

Cerâmicas Celulares Obtidas a partir de Resíduos de Polimento

Adriano Michael Bernardin^{a,c*}, Márcio José da Silva^a,

Elita Fontenele Urano de Carvalho^b, Humberto Gracher Riella^c

^aTecnologia em Cerâmica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial,
Rodovia BR 101, km 163, 88200-000 Tijucas - SC, Brasil

^bCentro de Combustível Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares,
Av. Lineu Prestes 2.242, Cidade Universitária, 05508-000 São Paulo - SP, Brasil

^cPrograma de Pós-Graduação em Engenharia Química,
Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, Campus Universitário,
Trindade, 88040-900 Florianópolis - SC, Brasil

*e-mail: bernardin@senai-sc.ind.br

Resumo: Este trabalho é uma continuação do desenvolvimento iniciado com o reaproveitamento de resíduos de esmaltação e de abrasivos para obtenção de cerâmicas celulares^{1,2}. Nesta etapa as espumas cerâmicas são obtidas a partir de resíduos de polimento de produtos porcelânicos coletados em estações de tratamento de efluentes (ETE) e resíduos de abrasivos de carbetto de silício. Os resíduos coletados foram caracterizados por análise química (FRX), de fases (DRX), de distribuição de tamanhos de partículas (difração laser) e por análise térmica (ATD). Após devida preparação, o resíduo de abrasivo foi adicionado ao resíduo de polimento em frações mássicas de 0,5% a 12,0% e as misturas foram granuladas e compactadas (30 MPa). Os compactos foram sinterizados a 1.180 °C por 20 min e as espumas resultantes foram analisadas quanto à densidade aparente, expansão linear, resistência mecânica à flexão. A microestrutura resultante mostra que a cerâmica celular obtida tem poros fechados e deve apresentar boas características de isolamento térmica, propriedade ainda não analisada, com resistência mecânica adequada ao uso na construção civil em substituição de agregados leves, concreto celular ou polímeros expandidos.

Palavras-chave: cerâmica celular, resíduos sólidos industriais, reciclagem.

1. Introdução

Quando o homem constrói grandes estruturas ele usa sólidos densos como aço, concreto e vidro. Porém, quando a natureza faz o mesmo, ela geralmente usa materiais celulares como madeira, ossos e corais. Os materiais celulares permitem a otimização simultânea da rigidez, resistência e massa de uma dada aplicação^{3,4}. As cerâmicas celulares são formadas por arranjos de câmaras poligonais, as células, e podem ser classificadas em dois grandes grupos: as colméias e as espumas. Nas colméias as células formam um arranjo bidimensional, enquanto as espumas são polígonos vazados tridimensionais. Por sua vez, as espumas são subdivididas em duas novas categorias dependendo se as células individuais possuem faces sólidas ou não⁴.

Se a espuma é sólida apenas em suas arestas celulares o material é designado de “célula aberta”. Se as faces (paredes) da célula estão presentes a espuma é designada de “célula fechada” e as células individuais estão isoladas umas das outras. As espumas também podem ser parcialmente fechadas ou abertas. Estas estruturas porosas em rede apresentam massa relativamente baixa, baixa densidade e baixa condutividade térmica, com permeabilidade variável, sendo as espumas de poros abertos as mais permeáveis⁴⁻⁶. Combinando-se processamento e materiais cerâmicos adequados as cerâmicas porosas também apresentam resistência mecânica relativamente elevada^{7,8}, elevada resistência ao ataque químico, resistência mecânica em alta temperatura e grande uniformidade estrutural. Estas propriedades tornam as espumas cerâmicas adequadas para uma grande variedade de aplicações^{4,9}.

As espumas com poros fechados ou abertos são usadas como isolantes térmicos para fornos e também para aplicações aeroespaciais (placas isolantes para naves espaciais), materiais resistentes às chamas, revestimentos leves para fornos e para queimadores a gás.

As aplicações mais comuns das cerâmicas porosas de poros abertos são como filtros para metais fundidos¹⁰ e motores a diesel⁷, suportes de catalisadores^{11,12}, filtros industriais para gases quentes e filtros para gordura em cozinhas comerciais. Novas aplicações incluem usos em eletrônica e na área biomédica¹³. As espumas comercialmente disponíveis são feitas de diversos materiais como cordierita, mulita, carbetto de silício, alumina, zircônia parcialmente estabilizada e compósitos como SiC-alumina, alumina-zircônia, alumina-mulita e mulita-zircônia.

A principal utilização das cerâmicas celulares é para a fabricação de isoladores térmicos, devido sua estabilidade térmica, baixa condutividade térmica⁶, baixa densidade, resistência aos ciclos térmicos, resistência a choque térmico, baixas adsorção e absorção de gases, baixo calor específico e também por serem disponíveis em várias configurações e tamanhos⁹.

Na produção de metais fundidos os filtros de cerâmicas celulares auxiliam a aumentar a qualidade e produtividade dos metais obtidos pela remoção de inclusões não metálicas¹⁰; os filtros devem resistir ao ataque dos metais fundidos em alta temperatura, pois estes contêm elementos reativos como Al, Ti, Hf e C. A resistência ao choque térmico também é importante, sendo esta diretamente proporcional ao tamanho do poro e em menor grau à densidade.

Filtros de cerâmicas celulares também são utilizados para aplicações de alto desempenho em alta temperatura, como para processamento de combustíveis fósseis, processos industriais de alta temperatura, incineração de resíduos sólidos e filtração de emissões de motores a diesel⁷. O uso de espumas cerâmicas como filtros em sistemas particulados requer não apenas estabilidade térmica, química e mecânica dos materiais cerâmicos, mas também durabilidade es-

trutural do filtro em longo prazo (>10.000 h) e grande confiabilidade em uso¹⁴. Os principais materiais para filtros são alumina, mullita, cordierita, nitrato de silício e carbetto de silício.

Com relação a seu processamento, várias rotas estão disponíveis para obtenção de cerâmicas celulares, como compactação isostática a quente (HIP) sem cápsula, formação de bolhas em uma suspensão ou em estado verde durante tratamento térmico adequado¹⁵, sinterização reativa, controle das condições de sinterização para se obter uma densificação parcial, empilhamento de grânulos ou fibras pré-sinterizados, métodos aero e sol gel¹⁶, pirólise de vários aditivos orgânicos^{17,18} ou principalmente o método de esponja polimérica^{8,14,19-25}, provavelmente o mais estudado e que utiliza impregnação de resinas poliméricas.

O método de formação de bolhas foi patenteado pela primeira vez em 1973. Neste método, uma mistura contendo os constituintes desejados é tratada de modo a evoluir um gás o qual cria bolhas, tornando o material esponjoso. Sunderman e Viedt²⁶ misturaram argilas a diversos propelentes como carbetto e hidróxido de cálcio, sulfato de alumínio e peróxido de hidrogênio. Em meio ácido podem ser utilizados metais que evoluem hidrogênio, como Mg, Ca, Cr, Mn, Fe e Co; em meio básico normalmente é utilizado Al. Mesmo neste caso etapas de secagem e sinterização são necessárias para desenvolver um esqueleto cerâmico de suporte.

Agentes espumantes como sílica gel, negro de fumo, talco e mica podem ser adicionados para dar uniformidade na formação da espuma, mas também CFC's já foram utilizados com muita facilidade por formarem finas gotas dispersas em uma suspensão, com auxílio de um surfactante para dispersar o gás e estabilizar as bolhas^{3,27}.

O método de formação de bolhas permite a obtenção de espumas de poros fechados de pequenas dimensões, o que não é possível com as técnicas de impregnação^{28,29}. Utilizando este método, podem-se obter cerâmicas celulares com densidades tão baixas quanto 0,2 g.cm⁻³ sem dificuldades¹. Este método é o mais adequado para o uso de resíduos industriais como matéria-prima para fabricação de espumas cerâmicas a partir da evolução de gases^{28,30}, objeto de estudo deste trabalho.

Na indústria de revestimentos cerâmicos houve nos últimos anos um grande aumento da produção de produtos polidos, como os porcelânicos e grês polidos, devido a seu elevado valor agregado. Em 1996 a única empresa produzindo porcelanato no Brasil era a Eliane Revestimentos Cerâmicos. Atualmente, além da empresa Eliane, Cecrisa, Ceusa, Itagrês e Portobello produzem tanto porcelanato quanto grês polido, gerando grande quantidade de resíduos e sobras de abrasivos. O abrasivo utilizado pode ser à base de partículas de diamante ou de carbetto de silício.

Estas sobras de abrasivos não têm outro destino a não ser os aterros, como é comum a todos resíduos gerados pela indústria cerâmica no Brasil. Porém, há outra possível destinação para as sobras, como demonstram Bernardin et al.². Várias soluções foram encontradas, sendo uma das mais efetivas o uso dos abrasivos contendo carbetto de silício em sua composição como agentes promotores de expansão em produtos cerâmicos pelo método de formação de bolhas, obtendo-se espumas cerâmicas de baixa densidade.

O carbetto de silício a partir de 1.000 °C decompõe-se em atmosfera oxidante, gerando CO₂ e sílica. Se adicionado a um resíduo cerâmico com ponto de amolecimento próximo à temperatura de decomposição do SiC – como é o caso dos resíduos gerados no polimento de produtos porcelânicos, o produto resultante sofrerá uma expansão volumétrica devido à decomposição do SiC associada ao

início do amolecimento do material cerâmico, cuja superfície será impermeável à passagem do gás resultante da decomposição para o exterior da peça. O produto resultante será o material cerâmico expandido, formando uma excelente espuma cerâmica que pode ser utilizada como componente para preenchimento de lajes nas construções ou para fabricação de divisórias, produtos com boa isolamento térmica.

Pelo volume gerado, tanto de abrasivos quanto de resíduos de polimento, percebe-se o alcance desta pesquisa, tanto como solução para um sério problema ambiental devido ao aterro destes produtos, como a possibilidade de se criar novos produtos a partir de resíduos sólidos industriais.

2. Materiais e Métodos

Amostras de resíduo de polimento de massa porcelânica e de abrasivos à base de carbetto de silício foram submetidas à caracterização físico-química e térmica. A análise química foi efetuada por espectrometria de fluorescência de raios X (Philips PW2400, pérola fundida) e análise de fases por difração de raios X (Phillips PW1830, CuK α , 0° to 75°, análise das fases com o aplicativo X'Pert HighScore). A análise de distribuição de tamanho de partículas foi realizada por difração a laser (CILAS 1064, 60s de ultra-som) e a análise térmica por análise térmica diferencial (BP Engenharia RB 3000, 20 a 1.200 °C, 10 °C/min, ao ar).

Após caracterização, os resíduos de polimento foram secos (estufa a 110 °C por 24 horas) e peneirados (malha 200 mesh ABNT). As sobras de abrasivos de SiC foram desagregadas em um moinho de martelos, secas (110 °C, 24 horas) e peneiradas (malha 200 mesh ABNT). Em seguida, o pó abrasivo foi adicionado ao pó do resíduo de polimento em frações mássicas de 0,5, 1,0, 1,5, 3,0, 6,0 e 12,0%, formando-se seis formulações. As formulações foram misturadas com adição de 6% de água e compactadas (prensa de laboratório, 30 MPa) em corpos-de-prova cilíndricos (5 cm de diâmetro, 1 cm de altura). Foram preparadas cinco amostras de cada formulação.

Os compactos foram sinterizados em forno muflado durante 20 minutos a 1.180 °C com taxa de aquecimento de 30 °C/min e resfriados no próprio forno. Após tratamento térmico as espumas obtidas foram submetidas aos ensaios de expansão linear, densidade aparente (por imersão em mercúrio) e determinação da resistência mecânica por flexão em três pontos (Ceramic Instruments MOR3E, 10 mm/min). Finalmente, a microestrutura foi determinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra a análise química das amostras dos resíduos de polimento (grês porcelânico) e do abrasivo usados no estudo. A Figura 1 mostra a análise de fases. Como observado a maior parte do resíduo abrasivo é composta pelo cimento cloro-magnésiano usado na sua fabricação. Não foi possível a identificação do carbetto de silício devido ao procedimento utilizado na preparação das amostras por DRX, onde as mesmas foram calcinadas a 1.000 °C por 3 horas, causando a total conversão das partículas de SiC presentes na amostra.

Com relação ao resíduo de polimento, este é formado por quartzo, albita e zircônia, as fases majoritárias da pasta porcelânica estudada. A quantidade dos óxidos alcalinos e alcalino terrosos presentes no resíduo porcelânico (13,3% mássico) mostra que o sistema apresenta boa formação de fase vítrea. A análise térmica do abrasivo (Figura 2)

Tabela 1. Análise química dos resíduos.

Resíduo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.
Polimento (ETE)	59,5	17,3	0,7	0,3	1,6	5,3	2,8	3,6	5,6
Abrasivo de SiC	10,5	1,6	1,6	0,1	4,1	34,8	0,1	6,3	40,2

mostra picos endotérmicos entre 260 e 500 °C, provavelmente devido à decomposição dos hidróxidos (principalmente portlandita e clinocloro) presentes na amostra. Os carbonatos (calcita, magnesita e dolomita) não puderam ser identificados, provavelmente devido sua baixa concentração na amostra. Entre 1.020 e 1.030 °C podem ser observados picos endo e exotérmicos, talvez relacionados à dissociação do carbeta de silício, formando sílica e gás carbônico.

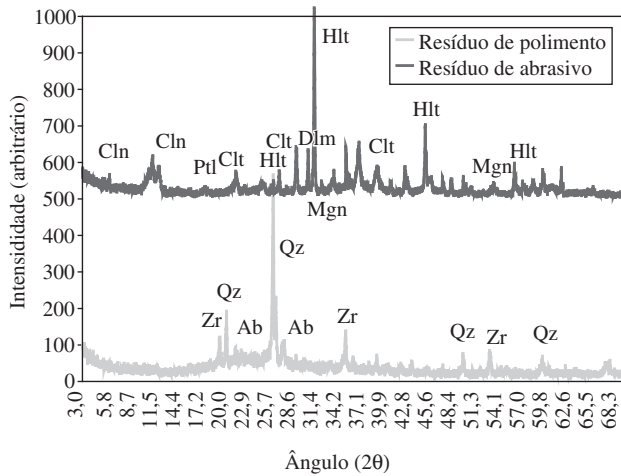


Figura 1. Difratogramas dos resíduos de polimento e do abrasivo. Qz é quartzo; Zr é zircônio ($\text{SiO}_2 \cdot \text{ZrO}_2$); Ab é albita; Hlt é halita (NaCl); Dlm é dolomita; Clt é calcita; Mgn é magnesita; Cln é clinocloro; e Ptl é portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

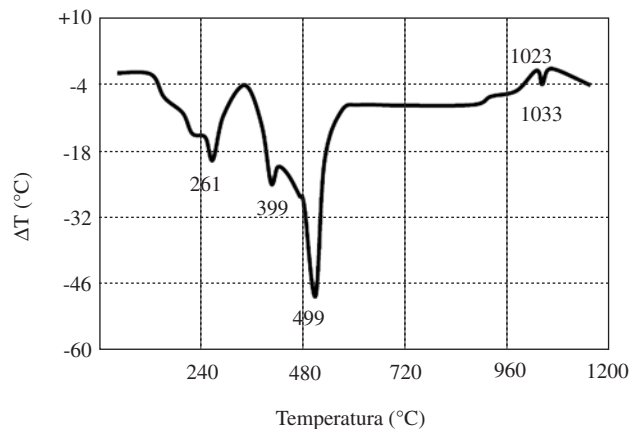


Figura 2. Análise térmica diferencial do abrasivo de SiC.

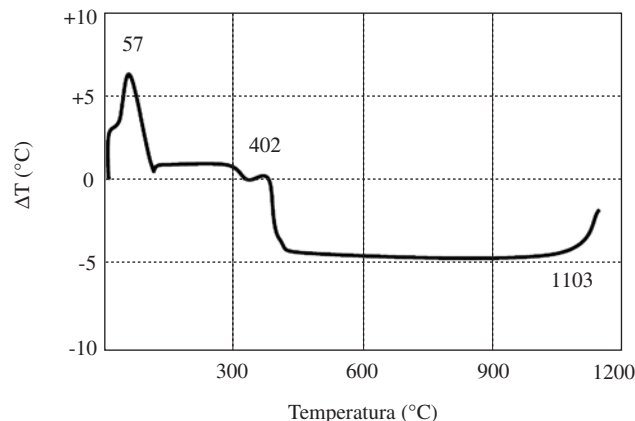


Figura 3. Análise térmica diferencial do resíduo de polimento.

A análise térmica do resíduo porcelânico (Figura 3) mostra picos endotérmicos a 60 e 400 °C aproximadamente, provavelmente devido à decomposição de substâncias orgânicas presentes no resíduo, que foi obtido de uma estação de tratamento de efluentes (ETE). A 1.100 °C há um pico endotérmico relacionado ao início da transição vítrea (T_g) do resíduo.

A Figura 4 mostra as curvas de distribuição de tamanho de partículas de ambos resíduos. O resíduo de polimento apresenta um tamanho médio de 10 μm, estando com distribuição 100% abaixo de 75 μm. O abrasivo apresenta tamanho médio de 15 μm e distribuição 100% abaixo de 90 μm.

Com relação à densidade aparente das espumas obtidas, o aumento na adição do abrasivo ao resíduo de polimento causa, como esperado, um decréscimo na densidade aparente da cerâmica celular, Figura 5. Iniciando-se a 1.000 °C a expansão promovida pela decomposição do carbeta de silício presente no abrasivo (e também no resíduo de polimento) forma poros esféricos no produto final, identificando um típico processo de formação de bolhas.

Mesmo sem a adição do abrasivo a densidade aparente é muito baixa devido ao resíduo de polimento já conter partículas abrasivas e materiais voláteis, substâncias orgânicas incorporadas ao resíduo pelas operações de polimento, transporte e tratamento na ETE. A baixa densidade aparente média observada ($0,301 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) permite o uso da espuma obtida como isoladores térmicos e acústicos.

A adição crescente do abrasivo no resíduo de polimento também causa, como esperado, redução na resistência mecânica à flexão das espumas obtidas^{31,32}, Figura 6. Há uma grande redução na resistência à flexão das amostras a partir da adição de 3% de resíduo abrasivo devido à quantidade e tamanho dos poros formados. Deve-se observar que a cerâmica celular obtida é do tipo poro fechado.

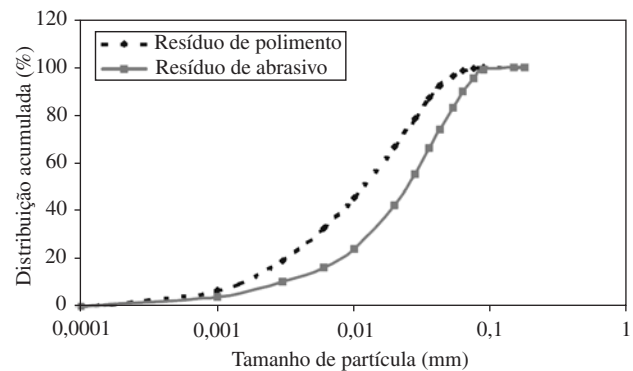


Figura 4. Distribuição de tamanho de partículas dos resíduos de polimento e abrasivo.

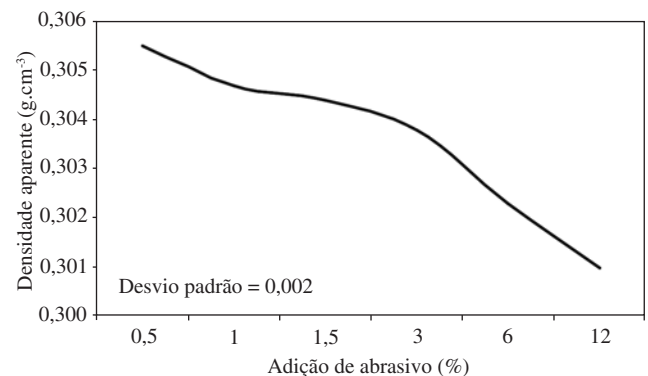


Figura 5. Evolução da densidade aparente em função da adição de abrasivo.

Apesar da redução da resistência mecânica com a adição do resíduo abrasivo, as espumas obtidas apresentam resistência mecânica adequada para vários usos, principalmente na construção civil, como substitutos de concreto celular e de poliestireno expandido. Após sinterização todas as amostras uma grande e gradativa expansão com a adição do resíduo abrasivo. Há uma relação óbvia entre a adição e a expansão, Figura 7.

Mesmo sem adição do resíduo abrasivo foi observada uma grande expansão das espumas obtidas. Esta expansão deve-se à presença de partículas de SiC incorporadas ao resíduo durante o processo de polimento, sendo que esta característica não permite o uso deste tipo de resíduo em formulações cerâmicas de produtos densos, com os grês e porcelânicos, prática comum na indústria que induz a defeitos de fabricação. Muitas tentativas de adição de resíduos de polimento das estações de tratamento de efluentes em pastas densas têm falhado devido à grande porosidade dos produtos após sua queima.

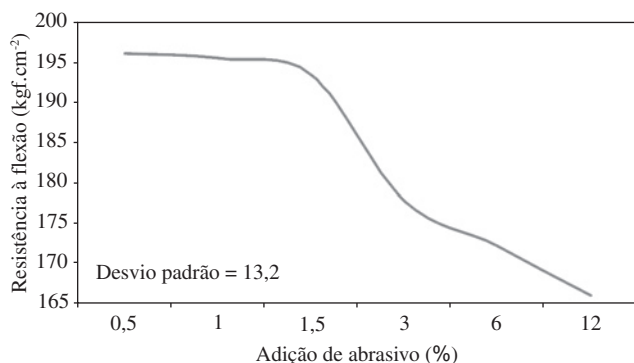


Figura 6. Evolução da resistência à flexão em função da adição de abrasivo.

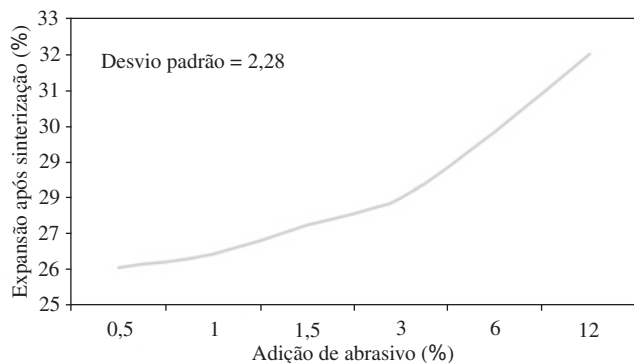


Figura 7. Evolução da expansão linear em função da adição de abrasivo.

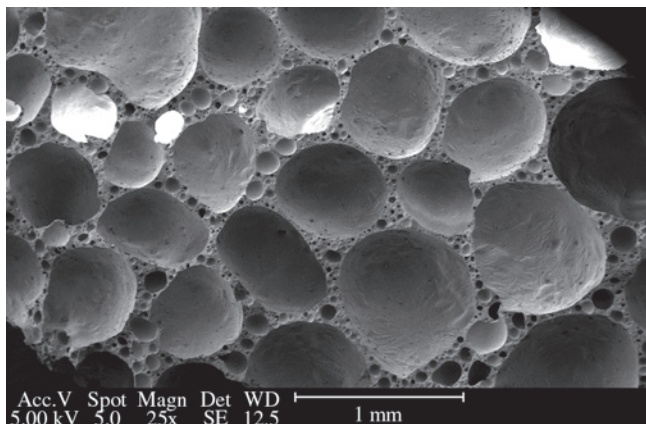


Figura 8. Microestrutura da amostra com 6% de adição de abrasivo ao resíduo de polimento após sinterização (MEV).

Finalmente, na Figura 8 pode ser observada a microestrutura de uma amostra com 6% de adição do resíduo abrasivo ao resíduo de polimento. Os poros são grandes, fechados e arredondados, o que pode explicar a boa resistência mecânica apesar da elevada porosidade observada nestes produtos. Estima-se que estas espumas apresentem boa isolamento térmica e acústica, objeto futuro desta investigação. Além disso, novos estudos estão sendo desenvolvidos para obtenção das espumas sem adição de resíduo abrasivo e também com adição de quartzo para obtenção de placas celulares com estabilidade dimensional.

4. Conclusão

As cerâmicas celulares têm um importante potencial de desenvolvimento, principalmente devido à emergência das questões ambientais. Muitas rotas de elaboração têm sido desenvolvidas para a produção de cerâmicas celulares, sendo necessários processos e matérias-primas de baixo custo em função das principais aplicações destes materiais. O exemplo apresentado neste trabalho é facilmente adaptável ao processo cerâmico de uma indústria de revestimentos ou de produtos expandidos, sendo uma alternativa de baixo custo para a produção de materiais isolantes para a construção civil.

O estudo demonstrou que é possível o uso de resíduos do processamento cerâmico para obtenção de cerâmicas celulares de baixa densidade a partir de resíduos de polimento e de restos de abrasivos de SiC. As cerâmicas celulares podem ser utilizadas na indústria de construção em substituição ao concreto celular pela sua baixa densidade, resultando em estruturas leves e com resistência mecânica aceitável.

Aparentemente as espumas obtidas apresentam boa isolamento térmica e acústica e poderiam ser também utilizadas em substituição à madeira e polímeros expandidos em divisórias internas e forrações, sendo que estas propriedades serão objeto de novos estudos. A redução da densidade aparente é relacionada à presença de partículas de SiC. Mesmo sem adição do resíduo abrasivo de SiC foi observada uma boa expansão das amostras, indicando a presença de partículas de SiC no resíduo porcelânico em função das operações de polimento.

A expansão do produto ocorre pelo processo de formação de bolhas, que durante resfriamento formam poros fechados na microestrutura das amostras^{29,33}. Quanto maior a adição de SiC (via adição de abrasivo), maior a expansão das amostras, mostrando o efeito da dissociação do SiC na formação dos poros, com redução da densidade aparente e aumento da expansão volumétrica.

A resistência mecânica à flexão do produto é reduzida com a adição do resíduo abrasivo devido ao aumento da porosidade. Apesar deste aumento de porosidade nas amostras foi observada boa resistência à flexão (média de 18 MPa), mostrando que o produto pode ser utilizado na construção civil. A resistência mecânica deve-se à forma arredondada dos poros, o que evita os concentradores de tensão.

Finalmente, o processo de expansão ocorre por formação de bolhas, devido à dissociação do carbeto de silício simultaneamente à formação de fase vítrea viscosa durante sinterização das amostras³³. O amolecimento do vidro na mesma temperatura da decomposição das partículas de SiC resulta na formação de bolhas que forma a espuma cerâmica no resfriamento, formando a microestrutura celular do material. A quantidade, dispersão e tamanho das partículas de SiC presentes no resíduo abrasivo utilizado quando adicionadas ao resíduo de polimento resultam na forma, tamanho e distribuição das células (poros) do produto final.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio na caracterização dos resíduos, à empresa Cerâmica Portobello, pela disponi-

bilização dos resíduos utilizados no trabalho, e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina, pelo financiamento da pesquisa.

Referências

1. Bernardin, A. M. et al. Reaproveitamento de resíduos de polimento e de esmaltação para obtenção de cerâmica celular. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 5/6, p. 31-34, 2006.
2. Bernardin, A. M.; Silva, M. J.; Riella, H. G. Characterization of cellular ceramics made by porcelain tile residues. **Materials Science & Engineering A**, v. 437, p. 222-225, 2006.
3. Montanaro, L. et al. Ceramic foams by powder processing. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 18, p. 1339-1350, 1998.
4. Sharafat, S. et al. Breeder foam: an innovative low porosity solid breeder material. **Fusion Engineering and Design**, v. 81, p. 455-460, 2006.
5. Fu, X.; Viskanta, R.; Gore, J. P. A model for the volumetric radiation characteristics of cellular ceramics. **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, v. 24, n. 8, p. 1069-1082, 1997.
6. Fu, X.; Viskanta, R.; Gore, J. P. Prediction of effective thermal conductivity of cellular ceramics. **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, v. 25, n. 2, p. 151-160, 1998.
7. Shustorovich, V.; Shustorovich, E. Actual relationship between load and deflection for cellular ceramic substrates: effective moduli of substrates and materials. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 23, p. 1715-1722, 2003.
8. Costa Oliveira, F. A. et al. Behaviour of open-cell cordierite foams under compression. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 26, p. 179-186, 2006.
9. Maire, E. et al. Characterization of the morphology of cellular ceramics by 3D image processing of X-ray tomography. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 1973-1981, 2007.
10. Zhang, Y. Microstructures and mechanical properties of silicon nitride bonded silicon carbide ceramic foams. **Materials Research Bulletin**, v. 39, p. 755-761, 2004.
11. Valdés-Solis, T.; Marbán, G.; Fuertes, A. B. Low-temperature SCR of NOx with NH3 over carbon-ceramic cellular monolith-supported manganese oxides. **Catalysis Today**, v. 69, p. 259-264, 2001.
12. Richardson, J. T.; Remue, D.; Hung, J.-K. Properties of ceramic foam catalyst supports: mass and heat transfer. **Applied Catalysis A: General**, v. 250, p. 319-329, 2003.
13. Atwood, R. C. et al. Analysis of pore interconnectivity in bioactive glass foams using X-ray microtomography. **Scripta Materialia**, v. 51, p. 1029-1033, 2004.
14. Gómez de Salazar, J. M. et al. Compression strength and wear resistance of ceramic foams-polymer composites. **Materials Letters**, v. 60, p. 1687-1692, 2006.
15. Kishimoto, A. et al. Fabrication of alumina-based ceramic foams utilizing superplasticity. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 41-45, 2007.
16. Rul, S. et al. Carbon nanotubes prepared in situ in a cellular ceramic by the gelcasting-foam method. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 23, p. 1233-1241, 2003.
17. Greil, P.; Lifka, T.; Kaindl, A. Biomorph cellular silicon carbide ceramics from wood I: Processing and microstructure. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 18, p. 1961-1973, 1998.
18. Pancholi, V. et al. Microstructural characterization using orientation imaging microscopy of cellular Si/SiC ceramics synthesized by replication of Indian dicotyledonous plants. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 367-376, 2007.
19. Sepúlveda, P.; Binner, J. G. P. Processing of Cellular Ceramics by Foaming and in situ Polymerisation of Organic Monomers. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 19, p. 2059-2066, 1999.
20. Peng, H. X. et al. Microstructure of ceramic foams. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 20, p. 807-813, 2000.
21. Peng, H. X.; Fan, Z.; Evans, J. R. G. Factors affecting the microstructure of a fine ceramic foam. **Ceramics International**, v. 26, p. 887-895, 2000.
22. Colombo, P.; Bernardo, E. Macro- and micro-cellular porous ceramics from preceramic polymers. **Composites Science and Technology**, v. 63, p. 2353-2359, 2003.
23. Zeschky, J. et al. Preceramic polymer derived cellular ceramics. **Composites Science and Technology**, v. 63, p. 2361-2370, 2003.
24. Cordier, A. et al. A new fast method for ceramic foam impregnation: Application to the CCVD synthesis of carbon nanotubes. **Applied Catalysis A: General**, v. 319, p. 7-13, 2007.
25. Taslicukur, Z.; Balaban, C.; Kusonmaz, N. Production of ceramic foam filters for molten metal filtration using expanded polystyrene. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 637-640, 2007.
26. Sundermann, E.; Viedt, J., Method of manufacturing ceramic foam bodies. **US Pat no. 3 745 201**, 1973.
27. Higashiwada, T. et al. Effect of additives on the pore evolution of zirconia based ceramic foams after sintering. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 2217-2222, 2007.
28. Bernardo, E.; Albertini, F. Glass foams from dismantled cathode ray tubes. **Ceramics International**, v. 32, p. 603-608, 2006.
29. Kim, D.-S. et al. Effect of furnace atmosphere on E-glass foaming. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 352, p. 5287-5295, 2006.
30. Bernardo, E. et al. Reutilization and stabilization of wastes by the production of glass foams. **Ceramics International**, em impressão, 2007.
31. Wereszczak, A.A. et al. The high temperature compressive strength of non-oxide ceramic foams. **Materials Science and Engineering A**, v. 219, p. 224-228, 1996.
32. Han, Y-S et al. The effect of sintering temperatures on alumina foam strength. **Ceramics International**, v. 28, p. 755-759, 2002.
33. Fedorov, A.G.; Pilon, L. Glass foams: formation, transport properties, and heat, mass, and radiation transfer. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 311, p. 154-173, 2002.