











## services

-  [custom services](#)
-  [Article in xml format](#)
-  [Article references](#)
-  [Curriculum ScienTI](#)
-  [How to cite this article](#)
-  [Access statistics](#)
-  [Cited by SciELO](#)
-  [Similar in SciELO](#)
-  [Automatic translation](#)
-  [Send this article by e-mail](#)

## Cerâmica

***Print version ISSN 0366-6913***

**Cerâmica vol.45 n.292-293 São Paulo Mar./Jun. 1999**

**doi: 10.1590/S0366-69131999000200005**

## **Conformação de monolitos cerâmicos de cordierita via eletroforese**

*(Ceramics cordierite monoliths forming by electrophoresis)*

**C. A. Picinini, C. P. Bergmann, C. M. Marques**

*Laboratório de Materiais Cerâmicos, Departamento de Materiais,  
Escola de Engenharia, UFRGS, Av. Osvaldo Aranha 99, P. Alegre, RS, 90035-190  
tel.: (051) 316-363, fax: (051)316-3405, e-mail: [capicini@orion.ufrgs.br](mailto:capicini@orion.ufrgs.br)*

**R. Cataluña**

*Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, UFRGS,  
Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, 9.501-970*

### **Resumo**

A técnica de conformação eletroforética é apresentada como uma alternativa viável para a produção de monolitos cerâmicos de cordierita. A matriz utilizada para a conformação das estruturas cerâmicas contém 109 condutos em paralelo. Os monolitos produzidos foram

ensaiados  
quanto à área  
superficial,  
porosidade e  
resistência  
mecânica.

Demonstra-se  
que a  
produção de  
monolitos  
por esta via é  
possível não  
só quanto sua  
facilidade de  
construção  
como  
também pela  
suas  
características  
adequadas  
para a  
utilização em  
substratos  
catalíticos.

Palavras-  
chave:  
monolito;  
cordierita;  
catalisadores.

***Abstract***

*The use of the electrophoretic phenomena is presented as an alternative forming technique to produce cordierite ceramic monolite is presented as an alternative of conformation technique. An equipment contained 109 channels was used to manufacture the pieces. The monoliths produced by means of electrophoretic technique were tested and analyzed, showing the possibilities of this technique.*

***Keywords:***  
*cordierite, catalyst.*

## INTRODUÇÃO

A utilização de veículos automotivos, principalmente nas últimas décadas, tem trazido um espetacular aumento do volume de emissão de substâncias nocivas à atmosfera, comprometendo substancialmente a qualidade do ar principalmente nos grandes centros urbanos. Isto trouxe a necessidade de se controlar a contaminação ambiental pelo tráfego automobilístico através da limitação dos níveis máximos de emissão e do desenvolvimento de tecnologias de tratamento dos gases contaminantes. O tráfego automobilístico é a principal fonte de emissões de monóxido de carbono (CO), NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos.

A pesquisa e a produção comercial de catalisadores nestas últimas décadas têm procurado diminuir o nível de emissões destes três contaminantes, através do melhoramento da eficiência dos catalisadores e melhorias no processo de combustão. Atualmente, o catalisador de três vias (TWC, *three ways catalyst*), que trata de reagir simultaneamente o CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos, é o mais usado [1]. A estrutura deste tipo de catalisador é composta de várias etapas que vão desde a estrutura básica (substrato), que é a estrutura cerâmica, o recobrimento com alumina- $\gamma$  (suporte) e os metais ativos (Pt/Rh) com promotores (LaO/CeO<sub>2</sub>) [2,3], até a carcaça. Enquanto que para a sintetização de alumina- $\gamma$  e impregnações de metais sobre o monolito de cordierita existem as mais distintas técnicas, a conformação de monolitos cerâmicos é feita exclusivamente pelo processo de extrusão.

As estruturas cerâmicas dos catalisadores inicialmente utilizados eram pequenas estruturas geométricas, tipo esferas, cilindros ou trilobulares de alumina- $\gamma$  Estruturas cerâmicas de cordierita, tipo favo de abelha, utilizadas como substrato para o suporte dos catalisadores, atualmente dominam o mercado [4, 5]. Os primeiros apresentam uma elevada área superficial específica, porém apresentam problemas de degradação térmica e desgaste mecânico devido ao atrito. Isto tem limitado o seu uso. Estes problemas são significativamente minimizados quando o substrato é de cordierita (2MgO.2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5SiO<sub>2</sub>).

A cordierita tem sido utilizada na conformação de monolitos cerâmicos, principalmente pela sua baixa expansão térmica. Atualmente, o mercado destes monolitos está monopolizado por duas grandes empresas que os fazem por extrusão. A espessura de parede entre os condutos destes monolitos é em média 0,15 mm.

A origem do desenvolvimento da técnica eletroforética vem da busca de alternativas na conformação da argila sob a ação de esforços mecânicos como na extrusão e na prensagem. Quando se aplica um campo elétrico retificado em uma pasta ou solução aquosa de argila, as partículas de argila movem-se na direção do eletrodo positivo, se compactando. Este fenômeno básico foi estudado de forma conceitual e experimental em estudo acadêmico [6]. O trabalho aqui reportado versa sobre a utilização desta técnica

na conformação de monolitos de cordierita.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Equipamento

A construção do equipamento para a conformação de monolitos por eletroforese baseou-se em duas diretrizes: *i*) a aplicação do campo elétrico deveria propiciar uma compactação uniforme das partículas e, ao mesmo tempo, permitir a retirada de água sem a criação de fissuras ou trincas; *ii*) a obtenção da forma desejada, adequada à aplicação em sistemas catalíticos (alta área e baixa perda de carga). O protótipo desenvolvido compõe-se de uma matriz envolvendo um conjunto de pinos de aço e uma tela também de aço. A argila deposita-se nos pinos e a água é retirada lateralmente através da tela.

### Materiais e métodos

A cordierita utilizada foi um produto comercial (fornecida pela Eliane S/A), moída. A granulometria utilizada nos experimentos foi ajustada aos tamanhos de partículas mais conveniente, 100% inferior a 0,1mm. O teor de água empregado (determinado em pré-testes) foi de 32,3% em base úmida, com a adição de 0,6% em base seca de dispersante - silicato de sódio. O caráter tixotrópico da barbotina utilizada facilitou a sua injeção no equipamento quando este foi posto sob vibração. Após a compactação, o campo elétrico é desativado. O ponto de controle para o desmolde da peça é função da temperatura, corrente elétrica e produção de trincas passantes.

Após o desmolde e secagem, a sinterização dos monolitos foi efetivada a 1100°C por 2 horas, com rampa de aquecimento de 100 ° C/h. Os corpos-de-prova assim obtidos foram submetidos à determinação da área superficial, pelo método BET e resistência mecânica por compressão, utilizando-se uma máquina universal de ensaios.

As análises de área superficial e densidade foram feitas nos equipamentos Quantachrome modelo NOVA 1000 e MVP-01, respectivamente; os ensaios de resistência mecânica de compressão foram executados na máquina universal de ensaios ATS modelo 1105-C e a microscopia eletrônica foi realizada em um aparelho Phillips XL20. A porosidade e absorção de água foram medidas pelo procedimento de porosimetria por imersão em água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A [Fig. 1](#) apresenta a fotografia de monolitos produzidos por eletroforese, já sinterizados, vistos de topo e

deitado. A [Tabela I](#) apresenta as propriedades medidas dos monolitos obtidos.

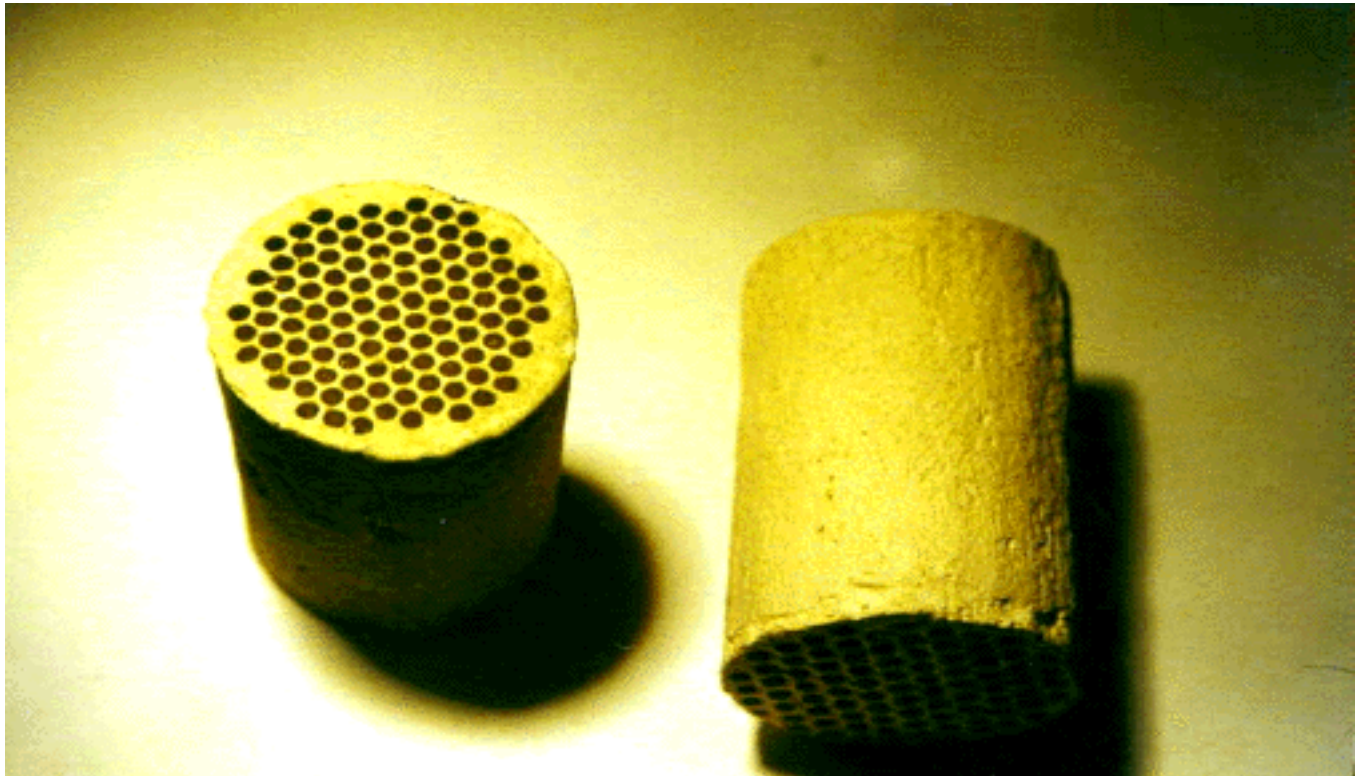


Figura 1: Fotografia do monolito de cordierita, após sinterização; diâmetro da peça ~ 18 mm.

Tabela I - Valores medidos das propriedades dos monolitos obtidos.

<b>Propriedade</b>	
área superficial	1 m <sup>2</sup> /g
resistência à compressão	14,2 MPa
absorção de água	29,3%
porosidade aparente	44,0%
retração linear após queima	8%

A [Fig. 2](#) mostra a variação da porosidade, área superficial BET e resistência à compressão, em função da temperatura de patamar de queima.

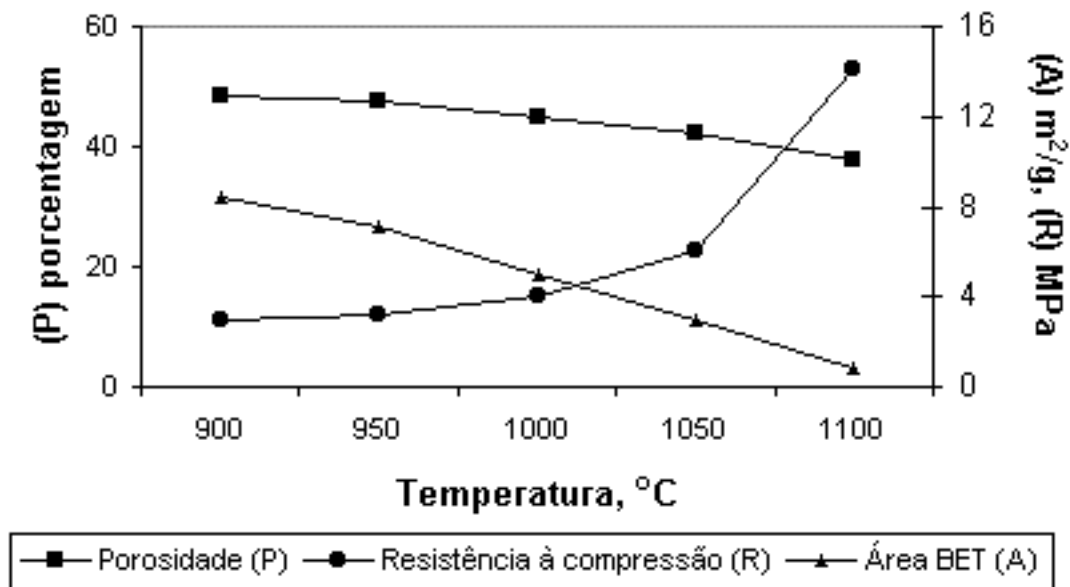


Figura 2: Propriedades físicas x temperatura

Quanto menos poroso for o monolito (em função do tempo/temperatura de sinterização) menor será a área superficial das partículas, devido à sua coalescência.

A compactação da argila decorre do movimento de suas partículas em direção ao eletrodo positivo, no caso, os pinos. A medida em que o campo elétrico é aplicado entre os pino metálicos e a tela externa, a argila vai se compactando radialmente sobre as superfícies dos primeiros. A água concentrada próxima à tela escoa através desta.

A velocidade das partículas em direção aos pinos é influenciada pela sua granulometria, na relação direta de suas massas e áreas superficiais; as primeiras na quantidade de movimento e as últimas na quantidade de carga eletrostática na superfície [6]. As partículas maiores são mais lentas e portanto compactam-se menos.

Quanto à intensidade da tensão elétrica do campo, pôde-se observar que quanto maior a tensão aplicada, mais rápida e mais intensa foi a retirada de água.

Entretanto, existe um limite de eficiência com a intensidade da tensão elétrica aplicada. Em estudos anteriores [6], demonstrou-se que quanto maior for a tensão elétrica, maior será a temperatura da peça (isto decorre do aumento da resistividade da massa de argila em função da diminuição do teor de água).



Isso levou, em alguns casos, à vaporização da água e conseqüente formação de trincas na peça (Fig. 3). Por outro lado, tensões elétricas menores podem ser insuficientes para uma adequada compactação. Um aspecto interessante observado durante os ensaios com granulometrias muito baixas foi o grau de compactação elevado obtido, o que em muitos casos, dificultou o desmolde provocando a formação de trincas. Uma outra variável a ser considerada é a quantidade final de água retirada. O limite mínimo de umidade para se obter um produto adequado foi da ordem de 21%. Abaixo deste valor, entretanto, a extração da peça do molde fica prejudicada devido à elevada compactação da argila sobre os pinos. O atrito resultante do desmolde provoca trincas, que em alguns casos podem ser passantes, comprometendo a estrutura da peça.

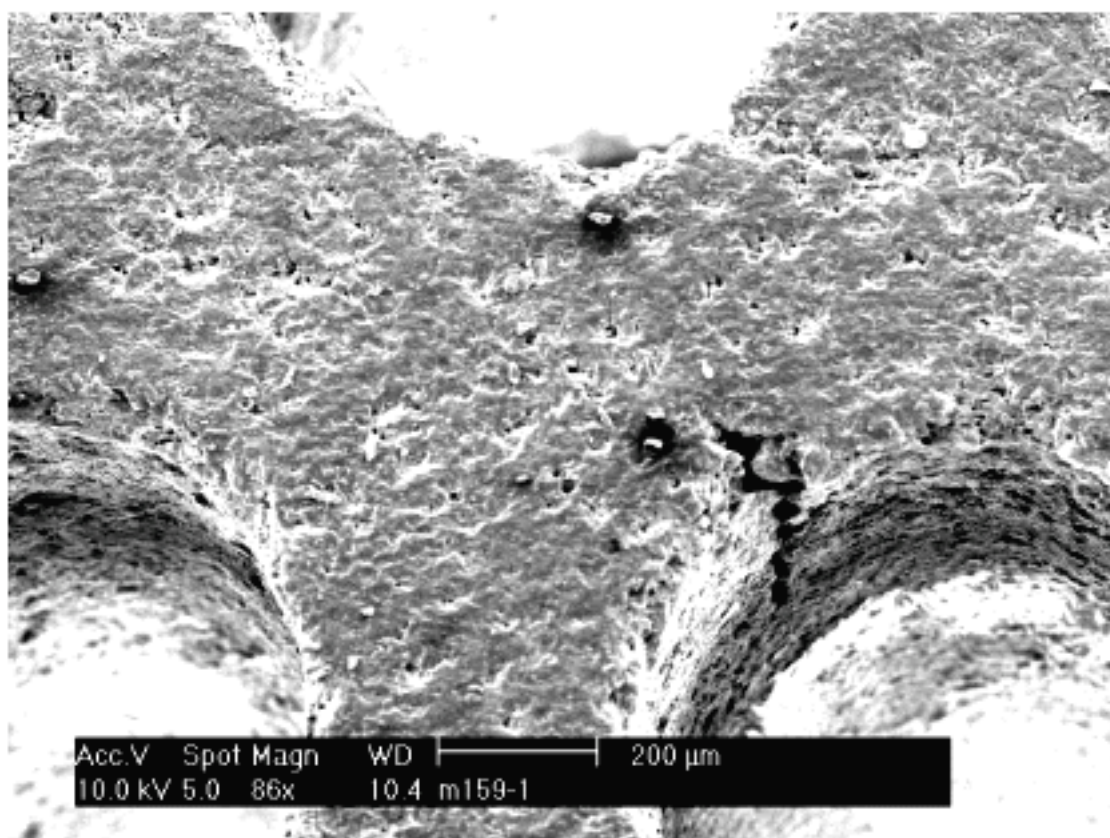


Figura 3: Fotografia da superfície do monólito no microscópio eletrônico de varredura.

Devido à sua geometria, a secagem da peça cerâmica conformada deve ser controlada para evitar trincas, resultantes do processo de secagem, principalmente em temperatura ambiente.

Os resultados obtidos nos ensaios de ruptura por compressão apresentaram resultados relativamente elevados, da ordem de 14,2 MPa, para monólitos sinterizados a 1100 °C; e 27,4 MPa para 1250 °C. Os materiais para este tipo de aplicação dificilmente são submetidos a tensão superior ao intervalo citado.

A área superficial BET medida apresenta-se bastante reduzida ( $< 1 \text{ m}^2/\text{g}$ ), no entanto, esse valor pode ser substancialmente elevado, através da técnica de sintetização de  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  na superfície da cordierita [7].

## CONCLUSÕES

A conformação de monolitos de cordierita pelo método eletroforético, mais que uma possibilidade técnica, é um caminho alternativo de conformação cerâmica. Controlando-se a granulometria da barbotina e a forma de retirada de água, é possível a obtenção de uma estrutura com menor espessura de parede, aumentando consideravelmente a área de fluxo e a área superficial exposta, sem que se comprometa a resistência mecânica.

Os resultados obtidos demonstram que é possível a obtenção de monolitos de cordierita com espessura de parede entre condutos (0,2 a 0,3 mm) próxima à espessura dos monolitos comerciais, com resistência mecânica mais que suficiente para o uso como substrato de catalisadores, tais como os utilizados nos automóveis. Enquanto que os monolitos produzidos por extrusão necessitam de uma escala industrial em torno de 2.000.000 de peças/ano para que sua produção seja viável, o processo aqui apresentado, embora ainda em escala laboratorial, mostra-se possível, não só pela sua simplicidade construtiva como também pela baixa energia envolvida no processo de conformação.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Cataluña, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1995.
- [2] R. A. Dall Betta, R. C. Mc Cane, Ind. Eng. Prod. Res. Dev. **15** (1976) 169.
- [3] B. Harrison, A. F. Diwell, C. Hallet, Platinum Met. Rev. **32** (1988) 73.
- [4] K. C. Taylor, Catalysis and Automotive Pollution Control, Proc. 1<sup>st</sup> Int. Simp. CAPOC 1, Brunels, Sep. 8-11, 1986; Stud. Surf. Sci. Catl., Elsevier, Amsterdam **30** (1987) 97.
- [5] M. Chiron, Effects of motors vehicle pollutants on health, Catalysis and Automotive Pollution Control, p. 104, 1987.
- [6] C. A. Picinini, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, UFRGS, 1996.
- [7] J. A. Moulijn, P. W. N. M. van Leeuwen, R. A. van Santen, Catalysis - Approach to Homogeneous,

Heterogeneous and Industrial Catalysis, Elsevier, Amsterdam, **79**, 1995, 314-318.

(Rec. 21/10/98, Ac. 09/02/99)



All the content of the journal, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons License

*ABC*

Caixa Postal 11049  
05422-970 São Paulo SP  
CMDMC-CCTM-IPEN  
Av. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária  
05508-900 São Paulo SP - Brazil  
Tel./Fax: (55 11) 3816-9343

 e-Mail

[ceramica@ipen.br](mailto:ceramica@ipen.br)