

Estudo da Influência das Variáveis do Pó Atomizado e da Prensa nas Características Técnicas do Produto Final

**Bruna Dagostim dos Santos^{a,b}, Daniele Saviato^{a,b}, Edna Martins^{a,b},
Eliese de Mello^{a,b}, Renata Sartor^{a,b}, Tairini Barbosa^{a,b}, Maykon Cargnin^a,
Agenor De Noni Jr.^a, Claudio de Oliveira Modesto^a, Reginaldo Tassi^{a*}**

^aInstituto Maximiliano Gaidzinski (IMG),
Rua Dr. Edson Gaidzinski, 352, 88845000, Cocal do Sul - SC, Brasil

^bAlunos do curso técnico de cerâmica

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

Resumo: Neste trabalho observar-se-á as mudanças que ocorrem na distribuição granulométrica e umidade do pó atomizado, desde sua formação no processo de atomização, até a etapa de prensagem, bem como a influência destas variáveis nas características do material prensado, seco e queimado, assim como o funcionamento da prensa hidráulica empregada no processo produtivo. Serão apresentados brevemente o funcionamento dos sistemas isostáticos dos punções, e a influência da velocidade do carro alimentador no carregamento das cavidades. Pode-se perceber que ocorrem mudanças nas características do pó atomizado ao longo do processo, como variação na umidade, distribuição granulométrica e densidade de empacotamento, que afetam de maneira direta as características do produto prensado. Verificou-se também que com velocidades menores do carro alimentador da prensa consegue-se maior uniformidade nos valores de densidade aparente ao longo da peça prensada.

Palavras-chave: prensa hidráulica, pó atomizado, variáveis.

1. Introdução

A indústria de revestimentos cerâmicos utiliza extensivamente o método de conformação por prensagem, que tem como objetivo estabelecer uma forma definida a um pó moldável através da aplicação de pressão normalmente uniaxial. Como resultado se obtém um corpo compactado rígido com maior densidade aparente em relação ao pó de origem e conseqüente obtenção de resistência mecânica para que possa suportar as solicitações mecânicas até a etapa de queima^{2,3}.

O controle das variáveis próprias das etapas de preparação do pó e de conformação é imprescindível para a obtenção de produtos com qualidade final desejada. O objetivo deste trabalho foi estudar algumas variáveis relacionadas ao pó, preparado por atomização, e ao processo de prensagem, avaliando a influência destes fatores nas características do produto prensado, seco e queimado.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Preparação do pó atomizado

A produção de revestimentos cerâmicos a partir de processo de moagem via úmida, requer uma subseqüente etapa de secagem e granulação da massa, denominada atomização. Esta etapa transforma a composição de matérias-primas, moída e homogeneizada na forma de suspensão, num granulado de formado esférico por meio da pulverização em câmara quente⁹. Após a atomização o pó é armazenado em grandes silos onde ocorre a homogeneização da umidade entre os grãos grossos e finos. Em seguida o pó é transportado até os silos menores para a alimentação das prensas, onde ocorre a conformação.

A Figura 1 mostra o formato de um pó atomizado, que é formado por inúmeras partículas mais finas, provenientes da moagem das matérias-primas. Um conjunto de pós atomizados apresentam poros intragranulares e intergranulares. Os poros intragranulares encontram-

se no interior do grânulo, já os intergranulares são formados nos espaços vazios deixados pelos grânulos.

2.2. Variáveis do pó atomizado

2.2.1. Umidade e distribuição da umidade

Teores de umidade entre 5 a 8% são normalmente empregados. Quanto maior a umidade do pó maior a densidade aparente do corpo prensado, já que a densificação depende da facilidade com que os grânulos se deformam plasticamente, e a umidade atua como um lubrificante e plastificante da argila, portanto, diminui o esforço necessário para deformação das partículas de argila⁴. Como conseqüência do aumento da densidade ocorre aumento na resistência mecânica tanto do produto recém conformado quanto do produto seco. À densidade aparente e resistência mecânica após a queima também tendem a serem aumentadas.

No que diz respeito a distribuição da umidade, imediatamente após a atomização os grânulos grossos possuem maior teor de umidade que os grânulos médios e finos respectivamente, desta forma, é de fundamental importância que após a atomização da massa seja armazenada até que estas diferenças sejam eliminadas. Este processo é denominado de maturação⁷. Um tempo de 48 horas de maturação é normalmente recomendado para atingir seus objetivos, no entanto o tempo ideal pode variar de fábrica para fábrica, conforme características do pó e dos silos. A falta de homogeneidade na umidade do pó está diretamente associada a problemas de falta de ortogonalidade do produto após a queima.

2.2.2. Distribuição granulométrica

As variáveis que governam a pulverização da barbotina dentro do atomizador determinam a distribuição de tamanho das gotículas e, portanto, a distribuição de tamanho do pó atomizado. As principais variáveis controladas são o diâmetro dos bicos pulverizadores e a pressão de bombeamento⁹.

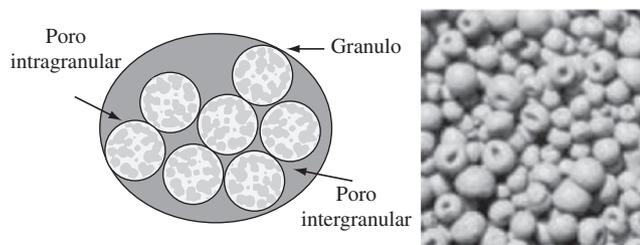


Figura 1. Fotografia de pó atomizado e representação esquemática do sistema. (adaptado de Alberó² e Labrincha et al.⁹)

A distribuição granulométrica afeta diretamente a fluidez e a densidade aparente do pó que por sua vez afetam o controle do carregamento das matrizes das prensas, feito por medida volumétrica (volume da matriz). Caso ocorra alteração na densidade de empacotamento do pó atomizado, ocorrerá variação na quantidade de massa colocada na caixa matriz, havendo variação de massa ocorre mudança na pressão de compactação aplicada no pó atomizado e conseqüentemente ocorre alteração na densidade aparente das peças⁷.

Numa fábrica o controle da granulométrica é feito normalmente por peneiramento seguido por classificação em grãos finos, médios e grossos, sendo que os parâmetros mais relevantes são os teores de finos e grossos.

2.3. Prensas hidráulicas

As prensas industriais são constituídas por quatro sistemas, conforme mostra a Figura 2, que são responsáveis pela execução de todas as etapas que envolvem o ciclo de prensagem.

O sistema de alimentação promove o preenchimento da caixa matriz (punção inferior) com a massa atomizada bem como o seu nivelamento, e ao mesmo tempo que retira das peças conformadas no ciclo imediatamente anterior⁵. O sistema é composto pelos seguintes equipamentos: silo de alimentação, homogeneizador de pó, tremonha móvel ou fixa, carro alimentador que possui grelha, régua expulsora e régua niveladora.

O sistema de prensagem é composto por duas partes distintas:

- Parte inferior: é composto pela matriz, sustentada por uma série de suportes, e pelos punções inferiores conectados ao extrator hidráulico; e
- Parte superior: composta pelos punções superiores, e estes são conectados por magnetismo a um cepo que pode ou não ser unido a uma placa porta-cepas.

O sistema hidráulico consiste em um motor elétrico, uma bomba de pistão com trocador de calor e um conjunto de eletroválvulas⁵. É capaz de bombear o óleo necessário para realizar as distintas operações que compõe o ciclo de prensagem, tal como a movimentação do punção superior, inferior, entre outras funções.

O sistema automatizado de controle é responsável por enviar e receber informações da prensa. Possui IHM (Interface Homem Máquina) que é constituído por um painel de controle onde são feitas todas as regulagens do ciclo de prensagem, tais como velocidade durante o percurso do carro alimentador (rampas), pressão de compactação, entre outros.

3. Procedimento Experimental

3.1. Acompanhamento das propriedades do pó

Foi realizado a fim de avaliar as mudanças que ocorrem nas características do pó, desde sua formação no processo de atomização até a formação do corpo compactado. O pó utilizado para a realização dos ensaios foi formado industrialmente com formulação de massa típica de revestimento típico de monoporosa, onde o mesmo foi recolhido em três pontos: após a saída do atomizador, após sua saída do silo

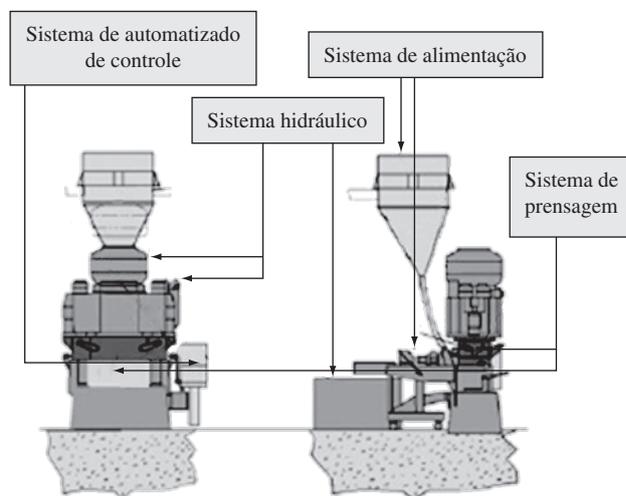


Figura 2. Sistemas constituintes da prensa hidráulica. (Adaptado de Alberó⁵).

de armazenamento no qual ficou armazenado durante 48 horas e por fim no homogeneizador da prensa.

Determinou-se a umidade do pó nos diferentes pontos de coleta, com auxílio de uma balança digital de resolução $\pm 0,01$ g. Foram pesadas 100 g de cada amostra e levadas à secagem em estufa laboratorial com temperatura de aproximadamente $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ até que atingissem peso constante.

Após a determinação da umidade foi realizada a distribuição granulométrica das diferentes amostras afim de separá-las em três grupos: finos (menores que $300\text{ }\mu\text{m}$), médios (entre 300 e $500\text{ }\mu\text{m}$) e grossos (maiores que $500\text{ }\mu\text{m}$). Este ensaio foi realizado com o auxílio de peneiras com malha de abertura de $500\text{ }\mu\text{m}$, outra com malha de abertura de $300\text{ }\mu\text{m}$ e um prato. O conjunto (peneiras + prato e pó) foi colocado em um vibrador de peneiras por 15 minutos com intensidade de vibração $7,5\text{ Hz}$. Após a separação dos pós, as peneiras e o prato foram pesados para verificar a quantidade de material depositado em cada um deles.

Determinou-se também a densidade de empacotamento solta e batida das distintas amostras de pó através de um picnômetro com volume de 100 mL .

Posteriormente foi efetuado a conformação, das diferentes amostras de pó, em prensa hidráulica laboratorial com pressão específica de 300 kgf/cm^2 formando corpos-de-prova com 20 g e dimensões de, $80 \times 20\text{ mm}$. Os corpos recém-prensados foram pesados e medidos com paquímetro, e então secos em estufa laboratorial a aproximadamente $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante. Em seguida foram pesados e medidos a fim de determinar a retração de secagem, a umidade de prensagem e a densidade aparente a seco.

A densidade aparente dos corpos-de-prova foi medida através de empuxo de mercúrio e a resistência mecânica a flexão dos corpos-de-prova foi medida em crômetro digital marca Gabrielle modelo CRAB 424.

3.2. Influência do carro alimentador

Este procedimento teve por objetivo avaliar a influência de diferentes velocidades do carro alimentador da prensa (aumentado e diminuído 25% em relação a velocidade normal do carro alimentador em todas as rampas de velocidade) nas características do produto após a sua compactação e sua posterior queima.

Foi realizada a prensagem dos corpos-de-prova em prensa hidráulica industrial (VIS 1500) com estampas isostáticas, pressão de compactação de 345 kgf/cm^2 , onde as peças obtiveram um tamanho próximo de $45 \times 45\text{ cm}$. Após a prensagem realizou-se a secagem em

secador industrial com temperatura aproximada de 200 °C durante 15 minutos.

Após a realização da prensagem foi realizado a densidade aparente de seco em nove diferentes regiões da peça.

Realizou-se também a queima dos corpos-de-prova em forno industrial com temperatura máxima de queima de 1220 °C em ciclo de porcelanato de 35 minutos. Então foi medido o tamanho do corpo-de-prova para avaliar a influência sofrida pelas variações de velocidades realizadas.

4. Resultados e Discussões

4.1. Características do pó atomizado e do produto prensado ao longo do processo produtivo

4.1.1. Umidade do pó atomizado

Durante o processo de produção e transporte do pó até a etapa de prensagem, ocorre a perda de umidade do mesmo. Isto se deve ao fato de que a temperatura do pó ainda está alta e com isso promove a evaporação da umidade durante o transporte para o silo de maturação. Esta evaporação continua ocorrendo no silo, adicionado ao efeito da difusão da umidade dos grãos mais úmidos para os grãos mais secos, em função do gradiente de concentração de umidade. Desta maneira, o pó chega até as prensas com uma umidade inferior aquela que saiu do atomizador, como pode ser observado na Figura 3.

4.1.2. Distribuição granulométrica do pó atomizado

O pó pode ser transportado por correias da saída do atomizador até o elevador de canecas para alimentação dos silos. Durante este transporte, o pó pode sofrer alterações em sua granulometria devido ao desgaste e quebra dos grãos, assim como a segregação das partículas grossas e finas no interior dos silos⁶. Esta segregação faz com que os grossos sejam distribuídos próximos a parede e os finos no centro do silo, promovendo uma descarga não uniforme, alterando a granulometria. A alteração granulométrica do pó promove alterações significativas no processo de prensagem, modificando o empacotamento dos grãos e conseqüentemente as características dimensionais do produto prensado. O resultado apresentado na Figura 4 indica um aumento tênue na quantidade de finos a medida que o pó avança as etapas do processo.

Além da granulometria, as medidas das densidades de empacotamento (solta e batida) mostraram alterações significativas, mesmo apresentando pequenas variações, sendo que a densidade solta ficou na ordem de 0,994-0,996 g/cm³, enquanto a densidade batida ficou entre 1,090-1,100 g/cm³. Esta influência pode ser verificada através da Figura 6.

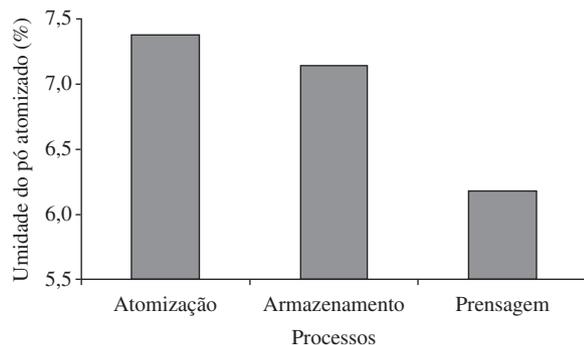


Figura 3. Umidade do pó atomizado nas diferentes etapas do processo.

4.1.3. Retração de secagem

A retração de secagem está fortemente relacionada à umidade do pó, pois quanto maior a quantidade de água presente no material, maior será a aproximação entre as partículas durante a evaporação. Desta forma, os corpos-de-prova prensados com o pó coletado diretamente na saída do atomizador, apresentaram valores de retração de secagem maior do que os outros processos, conforme Figura 5. Esta tendência também pode ser verificada através da Figura 3.

4.1.4. Densidade aparente dos corpos-de-prova secos

A densidade aparente dos corpos-de-prova compactados com o pó recolhido na saída do silo, conforme Figura 6, apresentou valor maior do que nos demais pontos de coleta, esta característica pode ser justificada pela melhor distribuição granulométrica que o mesmo apresentou, onde o aumento do percentual de finos e diminuição dos grossos, conforme visto na Figura 4, resultou num melhor empacotamento e conseqüentemente maior densidade aparente⁷. Além da granulometria, os valores de densidade solta e batida do pó coletado no mesmo ponto, apresentaram os maiores valores, 0,996 e 1,100 g/cm³ respectivamente, sugerindo a influência direta no empacotamento das partículas, contribuindo para uma melhor compactação do produto prensado.

4.1.5. Resistência mecânica à flexão dos corpos-de-prova secos

O efeito da densidade aparente dos corpos-de-prova pode ser verificado através da resistência mecânica a flexão, pois devido ao melhor empacotamento das partículas do pó coletado na saída do silo, contribuiu para um ganho de aproximadamente 7 kgf/cm² com relação ao pó coletado na saída do atomizador. Esta tendência pode ser verificada pelos valores apresentados pela Figura 6.

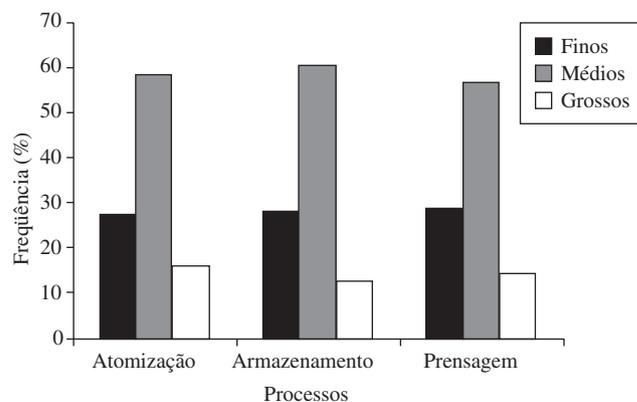


Figura 4. Granulometria do pó atomizado nas diferentes etapas do processo.

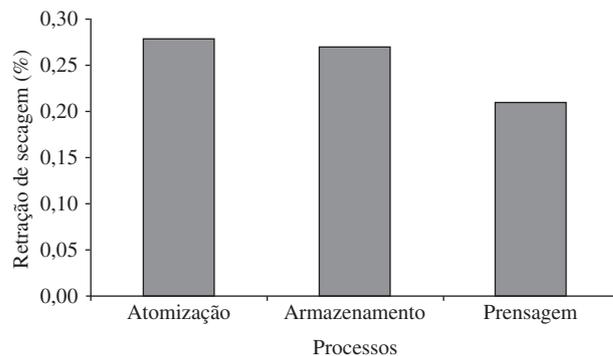


Figura 5. Retração de secagem dos corpos-de-prova.

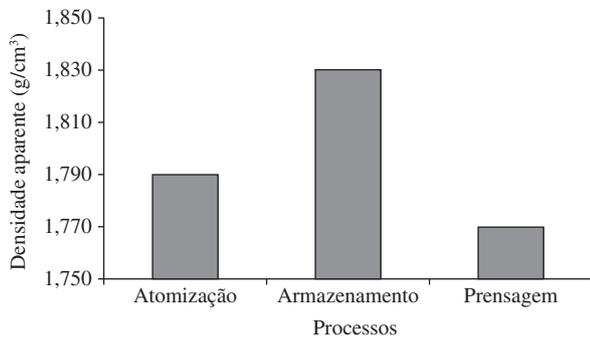


Figura 6. Gráfico de densidade aparente dos corpos-de-prova.

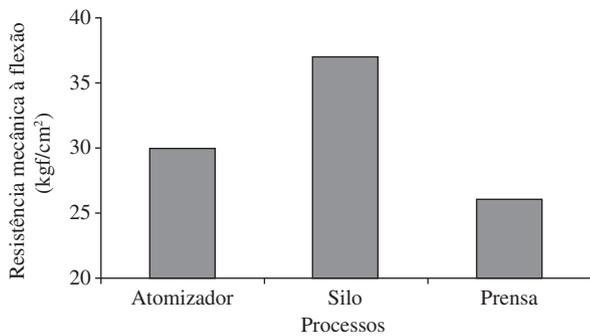


Figura 7. Resistência mecânica à flexão dos corpos-de-prova.

4.2. Influência da velocidade do carro alimentador

4.2.1. Densidade aparente a seco dos corpos-de-prova

Para avaliar o efeito da velocidade do carro alimentador, foi utilizado o pó atomizado de porcelanato esmaltado com tamanho de 45 x 45 cm. Os valores obtidos de densidade aparente a seco dos corpos-de-prova mostram que existe uma relação direta com a velocidade do carro alimentador. A Figura 8 mostra esta relação existente entre estas variáveis e ainda apresenta a heterogeneidade que existe da densidade numa mesma peça.

Uma análise mais detalhada mostra que com velocidades menores do carro alimentador consegue-se maior uniformidade do carregamento do pó nos estampos, obtendo assim valores maiores de densidade aparente, com uma maior homogeneidade ao longo da peça. Além do efeito da velocidade de avanço, outro fator importante a ser considerado é o retorno do mesmo, pois quanto maior a velocidade de retorno, o nivelamento do pó nos estampos não será feito corretamente, fazendo com que existam regiões com maior ou menor concentração de massa, alterando os valores de densidade aparente do produto.

4.2.2. Medidas das peças após a queima

As peças prensadas com a maior velocidade do carro alimentador apresentaram, após a queima, um defeito denominado trapézio, ou seja, as peças apresentaram diferentes medidas entre dois lados opostos, conforme exemplificado na Figura 9. Isso ocorreu apenas no carregamento da cavidade de um dos lados da caixa matriz, pois foi depositado menor quantidade de massa, sendo assim as peças apresentaram neste ponto menor densidade e conseqüentemente maior retração.

A diferença entre a medida dos lados foi de 1,5 mm, mas segundo a norma NBR 15463⁸, esta variação pode ser de 0,4% em relação ao valor nominal da peça, portanto para a bitola em estudo o valor permitido seria de 1,8 mm, sendo assim a peça não seria desclassificada.

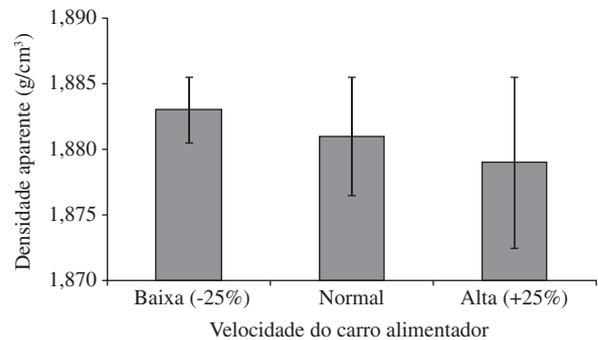


Figura 8. Densidade aparente dos corpos-de-prova em função da velocidade do carro alimentador

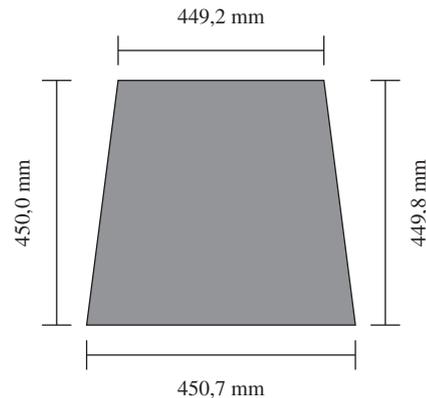


Figura 9. Medidas da peça com maior velocidade do carro alimentador.

5. Conclusão

O controle das características do pó atomizado é extremamente necessário para manter as propriedades do produto compactado verde e queimado. Ao longo das etapas do processo produtivo o pó passa por algumas mudanças em suas características iniciais, como por exemplo, redução da umidade, alterações na granulometria, como aumento dos finos e redução dos médios.

Os resultados apresentados neste artigo demonstram exatamente estas variações, pois conforme o pó é transportado até as cavidades da caixa matriz da prensa, a umidade presente diminui. Comparando os valores de umidade das diferentes etapas, pode-se perceber que a retração de secagem segue a mesma tendência da umidade do pó, ou seja, um valor de 0,21% para a massa de monoporosa.

As variações da granulometria do pó ao longo do processo irão afetar de maneira significativa as propriedades de densidade aparente e resistência mecânica à flexão do produto prensado. Além da granulometria, a densidade solta e batida do pó demonstra que o material coletado na saída do silo tem um maior empacotamento das partículas e conseqüentemente, promove um aumento da densidade aparente, na ordem de 1,83 g/cm³ e aumento da resistência mecânica do produto prensado em 37 kgf/cm².

Além de analisar as variações provocadas pelo transporte e armazenamento do pó atomizado, foi avaliado a influência da velocidade de carregamento do pó nas cavidades da caixa matriz. O carregamento do pó é de fundamental importância para obtenção de produto estável em termo de dimensão, pois quanto maior for a uniformidade da densidade aparente na peça, menor será o problema de ortogonalidade. Desta maneira os resultados demonstram que com o aumento da velocidade do carro alimentador, menor é a densidade aparente do

produto conformado, ou seja, com uma baixa velocidade, 25% menor da velocidade padrão, tem-se em média, 1,883 g/cm³, enquanto para uma alta velocidade, 25% maior da velocidade padrão, o valor da densidade média fica em 1,879 g/cm³. Outro fator importante a ser avaliado é a uniformidade da compactação das peças, pois com uma velocidade menor a amplitude da densidade fica na ordem de 0,005 g/cm³, enquanto para velocidades maiores, obtem-se 0,013 g/cm³ de variação. Isto é justificado por um melhor carregamento e nivelamento do pó nos estampos em velocidades menores.

Referências

1. De Paula, G. R.; Quinteiro, E.; Boschi, A. O. Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimentos cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 2, n. 3/4, p. 28-31, maio/ago. 1997.
2. Albero, J. L. A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial Parte I: o preenchimento das cavidades do molde. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 5, p. 23-28, set./out. 2000.
3. _____. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial Parte II: a compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 6, p. 14-20, nov./dez. 2000.
4. _____. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial Parte III: variáveis do processo de compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 15-23, jan./fev. 2001.
5. _____. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte V: descrição da etapa de prensagem. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 26-32, mai./jun. 2001.
6. Amorós, J. L. et al. Projeto de silos para o armazenamento de materiais na forma de pó. Problemas associados a etapa de descarga. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 12-23, jan./fev. 2002.
7. Pandolfelli, V. C. et al. **Dispersão e empacotamento de partículas**. São Paulo: Fazenda Arte Editorial. 2000. 224p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15463: Placas cerâmicas para revestimento – Porcelanato**. Rio de Janeiro, 2007. 6 p.
9. Labrincha, J. A.; Ribeiro, M. J.; Ventura, J. M. A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 5, p.34-40, set./out. 2001.