

Estudo da Confeção de Cerâmicas Celulares pelo Método da Réplica

**Guilherme Formanski^{a,b}, Guilherme Meneghel^{a,b}, Henrique Lima^{a,b},
Julio Pagnan^{a,b}, Marcelo Pinto^{a,b}, Reginaldo Tassi^a, Maykon Cargin^a,
Agenor De Noni Jr.^a, Claudio Modesto^{a*}**

^aInstituto Maximiliano Gaidzinski (IMG)

^bAlunos do Curso Técnico de Cerâmica

*e-mail: modesto@imgnet.org.br

Resumo: Os materiais considerados cerâmicas celulares são formados por arranjos de câmaras poligonais (células), que apresentam como características principais uma alta permeabilidade, boa resistência mecânica e química e uniformidade estrutural, cujas suas utilizações variam desde filtros até isolantes térmicos e acústicos, sendo também empregadas na construção civil em substituição de materiais como madeira, papelão e polímeros expandidos (poliestireno). Sendo assim, realizou-se um estudo de comportamento e desenvolvimento de um material cerâmico celular que, por meio da utilização do método da réplica, permitisse sua confecção através de composições de massa de cerâmica de revestimentos, já que de maneira geral, estes materiais são produzidos com composições de cerâmica avançada. As suspensões cerâmicas utilizadas neste trabalho foram as de porcelanato esmaltado, e foram utilizados duas tipologias de esponjas poliméricas de poliuretano, uma com maior e outra com menor abertura de poros. Analisou-se também a influência das variações da reologia sobre as propriedades do material cerâmico celular após a queima, principalmente sobre a permeabilidade. Verificou-se então, que estas cerâmicas celulares apresentaram uma tendência de aumento da permeabilidade na medida em que diminuiu-se a densidade da barbotina e aumentou-se o diâmetro dos poros da esponja polimérica.

Palavras-chave: cerâmica celular, método da réplica, barbotina cerâmica, permeabilidade.

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 aplicação¹.

Os materiais cerâmicos celulares são constituídos por arranjos de câmaras poligonais^{1,7}, sendo produzidos geralmente por meio de processos de cerâmica avançada³, apresentando como propriedades principais uma estrutura de alta permeabilidade, boa resistência mecânica e química e uniformidade estrutural⁷.

Diante disso, realizou-se um estudo para verificar a possibilidade de utilização de composições de massas de cerâmica de revestimentos na confecção de cerâmicas celulares, analisando também, a influência das condições reológicas destas barbotinas, nas características finais do material, como aspecto visual, permeabilidade e resistência mecânica.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Definição

Cerâmicas celulares são materiais de elevada porosidade (densidade relativa < 0,3), constituídos por arranjos de câmaras poligonais ou células, que podem ser classificadas em dois grandes grupos: as colméias e as espumas, onde nas colméias as células formam um arranjo bidimensional, e nas espumas polígonos vazados tridimensionais. Dentro da classificação de espumas existem também duas subdivisões, onde as células são classificadas de acordo com a presença ou ausência de faces sólidas¹.

O material é designado de “célula aberta” quando a espuma é sólida apenas em suas arestas celulares e de “célula fechada” quando

as faces (paredes) da célula estão presentes, tornando-as isoladas umas das outras. As espumas também podem ser parcialmente fechadas ou abertas.

Estas estruturas porosas apresentam como propriedades principais, massa relativamente baixa, baixa densidade e baixa condutividade térmica, com permeabilidade variável, sendo mais permeáveis as espumas que apresentam poros abertos^{1,5,7}.

2.2. Aplicações

Os materiais cerâmicos celulares com poros fechados ou abertos apresentam as mais variadas aplicações, podendo ser utilizados em fornos, como isolantes térmicos, em aplicações aeroespaciais e em queimadores a gás, além de apresentarem usos na área biomédica e eletrônica¹.

Na indústria da construção civil podem ser utilizados tanto como componentes de lajes, substituindo polímeros expandidos (poliestireno), como divisórias internas, substituindo madeira e papel².

As cerâmicas porosas de células abertas também são muito utilizadas como filtros para motores a diesel, suportes de catalisadores, filtros industriais para gases quentes e filtros para gordura em cozinhas comerciais. 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 metálicas^{1,5,6}.

2.3. Método da réplica

O método da réplica é uma técnica que consiste na impregnação de uma esponja polimérica com uma barbotina cerâmica, seguida de uma secagem, de uma pré-queima, para a saída do polímero, e de uma queima para a sinterização da estrutura cerâmica^{3,7}, conforme fluxograma da Figura 1.

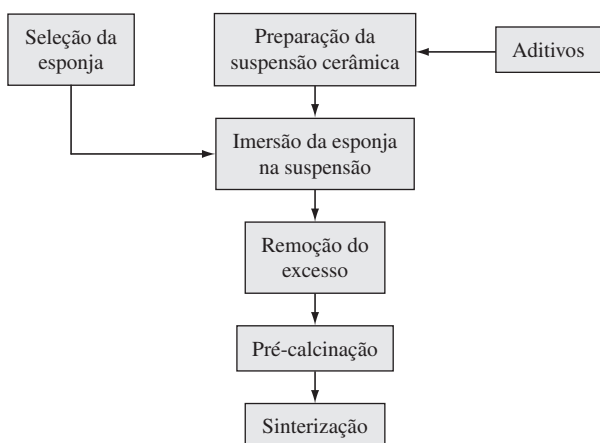


Figura 1. Fluxograma da fabricação de cerâmicas celulares pelo método da réplica.

Este método permite a produção de estruturas com elevada porosidade e grande tamanho de poros, sendo denominado réplica, pois há uma etapa deste processo onde o material responsável pela formação da estrutura porosa (esponja polimérica) é excluído da amostra deixando somente sua réplica cerâmica⁷.

O inconveniente deste método ocorre na etapa de queima, pois no decorrer desta, temos a liberação de gases oriundos das esponjas de poliuretano presente nas amostras⁵.

2.4. Caracterização

Na caracterização das amostras confeccionadas nesta pesquisa, foram avaliadas as seguintes propriedades:

- Massa específica;
- Porosidade;
- Absorção de água teórica;
- Permeabilidade;
- Resistência mecânica à compressão; e
- Diâmetro dos poros abertos (análise de imagens).

3. Procedimento Experimental

Para a confecção dos corpos-de-prova, utilizou-se primeiramente uma barbotina cerâmica industrial de porcelanato esmaltado e, posteriormente, uma de alumina, sendo que para ambas foram seguidas as mesmas etapas do procedimento de fabricação apresentado no fluxograma da Figura 1. Utilizou-se como matriz dois tipos de esponjas poliméricas de poliuretano, uma com maior (acima de 1 mm) e outra com menor (abaixo de 1 mm) abertura de poros.

A utilização de dois tipos de esponjas poliméricas para a confecção dos corpos-de-prova justifica-se pelo fato de ser interessante a determinação da influência do diâmetro dos poros das esponjas sobre as características do material cerâmico celular após a queima, principalmente com relação a propriedade de permeabilidade.

3.1. Barbotina de porcelanato esmaltado

A suspensão cerâmica utilizada inicialmente foi de uma massa industrial de porcelanato esmaltado. Com esta foram efetuadas três variações de densidade, sendo elas:

- Variação 1: $\rho = 1,65 \text{ g/cm}^3$;
- Variação 2: $\rho = 1,60 \text{ g/cm}^3$;
- Variação 3: $\rho = 1,55 \text{ g/cm}^3$.

Estas variações fizeram-se necessárias para o conhecimento de condições mais favoráveis dos efeitos reológicos destas sobre a confecção dos corpos-de-prova e as características do material cerâmico celular após a queima.

A impregnação das esponjas por barbotina foi feita de maneira manual, onde estas foram imersas durante 5 minutos na suspensão cerâmica para que houvesse uma boa sucção da barbotina pelas mesmas.

A remoção do excesso de barbotina foi efetuada através de um laminador de metal com espaçamento entre rolos de 6 milímetros, proporcionando assim uma remoção constante e homogênea para todas as esponjas.

A secagem foi efetuada numa estufa laboratorial em temperatura de $105 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$, onde permaneceram até peso constante.

A eliminação da esponja polimérica e outros voláteis foi efetuada por meio de uma pré-calcinação em forno mufla laboratorial à temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C}$ e ciclo de 90 minutos.

A sinterização foi realizada em forno mufla laboratorial a uma temperatura de $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ e ciclo de 60 minutos, permanecendo 5 minutos em temperatura máxima.

4. Resultados e Discussões

4.1. Barbotina de Porcelanato Esmaltado - esponjas com poros de menor diâmetro médio

Os resultados obtidos com a avaliação das propriedades destes corpos-de-prova estão representados na Tabela 1.

Através dos resultados obtidos, observa-se uma diminuição da massa específica dos corpos-de-prova à medida que diminuímos a densidade da barbotina utilizada.

A densidade da suspensão cerâmica utilizada está diretamente ligada ao seu conteúdo de sólidos; sendo assim, quanto menor a densidade da suspensão, menor será seu conteúdo de sólidos e, conseqüentemente, menor será a espessura da parede do poro confeccionado, já que a retirada do excesso durante sua fabricação, homogênea para todas, não foi um fator influenciador nesta característica. Isso pode ser justificado pelos valores do diâmetro do canal aberto, já que apresentaram um aumento à medida que se diminui a densidade da barbotina.

A resistência mecânica à compressão também está diretamente ligada à espessura da parede dos poros, onde observou-se uma diminuição destes valores à medida em que a espessura da parede dos poros torna-se mais fina.

Com relação à permeabilidade, teve-se um aumento de seus valores conforme houve a diminuição da espessura da parede dos poros, sendo que esta tendência também foi apresentada pelas propriedades de porosidade e absorção de água teórica, já que estão diretamente relacionadas à permeabilidade.

De uma maneira geral, os corpos-de-prova apresentaram uma boa formação de poros e uma boa uniformidade estrutural, conforme pode ser observados nas Figuras 2, 3 e 4.

4.2. Barbotina de porcelanato esmaltado - esponjas com poros de maior diâmetro médio

Os resultados obtidos com a avaliação das propriedades adquiridas com este método estão representados na Tabela 2.

Os corpos-de-prova com poros maiores apresentaram resultados que seguiram as mesmas tendências dos corpos com poros menores, onde com a diminuição da espessura da parede dos poros ocasionada pela redução da densidade da suspensão, teve-se uma diminuição da massa específica e da resistência mecânica à compressão do material, além de um aumento dos valores de permeabilidade, porosidade, absorção de água teórica e diâmetro do canal aberto.

De uma maneira geral, estes corpos-de-prova também apresentaram uma boa formação de poros e uma boa uniformidade estrutural, conforme pode ser observados nas Figuras 5, 6 e 7.

Tabela 1. Caracterização das amostras utilizando esponjas com poros de menor diâmetro.

| | Densidade (g/c ³) | | |
|--|-------------------------------|---------------|---------------|
| | $\rho = 1,65$ | $\rho = 1,60$ | $\rho = 1,55$ |
| Massa específica (g/cm ³) | 0,404 | 0,358 | 0,307 |
| Resistência mecânica a compressão (kgf/cm ²) | 4,254 | 2,740 | 0,558 |
| Permeabilidade (cm/s) | 1,59 | 1,66 | 3,60 |
| Porosidade (%) | 83,17 | 85,10 | 87,20 |
| Absorção de água teórica (%) | 67,32 | 70,42 | 73,96 |
| Diâmetro do poro aberto (mm) | 0,593 | 0,971 | 0,988 |

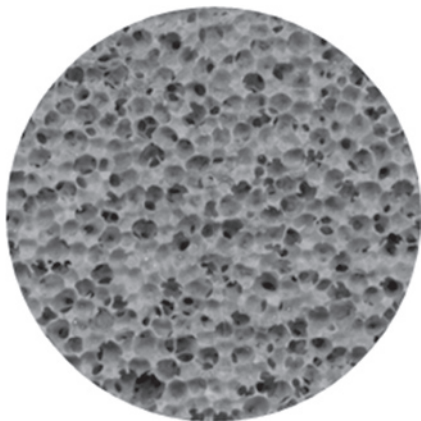


Figura 2. Amostra com $\rho = 1,65$ g/cm³.

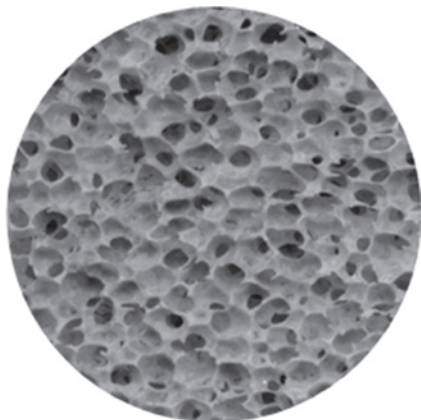


Figura 3. Amostra com $\rho = 1,60$ g/cm³.

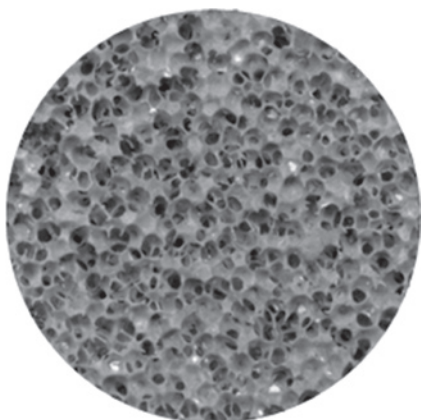


Figura 4. Amostra com $\rho = 1,55$ g/cm³.

Tabela 2. Caracterização das amostras utilizando esponjas com poros de maior diâmetro.

| | Densidade (g/c ³) | | |
|--|-------------------------------|---------------|---------------|
| | $\rho = 1,65$ | $\rho = 1,60$ | $\rho = 1,55$ |
| Massa específica (g/cm ³) | 0,362 | 0,304 | 0,233 |
| Resistência mecânica a compressão (kgf/cm ²) | 0,989 | 0,691 | 0,336 |
| Permeabilidade (cm/s) | 2,31 | 2,77 | 5,64 |
| Porosidade (%) | 84,91 | 87,33 | 90,29 |
| Absorção de água teórica (%) | 70,12 | 74,18 | 79,48 |
| Diâmetro do poro aberto (mm) | 1,167 | 1,289 | 1,875 |

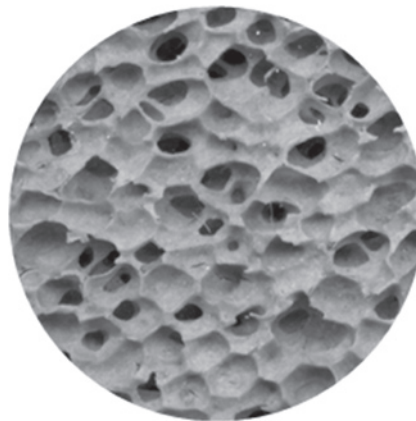


Figura 5. Amostra com $\rho = 1,65$ g/cm³.

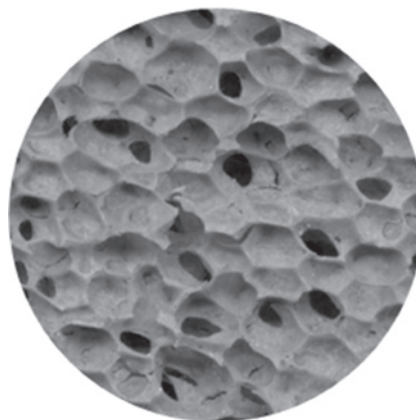


Figura 6. Amostra com $\rho = 1,60$ g/cm³.

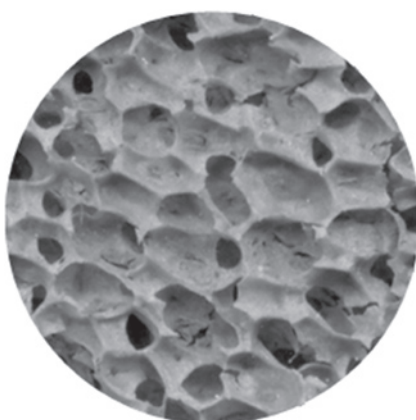


Figura 7. Amostra com $\rho = 1,55$ g/cm³.

5. Conclusões

Com este estudo, pôde-se verificar que variando a abertura de poros das esponjas e a reologia das barbotinas utilizadas obtemos variações consideráveis nas permeabilidades das peças após a queima. Verificou-se que ao diminuirmos a densidade da barbotina tem-se um aumento da porosidade do material e, por conseqüência, um aumento de sua permeabilidade, característica esta que sofre um aumento mais significativo aumentando-se o diâmetro do poro da esponja polimérica do que diminuindo a densidade da suspensão cerâmica

Portanto, para aumentar a permeabilidade do material é mais vantajoso utilizar esponjas poliméricas com uma abertura de poros maior do que reduzir a densidade da suspensão, já que esta redução acarretará em uma diminuição significativa da resistência mecânica do material devido à redução da espessura de parede dos poros.

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas Eliane Revestimentos Cerâmicos e ao LABCER – Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha de Morro da Fumaça (SC) pelo apoio à realização desta pesquisa.

Referências

1. Bernardin, A. M. et al. Cerâmicas Celulares Obtidas a partir de Resíduos de Polimento. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 1/2, jan./abr., 2007.
2. Bernardin, A. M. et al. Reaproveitamento de resíduos de polimento e de esmaltação para obtenção de cerâmica celular. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 5, set./dez., 2006.
3. Boschi, A. O. Tecnologia de cerâmicas avançadas aplicada a revestimentos cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 2, maio/jun., 1996.
4. Carlos, M. O. et al. Otimização da suspensão para obtenção de cerâmicas porosas via “gelcasting”. **Revista Cerâmica**, n. 52, p. 172-178, 2006.
5. Curto, K. A. S. **Produção de cerâmicas porosas a partir de argilas e resíduos**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2003.
6. Freitas, N. L.; Coury, J. R. **Obtenção de Filtros Cerâmicos para Filtração de Gases em Altas Temperaturas**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Disponível em: <www.propg.ufscar.br/publica/4jc/posgrad/resumos/0188-freitas.htm> Acesso em: julho de 2007.
7. Moreira, E. A. et al. Permeabilidade de cerâmicas celulares. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências Exatas e da Terra, Rio de Janeiro, RJ, v. 21, n. 1, p. 177-185, 2002.
8. Moreira, E. A.; Coury, J. R. **Estimativa das constantes de permeabilidade de cerâmicas celulares**. Congresso da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – SP. Disponível em: <www.propg.ufscar.br/publica/4jc/posgrad/resumos/0081-moreira.htm> Acesso em: ago. 2007.
9. Salvini, V. R.; Innocentini, M. D. M.; Pandofelli, V. C. Influência das condições de processamento cerâmico na resistência mecânica e na permeabilidade dos filtros de Al_2O_3 -SiC. **Revista Cerâmica**, v. 48, n. 307, p. 122-125, 2002.