

Avaliação da Umidade de Granulação na Prensagem de Massas para Placas Cerâmicas de Revestimento Semi-Poroso

H. A. Oliveira^{a,b*}, L. C. Nascimento^b, Z. S. Macedo^b, R. M. P. B. Oliveira^{b,c}

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, Estância, SE, Brasil

^b Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – P²CEM, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

^c Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais – DCEM, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

*e-mail: herbetalves148@gmail.com

Resumo

Este trabalho avalia os efeitos do teor de umidade de granulação de uma massa de revestimento cerâmico na fase de prensagem e a relação com as propriedades tecnológicas obtidas pelo processo via seca. Uma massa industrial granulada com umidades de 5, 7 e 9% foi submetida a pressões de compactação de 140, 180 e 220 Kgf/cm². Os corpos de prova obtidos foram secos a 300 °C em secador industrial e queimados em forno industrial na temperatura de 1130 °C e ciclo de queima total de 23 minutos. Em seguida, foram medidos o módulo de ruptura à flexão, absorção de água e a retração linear das peças após secagem e após o processo de queima. Adicionalmente foi realizada análise de microscopia eletrônica de varredura das peças a verde. Os resultados obtidos evidenciam a importância do controle dos parâmetros de umidade sobre a compactação da peça que por sua vez promove influência direta sobre as propriedades tecnológicas. Contudo, existe uma umidade mínima de prensagem para a massa industrial investigada neste estudo, de modo que suas características possam satisfazer a NBR 13818.

Palavras-chave: revestimento cerâmico, prensagem, absorção de água, umidade de granulação, processo via seca.

1. Introdução

A indústria de revestimento cerâmico do Brasil ocupa hoje o 2º lugar mundial em produção¹. Aliado a um processo altamente produtivo, com o advento dos fornos a rolos e da monoqueima rápida, produtos que eram queimados em ciclos de queima com duração de horas atualmente são queimados em ciclos com duração média de 25 minutos, chegando a alguns casos a se aproximar dos 15 minutos². Para atender a essa necessidade, as massas de revestimento tem que estar devidamente compactadas para garantir que o produto possa percorrer a linha de produção sem apresentar defeitos durante o trajeto até a saída do forno. Nesse contexto, a prensagem deve ser suficiente para facilitar a eliminação de gases e promover a sinterização suficiente para garantir resistência mecânica após queima.

A prensagem é um dos métodos tradicionais mais eficientes para produção de revestimentos cerâmicos em grande escala³. O referido processo consiste na aplicação de uma pressão em material pulverizado confinado no interior de uma matriz rígida ou móvel. A etapa de prensagem consiste no preenchimento, compactação e por fim extração da peça. O processo pode ser dividido em três estágios. O estágio inicial se estende desde o início da compactação do material que corresponde à densidade de preenchimento do material, até o valor em que os grânulos atingem o grau máximo de empacotamento sem que ocorra sua deformação. O estágio intermediário compreende o intervalo de pressões que se estende desde a pressão de fluência até o valor de pressão na qual a compactação

do corpo coincide com a do grânulo. A maior parte da compactação que ocorre no corpo durante a etapa de prensagem se dá neste estágio, através da deformação e/ou destruição dos aglomerados^{4,5}.

A massa utilizada no processo produtivo de revestimentos cerâmicos tem importância significativa para obtenção de produtos de qualidade. Mesmo nas melhores indústrias de revestimentos cerâmicos, a umidade da massa varia ao longo do tempo e a pressão de compactação varia de uma prensa para outra, de uma região para outra dentro de uma mesma cavidade e também ao longo do tempo. Entretanto, é preciso estabelecer os limites dentro dos quais a umidade e pressão podem variar sem comprometer as características do produto final. A densidade do compacto tem sido alvo de estudos e a medida que ela aumenta há uma tendência de aumentar a resistência mecânica e redução da absorção de água⁶. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos da variação da pressão de compactação e do teor de umidade de granulação da massa sobre as propriedades tecnológicas do compacto antes e após a queima de uma massa industrial para revestimento cerâmico semi-poroso.

2. Material e Métodos

A massa argilosa industrial foi fornecida por uma empresa local no estado de Sergipe. A preparação das amostras partiu de uma massa seca com umidade residual

de 3% produzida por meio de moinhos de martelo industrial da marca Piacentini que foi passada na peneira ABNT 48. Em seguida, a massa foi granulada em laboratório com umidades de 5, 7 e 9% passando na peneira ABNT 28 e mantidas em sacos plásticos fechados por 24h antes de serem utilizados. Os corpos de prova foram conformados em prensa hidráulica da marca SERVITECH modelo CT-320 na forma de barrinhas com dimensões de 70 mm × 50 mm × 5 mm, utilizando massa padrão de 70 g e pressões de conformação de 140, 180 e 220 Kgf/cm². Os compactos recém-prensados foram pesados e medidos com paquímetro digital com resolução de 0,01 mm e balança eletrônica com precisão de 0,1 g. Posteriormente, estes foram secos em secador industrial a 300 °C por 10 min, com o objetivo de determinar a umidade de prensagem, a densidade aparente e a retração de secagem das diferentes amostras. Os módulos de ruptura a flexão foram determinados pelo flexímetro modelo CT-100 SERVITECH para determinação de resistência a flexão

em três pontos. Todas as amostras foram queimadas a 1130 °C em forno industrial ENAPLIC FR 28/73 com taxa de aquecimento de 30 °C/min e 3 min de patamar na maior temperatura. Para a caracterização física dos corpos de prova após a queima mediu-se a retração linear de queima (RLq), a absorção de água (AA) e o módulo de ruptura à flexão em três pontos (MRFq). As medidas foram realizadas com 5 corpos de prova em cada etapa. Os ensaios e procedimentos de caracterização física seguiram as recomendações de Sanches et al.⁷.

As peças prensadas a verde foram utilizadas para observação dos grânulos na superfície da peça utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM-5700. As amostras foram secas, fixadas em fita dupla face de carbono e metalizadas por deposição por plasma com ouro em metalizadora Denton Vacuum, Desk V. A Figura 1 representa o fluxograma de procedimento experimental da preparação e avaliação dos corpos de prova.

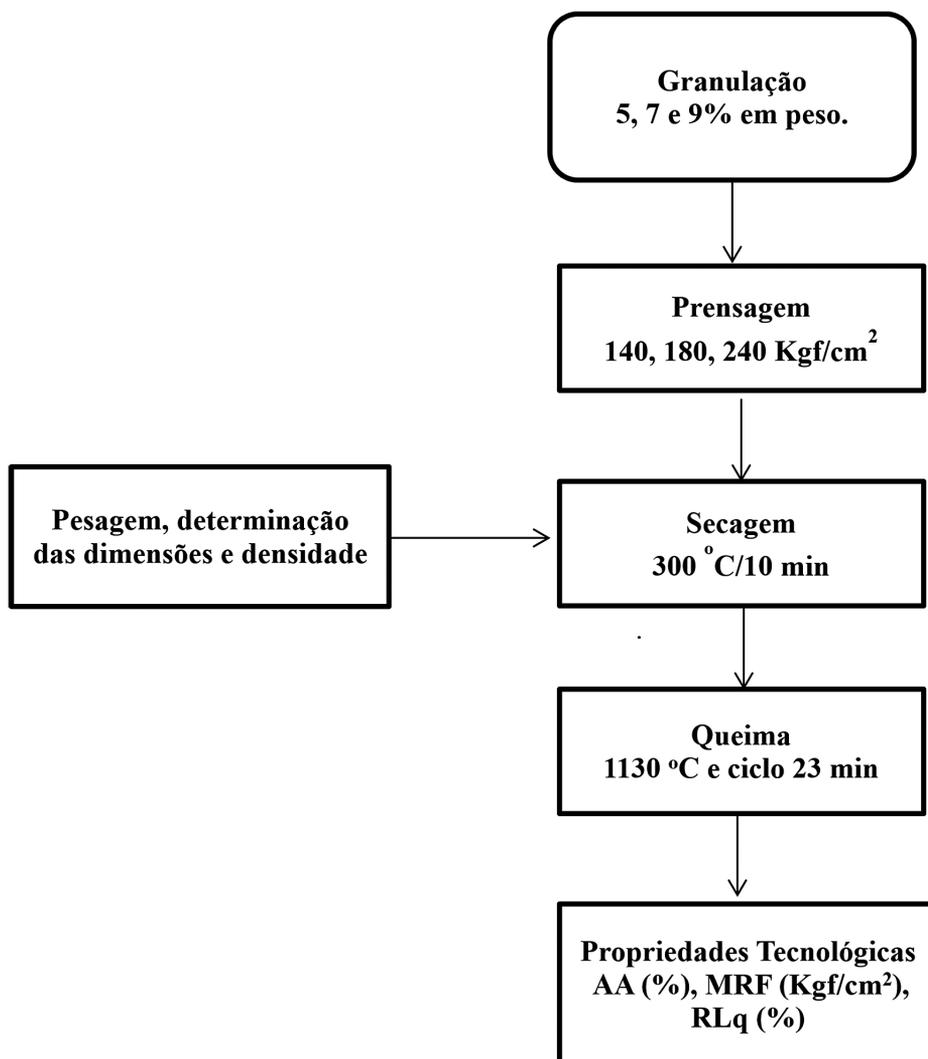


Figura 1. Fluxograma de procedimento experimental.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 representa a variação da umidade de granulação da massa com a pressão de prensagem em 140, 180 e 200 Kg/cm². Pode-se observar que em todas as umidades estudadas, bem como em todas as pressões, ocorreu redução da espessura. Para umidade de massa de 5%, a medida que se aumenta a pressão de prensagem, maior é a variação de espessura, isto se deve à menor plasticidade que a massa apresenta dificultando a densificação dos grânulos. No entanto, conforme a umidade aumenta de 7 e depois 9%, a espessura diminui. Isto se deve a maior liga adquirida, pois a umidade agora envolveu mais os grãos e conferiu mais plasticidade facilitando a consolidação do compacto verde.

A Figura 3 apresenta as curvas da variação da densidade de prensagem dos corpos de prova verde com umidade da massa submetidas às pressões de 140, 180 e 220 Kg/cm². Quanto maior a umidade, maior a densidade do prensado. Por sua vez, a densidade sofre acréscimos modestos em todas as pressões exercidas até atingir a umidade de 7%. A partir desse teor de

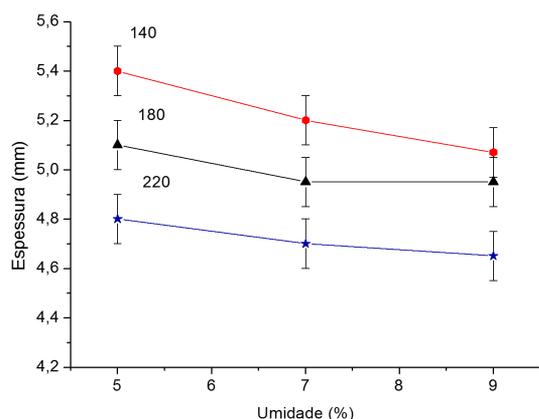


Figura 2. Variação da umidade de granulação × espessura no corpo verde .

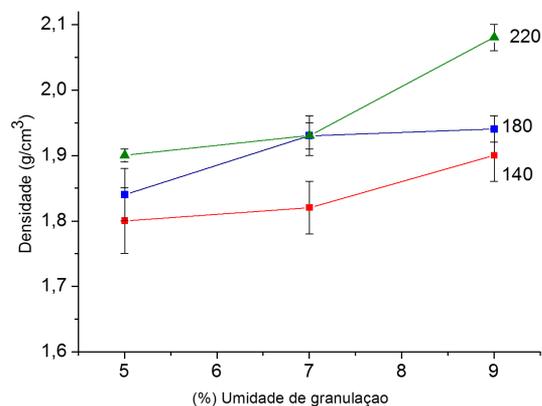


Figura 3. Umidade de granulação × densidade de compactação do corpo verde.

umidade, a curva sofre uma deflexão pronunciada, a densidade aumenta quando se experimenta maiores pressões de compactação. A relação entre a densidade com a pressão fornece importantes informações em relação a compactação dos grânulos. Segundo Reed⁸, o primeiro estágio de compactação inicia quando a punção entra em contato com o pó e produz deslizamento dos grãos com conseqüente rearranjo e aumento da densificação. O ar contido na massa é eliminado pela folga entre a matriz e a punção. Em um segundo estágio ocorre deformação do grão e redução dos interstícios vizinhos. Uma redução do volume e o tamanho dos interstícios ocorrem com a deformação dos grânulos. O terceiro estágio inicia com aplicação de uma pressão elevada quando ocorre o deslizamento e em seguida densificação de partículas. Nesta fase os poros maiores entre grânulos deformados desapareceram e as interfaces entre os grânulos não existem. A pressão elevada produz *stress* entre partículas e conseqüentemente a fratura dos agregados estabilizando a densificação⁹.

A Figura 4 mostra a variação da umidade de prensagem com a tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova queimados sob influencia de pressões de compactação. É observado que a tensão de ruptura a flexão experimenta um aumento gradativo em todas as pressões de trabalho até atingir a umidade de 7%, quando ocorre estabilização confirmando o aumento da densificação.

Na Figura 5 é mostrada a variação da absorção de água x pressão de compactação e umidade da massa dos corpos de prova queimados a 1130 °C. A absorção de água apresentou-se constante mediante a variação de umidade e pressão em todos os testes, exceto quando a umidade atingiu 7% e pressão de 220 Kg/cm². Aumentando-se a umidade até atingir 9% a absorção de água foi diminuindo. Para atender a NBR 13818 para a classe de revestimento cerâmico de Absorção de água BIIb, ou seja, com absorção de água na faixa de 6 a 10%, a massa deverá ser granulada com

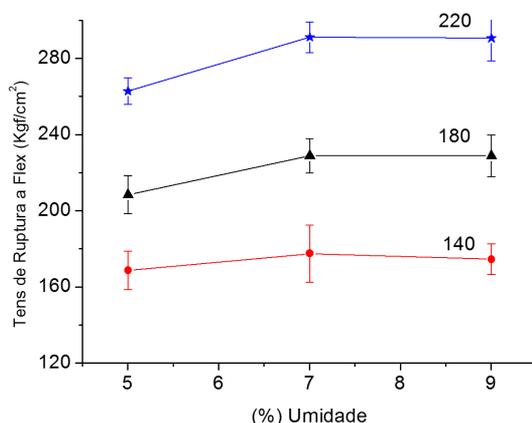


Figura 4. Variação da umidade de prensagem e a resistência à flexão do corpo queimado.

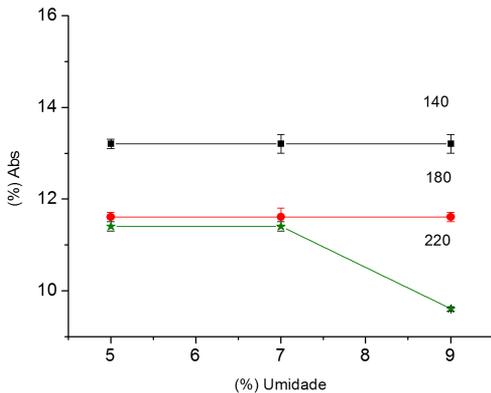


Figura 5. Variação da absorção de água e a umidade de granulação no corpo queimado.

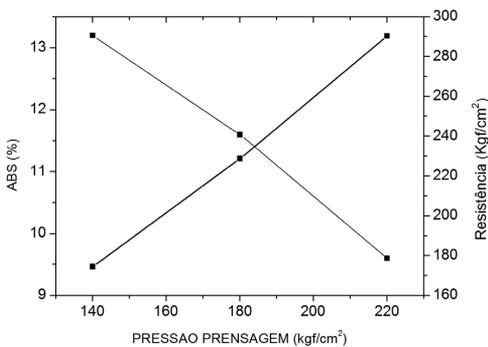


Figura 6. Variação da absorção de água e o módulo de ruptura à flexão de corpos de prova queimados a 1130 °C.

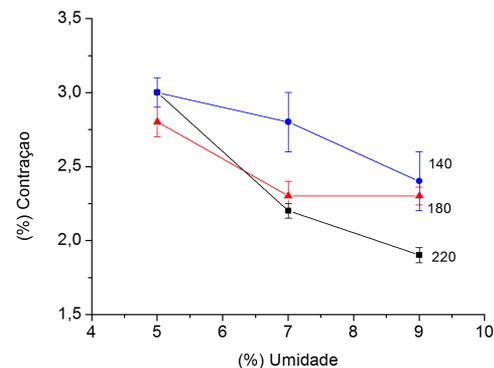


Figura 7. Retração linear após a queima x pressão de compactação de corpos de prova queimados a 1130 °C.

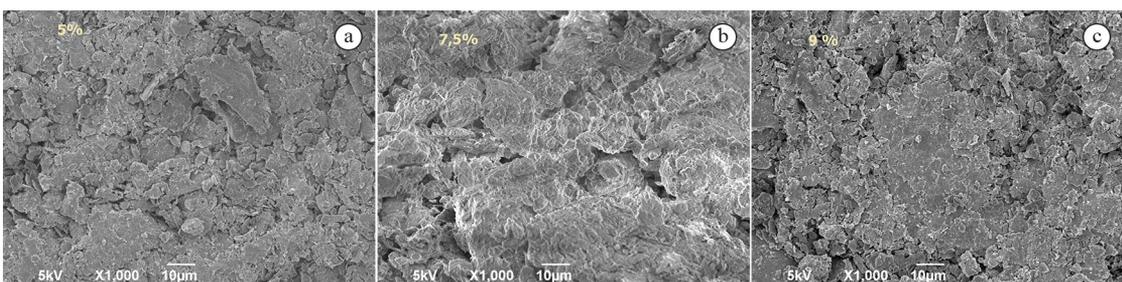


Figura 8. Imagem MEV da superfície da peça verde compactada com pressão de 220 kgf/cm² e umidade de granulação de (a) 5% (b) 7% e (c) 9%.

8 a 8,5 e operar com pressão em torno de 220 Kgf/cm² ou equivalente de modo a obter uma densidade a verde da ordem de 2,0 g/cm³.

Na Figura 6 apresenta a relação da absorção de água com o módulo de ruptura a flexão. Observa-se que para atender a NBR 13818 e produzir um produto com absorção entre 6 e 10% será necessário operar com a prensa com pressão mínima de 220 Kgf/cm².

Outra importante propriedade é a retração linear após queima. Quanto maior a retração, mais dificuldade para produzir lotes com mesma bitola e atender às exigências do mercado no que se refere às dimensões da peça. Na indústria cerâmica a retração de uma massa deve ser a menor possível desde que não influencie na tensão de ruptura à flexão e absorção de água. A menor faixa de retração foi observada exatamente nas massas prensadas com umidade de 8% e pressão de trabalho de 220 Kgf/cm² vide Figura 7.

As Figuras 8a, 8b, e 8c apresentam as imagens de microscopia eletrônica de varredura da superfície das peças a verde e conformadas com pressão de 220 Kgf/cm² nas umidades de 5, 7 e 9%. Na Figura 8a, é possível observar na superfície da peça a verde com 5% de umidade, as partículas estão mais espalhadas indicando que a umidade de granulação utilizada para esse perfil de massa não é suficiente para consolidar os grânulos com o mínimo de coesão entre as camadas de umidade que encobre as partículas e consequente redução das forças superficiais do tipo Van der Waals ou eletrostáticas entre as partículas, ou ainda forças de capilaridade devido à presença de líquido dentro do grânulo⁹. A Figura 8b representa a morfologia da superfície da peça compactada a verde com umidade de granulação de 7%, observa-se uma evolução dos grânulos formados, porém as imagens indicam que o compacto verde não está totalmente consolidado devido a presença de poros entre os grânulos. A Figura 8c apresenta a superfície da peça verde com umidade de granulação de 9%, percebe-se uma melhora na consolidação do compacto e a redução dos vazios entre os grânulos, a morfologia indica ainda grânulos deformados e sem definição de interfaces. Conforme Reed⁸, esse perfil acrescenta uma melhoria significativa na densificação e resistência mecânica da peça verde e após o processo de queima.

4. Conclusões

Através dos resultados de ensaios físicos foi possível definir as condições de operação de uma massa argilosa industrial na fabricação de placas de revestimento cerâmico do tipo semi-poroso, classificado como BIIb com umidade de granulação entre 8 e 9% e pressão em torno de 220 Kgf/cm². A medida que a pressão é aplicada tem-se a compactação entre as partículas com esmagamento ou fratura dos grânulos, e a redução contínua dos poros até sua completa eliminação. Pode-se observar que existe uma umidade mínima de compactação, bem como uma pressão mínima que varia de acordo com as características da massa argilosa.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura confirmam a evolução da consolidação do compacto a verde com o aumento da umidade de granulação para as peças obtidas pelo processo via seca nas condições de prensagem investigadas neste estudo.

Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Laboratório Multiusuários do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, LMDCEM/UFS.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS. LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES – ANFACER. São Paulo. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 11 ago. 2015.
2. MAGALHAES, M. et al. Efeitos do ciclo de queima sobre as temperaturas de mínima absorção de água e máxima densificação de porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 2, p. 20-25, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.067>.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR13818/1997**: placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
4. GUSTAVO, R. P., QUINTEIRO, E., BOSCHI, A. Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3-4, p. 28-31, 1997.
5. AMOROS, J. L. A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial Parte II: a compactação. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, p. 14-18, 2000.
6. MELCHIADES, G. F. et al. Deformação pirolástica de porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 1, p. 13-16, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.059>.
7. SANCHES, V. et al. **Manual para el control de localidad de materias primas arcillosas**. Madrid: ITC Instituto de Tecnología Cerámica, 2008.
8. REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
9. AMOROS, J. L. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte V: descrição da etapa de prensagem. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 3, p. 26-32, 2001.