos, países da Europa reciclam em média 74% do vidro produzido, nos Estados Unidos apenas 27% é reciclado, enquanto no Brasil 49% do vidro é reciclado [1-3].

Uma forma de reciclagem alternativa para o vidro é a produção de espumas de vidro, que podem ser utilizadas como isolante acústico e térmico, como por exemplo, na construção civil. Algumas propriedades das espumas de vidro são: baixa densidade, rigidez, baixa condutividade térmica, elevada resistência à compressão, ampla faixa de temperatura para aplicações, não inflamável, quimicamente inerte e longevidade [4,5].

As espumas de vidro podem ser obtidas a partir da sinterização de uma mistura de pó de vidro, agentes espumantes e outros tipos de agentes como, por exemplo, um agente de reforço que tem como objetivo melhorar as propriedades mecânicas da espuma. Estudos relatam a utilização de óxidos como Fe_2O_3, Co_3O_4, MnO como agentes de reforço resultando em poros menores, com uma distribuição de tamanho de poros menores e consequentemente uma resistência mecânica maior.A escolha da utilização de pentóxido de nióbio como agente de reforço justifica-se pelo fato de o Brasil possuir as maiores reservas minerais de nióbio do mundo; o total atual estimado é de 2,7 milhões de toneladas no mundo e o Brasil possui 96,3% deste valor [4,7].

ISSN 1676-0093

Material e Métodos

Foi realizada inicialmente a lavagem dos pedaços de vidro plano comercial, utilizando água e detergente neutro em um equipamento de ultrassom. Para obter o pó de vidro, o vidro foi moído a úmido em um moinho de bolas por 16 h para garantir a moagem efetiva, o qual ficou em seguida 24 h em uma estufa a 100 ºC para a secagem. Após a secagem, o vidro foi peneirado em peneira malha 200 mesh. Para a preparação das composições das espumas de vidro foi utilizado pentóxido de nióbio (99,3%,CBMM), hidróxido de sódio (grau Rayon, Unipar Cabocloro S/A) e bórax pentahidratado (99,5%, dinâmica) , seguindo as proporções indicadas na Tabela 1 [5, 8].

Tabela 1 – Composição das espumas de vidro (% em massa)

Composição	Vidro Plano(%)	NaOH(%)	Bórax (%)	*Nb_2O_5 (%)
1	85	10	5	0
2	82	10	5	3
3	79	10	5	6
4	76	10	5	9
5	73	10	5	12

*Como não encontramos artigos utilizando Nb_2O_5 definimos esta faixa inicial para avaliar o comportamento do óxido na espuma.

Fonte: A autora.

A homogeneização de cada mistura foi realizada a úmido em um moinho excêntrico por 10 min, onde em seguida cada composição foi seca em uma estufa por 24 h. Após a secagem foi realizado o peneiramento de cada composição em peneira malha 200 mesh. A compactação dos corpos de prova foi realizada em uma máquina universal de ensaios, com uma pressão de 5 MPa. Os corpos de prova foram sinterizados a 750 ºC por 15 min com taxa de aquecimento de 10 ºC/min, na atmosfera do ambiente. As espumas foram caracterizadas através de picnometria de hélio, caracterização física pelo método de Arquimedes, microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo e ensaio de resistência à flexão. Para os resultados obtidos de caracterização física foi realizada uma análise estatística de variância e a comparação entre as médias utilizando o Método Tukey [5, 8].

Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos em relação a caracterização física para cada composição.

Tabela 2 – Resultados caracterização física

Composição Nb_2O_5	0%	3%	6%	9%	12%
Densidade geométrica (g/cm³)	$0,17\pm0,02^{d}$	$0,12\pm0,02^{e}$	$0,23\pm0,03^{b}$	$0,21\pm0,020^{c}$	$0,25\pm0,02^{a}$
Expansão Volumétrica (%)	$521,47\pm75,58^{b}$	$707,55\pm117,82^{a}$	$344,91\pm44,57^{c}$	$366,04\pm35,06^{c}$	$255,24\pm24,08^{d}$
Porosidade Aparente (%)	$35,55\pm3,47^{a}$	$37,20\pm7,99^{a}$	$20,49\pm4,97^{b}$	$19,60\pm5,48^{b}$	$17,79\pm2,78^{b}$
Porosidade fechada (%)	$52,49\pm3,33^{b}$	$50,59\pm8,24^{b}$	$68,01\pm4,66^{a}$	$70,03\pm5,03^{a}$	$69,93\pm2,22^{a}$
Porosidade total (%)	$88,05\pm1,10^{b}$	$87,79\pm1,58^{b}$	$88,50\pm1,29^{b}$	$89,63\pm0,72^{a}$	$87,71\pm1,04^{b}$
Absorção de água (%)	$119,52\pm18,25^{a}$	$124,45\pm29,84^{a}$	$72,77\pm24,43^{b,c}$	$74,82\pm24,33^{b}$	$56,79\pm12,65^{c}$
Densidade aparente (g/cm³)	$0,47\pm0,04^{a}$	$0,49\pm0,10^{a}$	$0,36\pm0,04^{b,c}$	$0,33\pm0,19^{c}$	$0,39\pm0,02^{b}$
Densidade aparente total (g/cm³)	$0,30\pm0,03^{a,b}$	$0,30\pm0,04^{a,b}$	$0,29\pm0,03^{b}$	$0,27\pm0,01^{c}$	$0,32\pm0,03^{a}$

*Valores com letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey, possuindo um nível de confiança de 95%.

Fonte: A Autora.

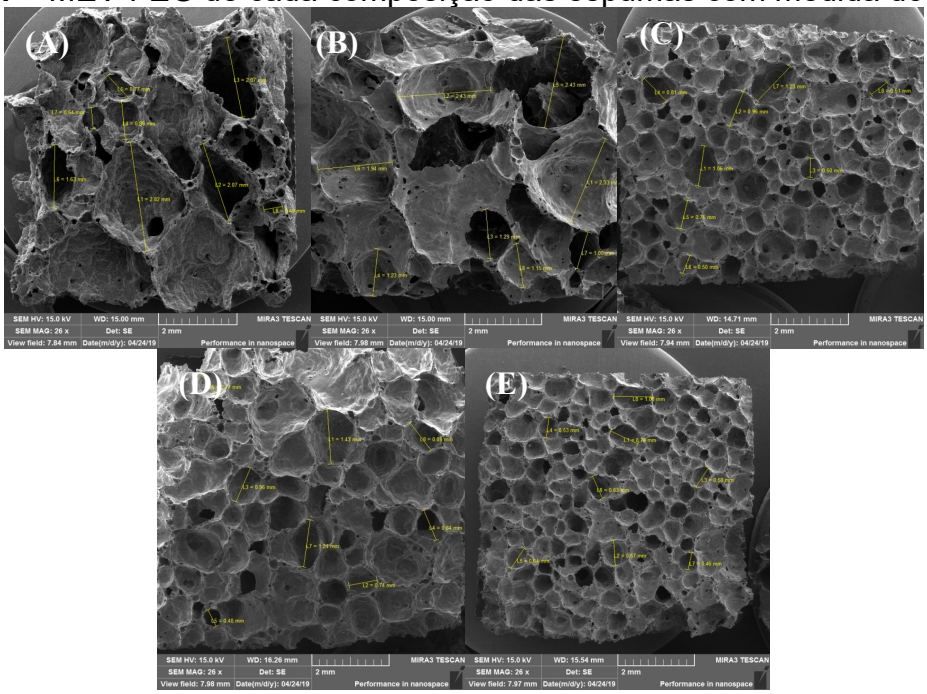
Pode-se observar que ocorreu um aumento da densidade geométrica com o aumento de Nb_2O_5 na composição, o qual já era esperado considerando que a densidade deste óxido é de 4,6 g/cm³. Era esperado que a composição sem Nb_2O_5 apresenta-se os menores valores de densidade e os maiores de expansão volumétrica, porém não foi o obtido, isso pode ser explicado devido a grande inércia térmica do forno (taxa de resfriamento de 2,1ºC/min.), fazendo com que os corpos

de prova permanecessem em altas temperaturas por muito tempo, fazendo com que os poros coalescessem diminuindo a expansão volumétrica. Com o aumento de Nb_2O_5 na composição ocorreu uma diminuição da expansão volumétrica, devido ao aumento da viscosidade da composição ao se adicionar o Nb_2O_5, impedindo que o gás escapasse do material e aumentando a pressão de gás necessária para a ocorrência do processo de expansão.

Todas as composições apresentaram uma porosidade total semelhante, porém as composições com 0% e 3% de Nb_2O_5 obtiveram maiores porosidade aparente e menor porosidade fechada em comparação com as composições contendo 6%, 9% e 12% de Nb_2O_5. Isto evidencia que com a adição do Nb_2O_5 os gases gerados encontraram maior dificuldade para sair do material, ficando aprisionados dentro do material. As composições 0% e 3% de Nb_2O_5 apresentaram as maiores absorções de água, pois possuem uma maior porosidade aparente, enquanto a composição com 12% apresentou a menor absorção de água. Em relação à densidade aparente as composições com 0% e 3% de Nb_2O_5 obtiveram os maiores valores, pois a densidade aparente considera apenas a fração sólida e os poros fechados, enquanto a densidade aparente total considera todo o material.

As imagens obtidas por meio da microscopia eletrônica de varredura estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – MEV-FEG de cada composição das espumas com medida dos poros.



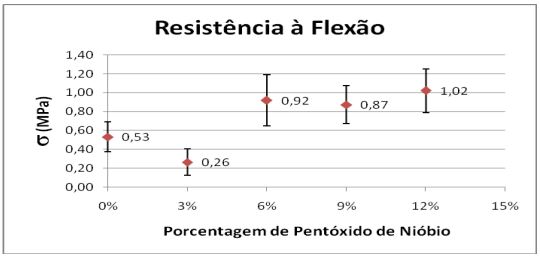
(A)Composição sem Nb, (B) Composição 3%Nb, (C) Composição 6%Nb, (D) Composição 9%Nb, (E) Composição 12%Nb.

Fonte: A Autora.

Para composição sem o Nb_2O_5 (Figura 1A) o diâmetro médio dos poros foi de 1,42±0,86 mm, para as composições com 3, 6 e 9% de Nb_2O_5 (Figura 1B, 1C e 1D, respectivamente) o diâmetro médio dos poros foi de 1,72±0,62 mm, 0,79±0,28 mm, 0,92±0,30 mm respectivamente. Por fim, para a composição com 12% de Nb_2O_5 (Figura 1E) o diâmetro médio dos poros foi de 0,66±0,17 mm. A partir dessas imagens (Figura 1) pode-se observar que com o aumento da concentração de Nb_2O_5 menores e mais homogêneos são os poros.

O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à flexão.

Gráfico 1 – Resistência à Flexão



Fonte: A Autora.

Pode-se observar que as composições com 6%, 9% e 12% de Nb_2O_5 apresentaram os maiores valores de resistência a flexão. Os valores de resistência a flexão para as composições com 0%, 6%, 9% e 12% de Nb_2O_5 condizem com a resistências à flexão de espumas de vidro comerciais que variam de 0,48 MPa a 1,6 MPa [6].

Conclusão

As formulações propostas para a obtenção de espumas de vidro se mostraram eficientes. Os valores de densidade geométrica variaram de 0,12 g/cm^3 para a composição com 3% de pentóxido de nióbio a 0,25g/cm^3 para a composição de 12% de pentóxido de nióbio, sendo valores satisfatórios para sua aplicação. As composições com 6%, 9% e 12% de pentóxido de nióbio apresentaram uma menor porosidade aparente e maior porosidade fechada que as demais composições, sendo este um fator importante para espumas de isolamento térmico. As composições com melhores resistências à flexão foram as de 6%, 9%, e 12%, apresentando resultados muito superiores as demais composições. Dentre as composições estudadas destaca-se a composição com 6% que obteve resultados próximos as das composições com concentrações superiores de pentóxido de nióbio.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto e ao C-labmu pelas análises realizadas.

Referências

1. VIDRO. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em: 02 jun. 2019.
2. FEVE - The European Container Glass Federation. Disponível em: <https://feve.org/recyclingstats2018/>. Acesso em: 03 jun. 2019.
3. US EPA - United States Environmental Protection Agency. Glass Material Specific Data. Disponível em: < https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data>. Acesso em: 03 jun. 2019.
4. SCARINCI, G.; BRUSATIN G.; BERNARDO, E. Glass Foams, In: **Cellular Ceramics:** Structure, Manufacturing, Properties and Applications. 2005, Wiley-VCH. p. 158-176.
5. SILVA, R.C.; KUBASKI, E. T., TENÓRIO-NETO, E. T., LIMA-TENÓRIO, M. K., TEBCHERANI, S. M., Foam glass using sodium hydroxide as foaming agent: Study on the reaction mechanism in soda-lime glass matrix. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 2019. 511: p. 177-182.
6. ABBASI, S., MIRKAZIME, S. M., ZIAEE, A., HEYDARI, M. S. The effects of Fe2O3 and Co3O4 on microstructure and properties of foam glass from soda lime waste glasses. **Glass Physics and Chemistry**, 2014. 40(2): p. 173-179.
7. MME – Ministério de Minas e Energia. Perfil de Mineração do Nióbio. Relatório Técnico 20. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P11_RT20_Perfil_da_Mineraxo_do_Nixbio.pdf/48860760-63f2-489e-b4b9-e16236fd1413> . Acesso em 02, jun. 2018.
8. SILVA, R.C.; KUBASKI, E. T., TEBCHERANI, S. M. Glass foams produced by glass waste, sodium hydroxide, and borax with several pore structures using factorial designs. **International Journal of Applied Ceramic Technology.** 2019. 00: p.1–9.