

# COMPORTAMENTO DE COMPACTAÇÃO DE UMA MASSA CERÂMICA VERMELHA PARA FABRICAÇÃO DE AZULEJO<sup>1</sup>

*Marcela Figueira Pinto<sup>2</sup>  
Sidnei Jose Gomes Sousa<sup>3</sup>  
Angelus Giuseppe Pereira da Silva<sup>4</sup>  
José Nilson França de Holanda<sup>5</sup>*

## **Resumo**

No presente trabalho é estudado o comportamento de compactação de uma massa cerâmica vermelha para azulejo durante processo de compactação em matriz rígida. A amostra de pó da massa cerâmica vermelha foi microgranulada e prensada uniaxialmente numa matriz de aço cilíndrica até uma pressão máxima de 70 MPa. O comportamento de compactação da massa cerâmica foi avaliado por meio de diagramas de resposta de compactação e taxa de compactação. Os resultados revelaram que a compactação da massa cerâmica vermelha é governada por dois mecanismos de compactação dominantes incluindo o rearranjo de partículas e deformação plástica. A taxa de densificação é inicialmente alta, e depois diminui rapidamente para pressões acima de 2,63 MPa.

**Palavras-chave:** Azulejo; Compactação; Cerâmica tradicional; Caracterização

## **COMPACTION BEHAVIOUR OF A RED CERAMIC PASTE FOR MANUFACTURING OF WALL TILE**

## **Abstract**

In the present work was studied the compaction behaviour of a red wall tile ceramic mass during compaction processing in rigid die. The powder sample was microgranulated and uniaxially pressed in a cylindrical steel die up to 70 MPa. The compaction behaviour was evaluated by compaction response and compaction rate diagrams. The results revealed that the compaction of the ceramic mass is governed by two dominants mechanisms including rearrangement and plastic deformation. The densification rate is high initially, but then decreases rapidly for pressures above 2,63 MPa.

**Key words:** Wall tile; Compaction; Traditional ceramic; Characterization.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

<sup>2</sup> *Aluna do Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UENF.*

<sup>3</sup> *MSc. Engenharia e Ciência dos Materiais, Doutorando do PPGECM da UENF.*

<sup>4</sup> *DSc. Engenharia de Materiais, Professor Associado da UENF.*

<sup>5</sup> *DSc. Engenharia de Materiais, Professor Associado da UENF, Sócio da ABM.*

## INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos porosos, próprios para fixação em paredes, pertencem ao grupo BIII (NBR 13818) e são produtos que dentre outras características, devem ter uma alta estabilidade dimensional durante a queima e porosidade aberta superior a 10%.<sup>(1)</sup> Na fabricação dos suportes cerâmicos de base vermelha se utiliza normalmente como matérias-primas uma mistura de argilas naturais contendo óxido de ferro em proporções que variam de 4 até 8% (% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em peso) e quantidades de carbonatos (cálcio e magnésio) variáveis, até que as propriedades desejadas sejam atingidas.<sup>(2)</sup> Estas propriedades dependem fortemente dos parâmetros tecnológicos usados no processamento.

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó seco ou semi-seco contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível através da aplicação de pressão,<sup>(3,4)</sup> e constitui-se num dos métodos de conformação de pós mais utilizados na indústria cerâmica. O objetivo desta etapa do processamento é obter peças uniformes, de acordo com as dimensões e a geometria pré-estabelecidas, bem como contribuir para a obtenção de uma microestrutura adequada às características finais desejadas.<sup>(5)</sup>

A relação entre massa específica a verde e pressão de compactação, ou curvas de compactação, tem sido amplamente usada no estudo do comportamento de compactação de materiais na forma de pó tais como metais, fármacos e cerâmicos.<sup>(6)</sup> Tem sido freqüentemente mostrado que, nas curvas de massa específica a verde versus o logaritmo da pressão de compactação são observados dois ou três estágios distintos de compactação.<sup>(7)</sup> Estas curvas também são usadas freqüentemente para determinar a eficiência de ligantes, lubrificantes, e outros aditivos usados no processamento de diversos tipos de pós.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Uma massa cerâmica para revestimento poroso base vermelha foi formulada e sua composição é dada por: 70% em peso de argila, 15% em peso de calcário e 15% em peso de quartzo. Foram utilizadas como matérias-primas uma argila caulínica do município de Campos dos Goytacazes-RJ, um calcário do município de Italva-RJ e um quartzo comercial. As composições químicas das matérias-primas, determinadas pela técnica de fluorescência de raios-X, são dadas na Tabela 1.

A argila e o calcário forma moídos a seco em moinho de bolas (Gardelin, modelo 1A MB5) até não retenção em peneira de 200 mesh (75  $\mu\text{m}$  ABNT). O quartzo, fornecido na granulometria inferior a 200 mesh, foi utilizado conforme recebido. A massa cerâmica foi então submetida a um processo de microgranulação realizado num microgranulador intensivo (EIRICH, modelo R02), com umidade da ordem de 14%. Em seguida foi feito o controle da umidade para cerca de 7% da massa microgranulada. Os grãos grossos (> 2 mm) foram eliminados do processo. Foi feita então a distribuição de tamanho de partículas da massa cerâmica microgranulada por peneiramento de acordo com a norma NBR 7181-84.<sup>(8)</sup>

A massa cerâmica foi submetida à compactação por prensagem uniaxial com ação única do pistão superior. As medidas de carga aplicada em função do deslocamento do pistão foram realizadas numa máquina universal de ensaios (INSTRON, modelo 5582) com capacidade de 100 kN a uma velocidade de carregamento de 0,5  $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$  acoplada a um sistema de aquisição dos dados

experimentais. A massa cerâmica foi compactada numa matriz cilíndrica de aço inoxidável de diâmetro interno de aproximadamente 26,54 mm. A pressão de compactação máxima aplicada foi de 70 MPa. Para um melhor entendimento dos mecanismos de compactação foram construídos diagramas de resposta de compactação e taxa de compactação.

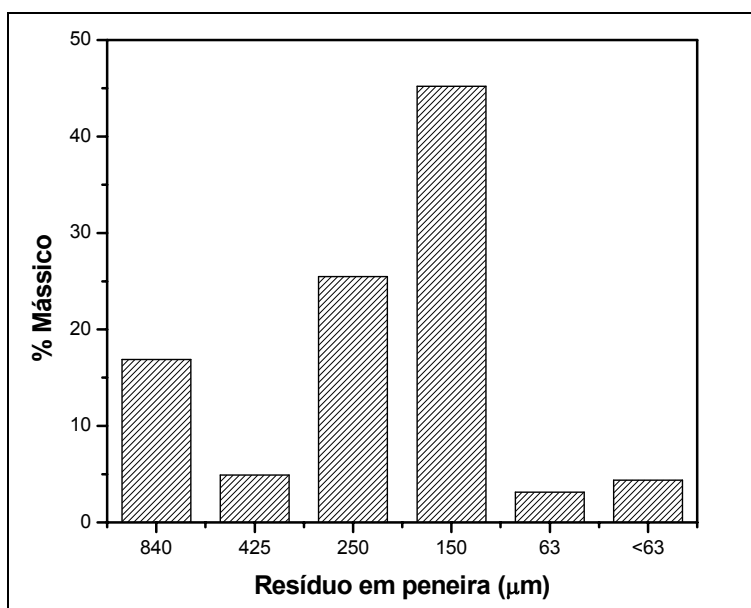
**Tabela 1.** Composições químicas das matérias-primas (% em peso).

Óxido	Argila	Calcário	Quartzo
SiO <sub>2</sub>	53,45	6,01	99,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,67	0,81	0,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,10	0,55	0,04
K <sub>2</sub> O	2,02	0,23	-
Na <sub>2</sub> O	0,57	0,15	-
CaO	0,40	47,26	-
MgO	0,83	4,91	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,07	-
TiO <sub>2</sub>	1,17	0,06	0,01
MnO	0,09	0,01	
P.F.	9,52	39,94	0,25

*P.F. = Perda ao Fogo.*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a distribuição de tamanho de grânulos da massa cerâmica microgranulada. Verifica-se que a massa cerâmica apresentou a maior fração de seus grânulos (70,69%) dentro do intervalo compreendido entre 150-250 µm. Tem sido reportado da literatura<sup>(9)</sup> que este intervalo de tamanho de grânulos é considerado adequado ao processo via seca, resultando na obtenção de produtos de qualidade, análogos aos obtidos pelo processo via úmida.



**Figura 1.** Distribuição de tamanho de partículas da massa cerâmica granulada.

O comportamento da curva de força aplicada em função do deslocamento do pistão é mostrado na Figura 2. No intervalo de intensidade de força aplicada (valor máximo de 38.317 N) cerca de 2,53 J foram fornecidos pelo sistema (máquina de ensaios) para que fosse mantida constante a velocidade do cursor da máquina.

A Figura 3 mostra a curva de massa específica a verde como função da pressão de compactação. Nota-se que a curva exibe uma elevada inclinação acima de determinado valor de pressão aplicada. Este comportamento pode ser interpretado supondo que mecanismos distintos de compactação atuam em seqüência.<sup>(10)</sup> A massa específica a verde máxima alcançada foi de  $1,98 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , obtida sob pressão de 70 MPa.

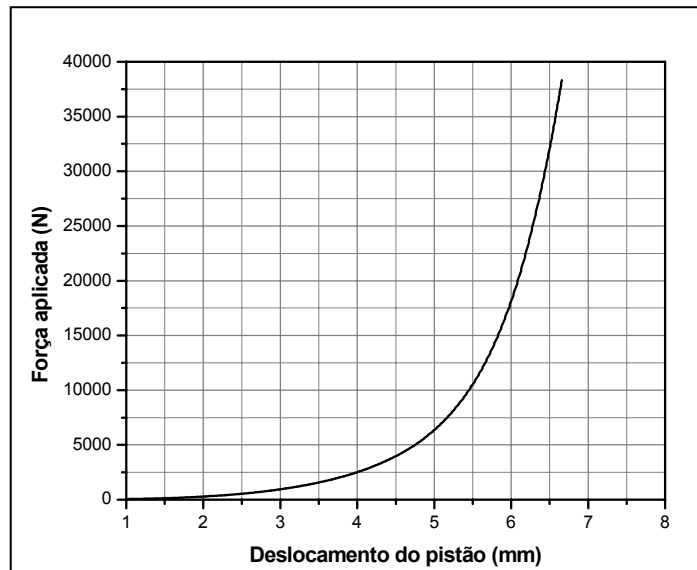


Figura 2. Curva da força aplicada em função do deslocamento do pistão.

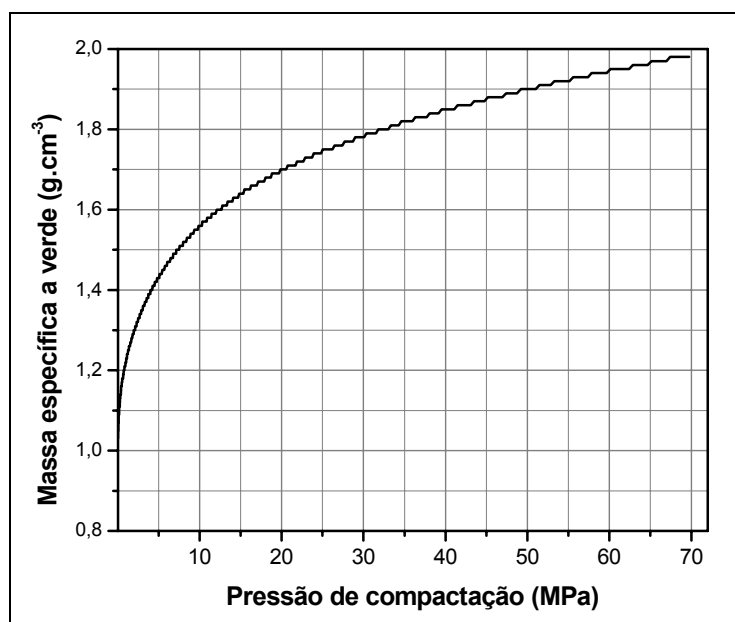


Figura 3. Massa específica a verde em função da pressão de compactação.

O diagrama de resposta de compactação para a massa cerâmica é apresentado na Fig. 4. Para efeito de cálculo da densidade relativa do compacto foi utilizado o valor da massa específica real dos grãos da massa cerâmica ( $2,70 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Os resultados mostram que o corpo compactado alcança uma densificação relativamente alta da ordem de 73 %, para o intervalo de pressão de compactação utilizado.

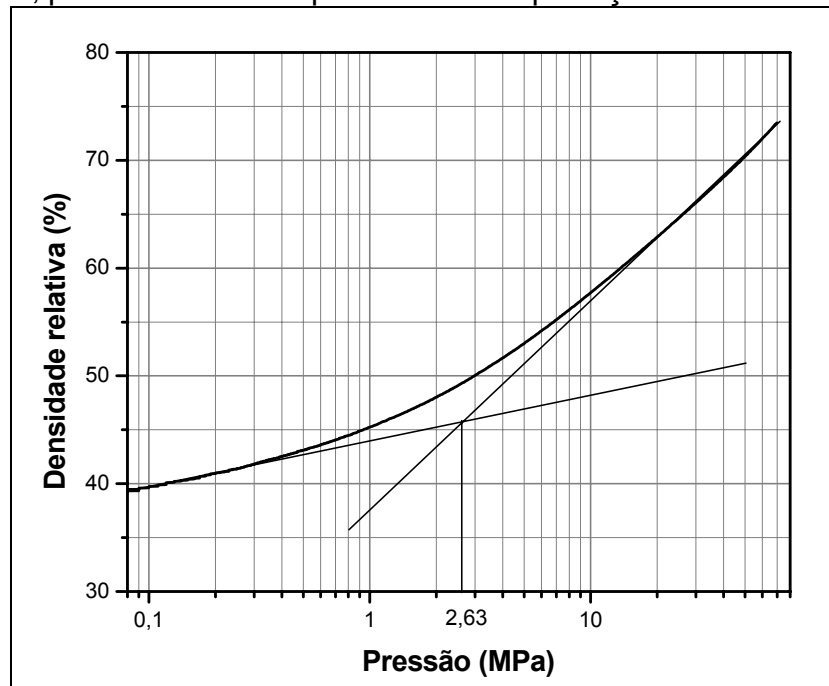


Figura 4. Diagrama de resposta de compactação para a massa cerâmica.

Verifica-se um desvio da linearidade da curva, caracterizando duas regiões distintas de compactação. A pressão no ponto de inflexão ( $P_e = 2,63 \text{ MPa}$ ) corresponde ao valor de pressão de escoamento aparente da massa granulada, na qual ocorre mudança de inclinação na curva de resposta de compactação. Isto indica uma mudança do mecanismo que governa a compactação naquele intervalo de pressões.

O diagrama da taxa de compactação, que corresponde a derivada primeira da curva de densidade relativa ( $dD_r/dP$ ), é uma ferramenta útil para o entendimento dos processos que ocorrem durante a compactação.<sup>(11,12)</sup> Este diagrama mostra a taxa em que a compactação ocorre numa dada pressão. A Figura 5 mostra o diagrama da taxa de compactação para a massa cerâmica estudada. O comportamento da curva mostra claramente duas regiões distintas de compactação, corroborando com o resultado observado na Figura 4. A primeira região, equivalente ao intervalo de pressão abaixo do ponto de inflexão ( $P_e$ ), é caracterizada por uma maior taxa de compactação ( $dD_r/dP$ ). Nesta região, o mecanismo predominante que governa a compactação é o deslizamento e rearranjo das partículas. A segunda região, equivalente ao intervalo de pressão acima do ponto de inflexão ( $P_e$ ), é caracterizada por uma menor taxa de compactação. No entanto, é nessa região que ocorrem grandes mudanças no valor de densidade. A medida que a pressão é aumentada ocorre a remoção de porosidade intergranular e um melhor empacotamento das partículas formando uma estrutura mais homogênea. O mecanismo de deformação plástica domina o processo de compactação nesta região (4). Do ponto de vista industrial, a segunda região de compactação é a mais importante durante o processo. O uso de pressões nesta região geralmente tem o efeito benéfico de diminuir o parâmetro retração linear.

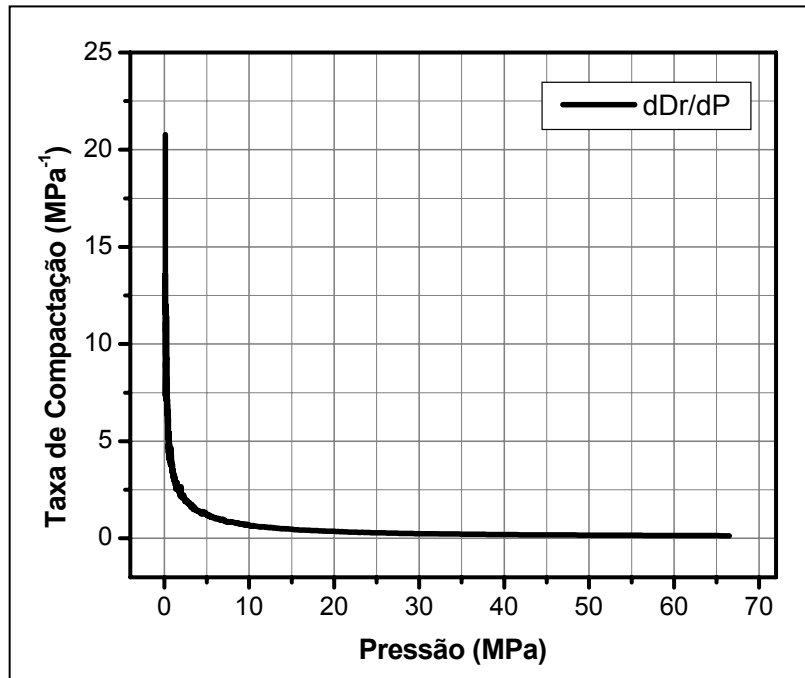


Figura 5. Diagrama de taxa de compactação para as massas cerâmicas.

## CONCLUSÕES

O processo de compactação da massa cerâmica é governado por dois mecanismos de compactação distintos. Para a região que compreende desde baixas pressões até atingir-se a pressão de escoamento (2,63 MPa), tem-se que o mecanismo de compactação dominante é o rearranjo de partículas com pouca influência na massa específica do compacto. Entretanto, esta região apresenta uma maior taxa de compactação. Para pressões acima da pressão de escoamento, que corresponde a uma menor taxa de compactação, o mecanismo que governa a compactação é a deformação plástica. Além disso, o intervalo de pressões nesta região é o mais adequado para compactação de corpos cerâmicos.

## Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq, CAPES e TECNORTE pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 NBR 13818. *Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificações e Métodos de Ensaio*, ABNT, Rio de Janeiro-RJ, 1997.
- 2 Barba, A., Beltrán, V., Feliú, C., Garcia J., Ginés F., Sánchez E., Sanz V. *Materias Primas para la Fabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas*, 2ª Edición, ITC, Castellón-España, 2002.
- 3 Amorós Albaro, J.L. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial. Descrição da Etapa de Prensagem. *Cerâmica Industrial*, v.6, n. 3, p. 27-33, 2001.
- 4 Reed, J.S. *Principles of Ceramics Processing*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York, p.418-442,1992,.
- 5 Amorós Albaro, J.S., Blasco, A., Navarro, J.E., Beltrán, V., Escardino, A.B. Variables en la Compactación de Soportes Cerámicos de Pavimento y Revestimiento, *Técnica Cerámica*, n. 105, p. 792-812, 1982.
- 6 Briscoe, B.J., Ozkan, N. Compaction Behaviour of Agglomerated Alumina Powders. *Powder Technology*, n. 90, p. 195-203, 1997.
- 7 Messing, G.L., Markhoff, C.J., McCoy, L.G. Characterization of Ceramic Powder Compaction. *American Ceramic Society Bulletin*, n. 61, p. 857-860, 1982.
- 8 NBR 7181-84, *Solo: Análise Granulométrica*, ABNT, Rio de Janeiro-RJ, 1984.
- 9 Nasseti, G., Palmonari, C. Dry Fine Grinding and Granulation vs. Wet Grinding and Spray Drying in the Preparation of a Redware Mix for Fast-Single-Fired Vitrified Tile, *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, n. 14, p. 15-24, 1993.
- 10 Bocchini, G.F. Warm Compaction of Metal Powders: Why it Works, Why it Requires a Sophisticated Engineering approach. *Power Metallurgy*, v. 42, n.2, p. 171-180, 1999.
- 11 Matsumoto, R.L.K. *Mechanical Consolidation*, Engineered Materials Handbook: Ceramics and Glass, ASM International, USA, v.4, p.128-129, 1991.
- 12 Radeka, M., Ramogajec, J., Neducin, R.M., Zivanovic, B. Particle Size Range as a Factor Influencing Compressibility of Ceramic Powder. *Ceramics International*, n. 21, p. 227-230, 1995.