

# Moagem Fina à Seco e Granulação vs. Moagem à Umido e Atomização na Preparação de Massas de Base Vermelha para Monoqueima Rápida de Pisos Vidrados

G. Nasseti e C. Palmonari

Centro Cerâmico Italiano, Bologna, Itália

**Resumo:** Neste trabalho é descrita a aplicação de um processo via seco para a preparação de massas cerâmicas de monoqueima rápida de pisos vidrados, usualmente preparadas pelo processo via úmida. O trabalho compara as preparações via seco e úmido de uma mesma massa.

São discutidos os resultados obtidos em escala laboratorial para os pós e os corpos de prova. As diferenças entre os parâmetros tecnológicos e o desempenho dos pós e pisos produzidos pelos métodos de via seca e via úmido são enfatizados.

**Palavras-Chave:** vidrados, monoqueima, moagem

## Introdução

Recentemente muitos trabalhos têm sido desenvolvidos pelo Centro Cerâmico de Bologna e outras instituições sobre a preparação de massas para a produção de pisos e azulejos cerâmicos pelo processo via seca, isto é, a moagem fina a seco das matérias-primas e a granulação do pó<sup>1-4</sup>. Estes estudos têm feito comparações possíveis entre os processos por via seca e via úmida usados na preparação de massas cerâmicas. No processo via úmida, as várias matérias-primas são moídas com água em um moinho de bolas e então atomizadas em um *spray dryer* para formar grânulos utilizados na fabricação de pisos cerâmicos.

Tendo em vista que os estudos desenvolvidos foram sempre conduzidos em uma base industrial em vários contextos de produção, as comparações entre os dois processos sempre foi feita em massas que eram similares, porém não realmente iguais.

Recentemente, uma companhia que produz pisos vidrados de base vermelha por monoqueima, a qual usa o processo de via úmida para preparar os grânulos para a prensagem, submeteu um estudo ao Centro Cerâmico de Bologna para determinar se o processo de moagem a seco e granulação leva a uma redução nos custos energéticos, podendo ser adequado para o uso em seu contexto particular de produção. Portanto tornou-se possível comparar os resultados obtidos pelos dois processos usando massas de composições idênticas. A pesquisa foi primeiro desen-

volvida em escala laboratorial para determinar as diferenças entre os parâmetros tecnológicos dos pós preparados pelos dois processos, assim como as suas influências sobre as características do piso produzido. Posteriormente, testes em escala industrial foram feitos com os pós preparados pelo processo via seca. Modificações adequadas nos parâmetros do processo industrial foram necessárias para se produzir revestimentos possuindo as mesmas características daqueles produzidos utilizando-se pós atomizados.

Os resultados apresentados neste trabalho são aqueles obtidos no estudo desenvolvido em escala laboratorial.

## Metodologia e Procedimento Experimental

A massa cerâmica estudada era composta de uma mistura de duas argilas locais de queima vermelha e uma argila arenosa. A água usada na moagem via úmida foi aproveitada de operações de limpeza dos moinhos das seções de moagem e preparação de esmalte da fábrica e, conseqüentemente, continha uma certa quantidade de sólidos. A composição da massa utilizada (base seca) encontra-se abaixo:

- |  |       |
|--|-------|
| • Argila vermelha A                      | 44,1% |
| • Argila vermelha B                      | 30,5% |
| • Argila arenosa                         | 22,4% |
| • Quantidade de sólidos da água residual | 3,0%  |

Para estabelecer as condições corretas para a comparação entre os pós preparados pelo processos de via seca

e via úmida, a mesma água reaproveitada do processo de moagem via úmida também foi utilizada para a granulação do pó no processo de via seca. De fato, devido a inevitável diferença na composição dos sólidos na água reaproveitada do setor de preparação de esmaltes, principalmente as diferenças na quantidade de fundentes empregados, variações na reatividade na massa durante a queima foram encontradas, que para ambos os processos atrapalharam e realçaram as características quando comparados. Para evitar este problema, a moagem por via úmida foi realizada utilizando-se água reaproveitada coletada em um determinado horário, sendo então a suspensão produzida e atomizada separadamente, resultando nos pós para os testes. Uma certa quantidade da mesma água foi também coletada para posterior utilização na granulação da massa via seca.

No processo por via seca, as matérias-primas foram moídas a seco utilizando-se um moinho de laboratório e dois valores diferentes de resíduos, 9% e 5% em peneiras de abertura de 45  $\mu\text{m}$  (325 mesh). O primeiro valor, 9%, é o valor de referência, isto é, aquele utilizado na fábrica no processo por via úmida.

As amostras dos pós moídos a seco foram granulados em um granulador de laboratório com a introdução da água reaproveitada em quantidades para fornecer 3 diferentes porcentagens de sólidos da água residual na composição: 0%, 3% (usada no processo por via seca na fábrica, valor de referência) e 5%.

Deste modo, 6 amostras diferentes de pós granulados foram preparados (duas porcentagens de resíduo com 3 diferentes porcentagens de sólidos) para comparação com o pó atomizado de referência utilizado na fábrica, dando um total de 7 amostras para o estudo. A quantidade de umidade, densidade aparente e distribuição de tamanho de grãos por peneiras foram realizados para todas as amostras. Para cada um dos 7 diferentes pós, pequenas amostras com (10 x 10  $\text{cm}^2$ ) foram preparadas por prensagem a seco utilizando-se uma prensa laboratorial com 3 diferentes pressões de prensagem, 200, 230 e 260  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (19,60; 22,50 e 25,48 MPa). A escolha das pressões de prensagem foi baseada no seguinte critério: o menor valor, 200  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , é aquela utilizado na linha de produção, o maior valor, 260  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , foi escolhido para verificar o limite de formação de defeitos tipo coração negro; o valor intermediário, 230  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , foi escolhido para estudar a influência do aumento da pressão de prensagem na vitrificação do material.

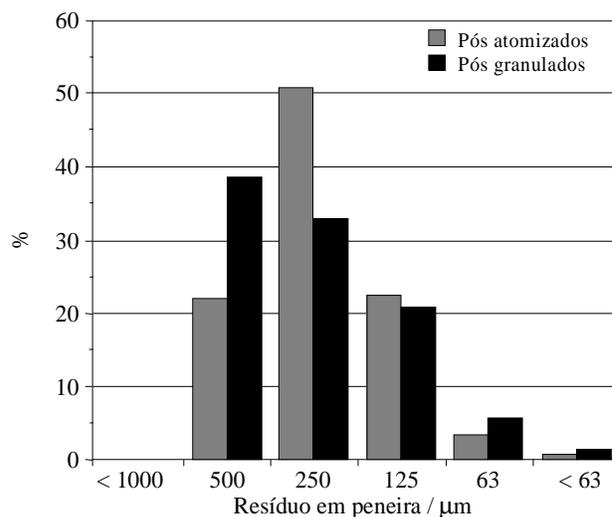
As amostras foram secas a  $60 \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$ , esmaltadas e queimadas no forno industrial a 1127  $^{\circ}\text{C}$ , com um ciclo de queima rápido (69 min). As caracterizações realizadas nas peças queimadas foram: retração de queima, absorção de água e módulo de ruptura.

## Resultados

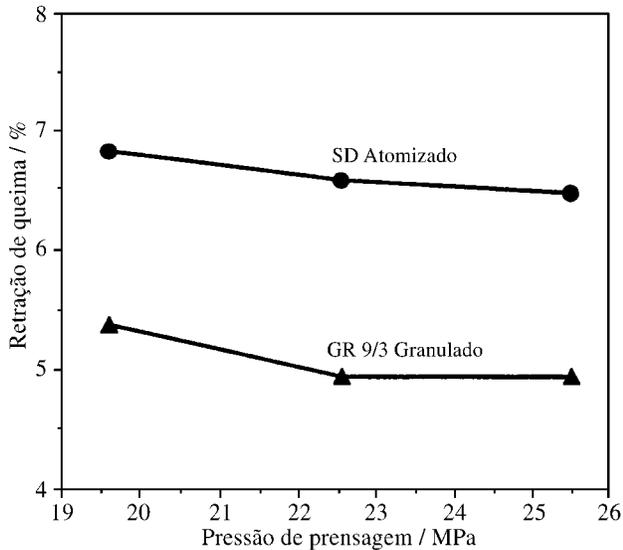
As diferenças na granulometria da moagem a seco e a quantidade de sólidos da água reaproveitada no pó granulado não levou a diferenças consideráveis na densidade a verde e na distribuição do pó granulado e assim a média dos valores obtidos para cada uma das seis amostras do pó granulado estão relatados aqui com o propósito de comparar com o pó atomizado. Os valores de densidade dos pós produzidos pelos processos por via úmida e seca, ambos com 6% de umidade, foram de 1024  $\text{g}/\text{L}$  e 1174  $\text{g}/\text{L}$ , respectivamente. Este resultado está de acordo com outros valores encontrados em literatura<sup>2,3</sup>, considerando a maior densidade dos pós moídos e granulados, o qual apresenta a vantagem de produzir uma maior densidade a verde após a prensagem e menor retração após a queima.

A Fig. 1 mostra os gráficos de distribuição de tamanho de grão para os dois tipos de pós (atomizado e granulado). A distribuição do tamanho de grão do pó granulado é concentrada na fração grossa (500 a 1000  $\mu\text{m}$ ), enquanto a maior fração do pó atomizado encontra-se na faixa intermediária de tamanho de grão (250 a 500  $\mu\text{m}$ ). A predominância de grãos grossos no pó granulado pode ser uma característica negativa na reatividade durante a queima.

Demonstrado na Fig. 2 como uma função de pressão de compactação, está a retração após queima das amostras produzidas com os dois tipos de pó granulado e atomizado nas condições de referência (9% de resíduo em malha 325 mesh e 3% de sólidos na água residual usada no processo). Os valores de retração de queima ficaram em torno de 1,5 pontos percentuais menores para os pós granulados, coerente com a menor densidade desses pós. Também para as peças produzidas com os pós granulados, a influência de pressão de compactação na retração de queima foi menor



**Figura 1.** Distribuição de tamanho de pós produzidos pelos processos de via úmida e seca.

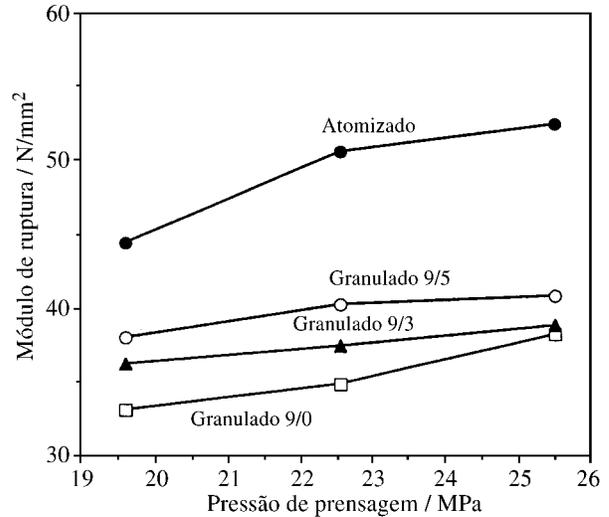


**Figura 2.** Retração de queima como função da pressão de prensagem.

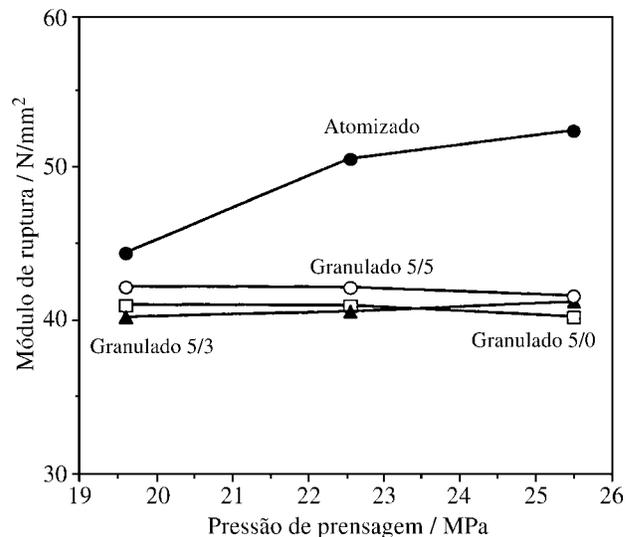
nas menores pressões de compactação, 230 e 260 kg/cm<sup>2</sup> (22,55 e 25,48 MPa).

Nas Figs. 3 e 4 estão representados os valores do módulo de ruptura das amostras queimadas como uma função da pressão de compactação, enquanto se variou a porcentagem de sólidos da água residual na composição, porém mantendo-se constante o resíduo em malha 325 (9 e 5%, respectivamente). O módulo de ruptura é sempre menor para as amostras produzidas com o pó granulado do que para aqueles produzidos com o pó atomizado. Nas condições de referência (9% de resíduo em malha 325 e 3% de sólidos na composição e 19,60 MPa da pressão de compactação), o módulo de ruptura para as amostras produzidas com o pó granulado é 18,6% menor do que aquele produzido com o pó atomizado. Também pode ser notado que a influência da pressão de compactação no módulo de ruptura é menor para as amostras produzidas com o pó granulado, isto é, devido à menor pressão de compactação dos pós granulados.

Para se aumentar a resistência mecânica das amostras produzidas com o pó granulado, a reatividade do pó durante a queima deve ser aumentada. Isto pode ser alcançado de duas maneiras: aumentando a porcentagem de sólidos da água residual na mistura (os sólidos na água residual são na maioria fundentes) ou diminuir o tamanho de partículas na moagem a seco (para se aumentar a superfície específica das partículas elementares). Baseado nos resultados mostrados nas Figs. 3 e 4, o segundo método de aumentar a reatividade dos pós durante a queima é o mais conveniente porque (i) o aumento obtido no módulo de ruptura utilizando-se menor resíduo é maior do que aquele obtido com a adição de fundentes através do aumento da porcentagem de sólidos na composição (+5% com um aumento nos sólidos de 3% para 5%, para as mesmas condições de referência, +11% com uma diminuição do resíduo de 9%



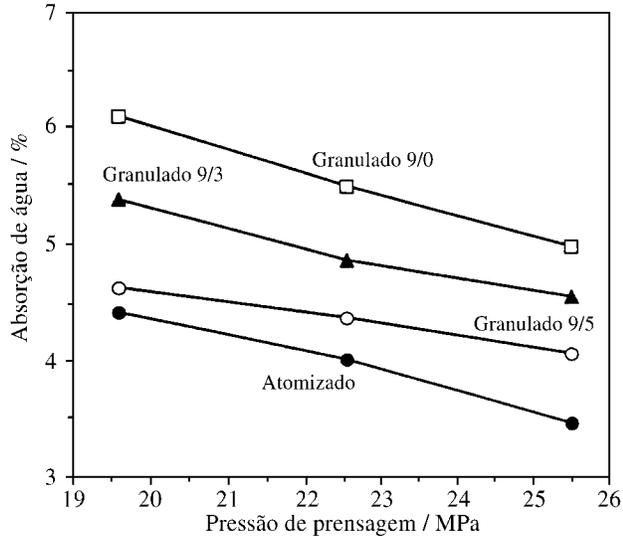
**Figura 3.** Módulo de ruptura do piso queimado como função pressão de prensagem, variando-se a porcentagem de resíduo de moagem na barbotina (9% em malha de 45 µm).



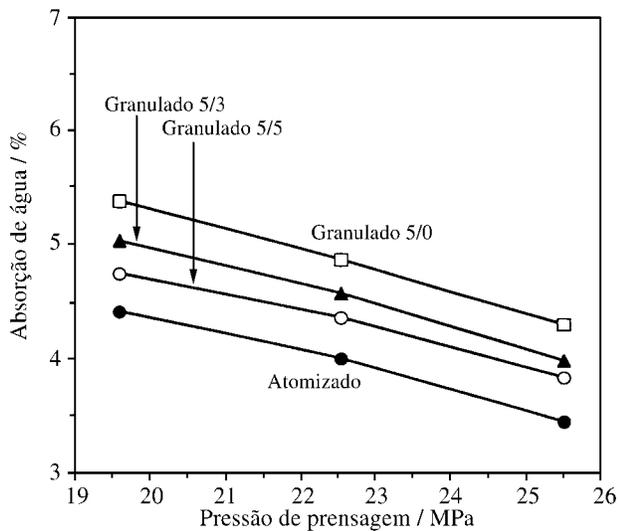
**Figura 4.** Módulo de ruptura do piso queimado como função da pressão de prensagem, variando-se a porcentagem de resíduo de moagem na barbotina (5% em malha de 45 µm).

para 5%, para as mesmas condições de referência) e (ii) a pressão de compactação tem uma influência muito pequena no módulo obtido com os pó granulado mais fino (Fig. 4). É importante, então, especialmente na massa vermelha, se obter um pó mais fino nos pós de moagem a seco, diminuir a porcentagem de sólidos na água residual da composição e usar uma menor pressão de compactação para se evitar o surgimento de coração negro.

Nas Figs. 5 e 6 são mostrados os valores de absorção de água das peças queimadas como uma função da pressão de compactação, enquanto se varia a porcentagem de sólidos na mistura, porém mantendo-se sempre o mesmo resíduo em peneira de malha 325 mesh. (9 e 5% respectivamente).



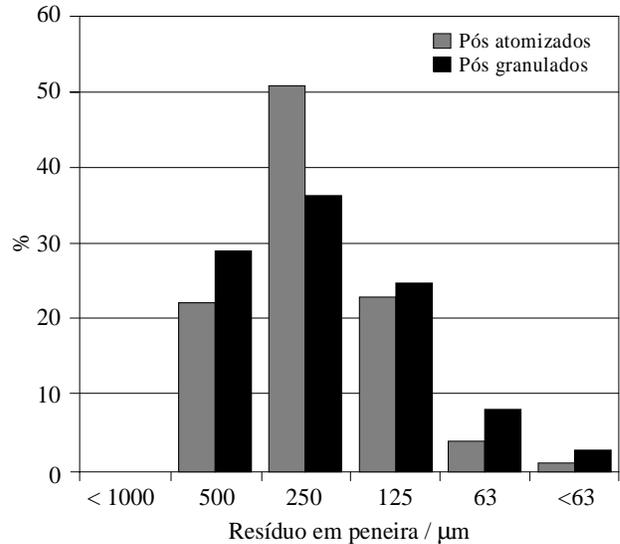
**Figura 5.** Absorção de água de pisos queimados como função da pressão de prensagem, variando-se a porcentagem do resíduo de moagem na barbotina (9% em malha de 45  $\mu$ m).



**Figura 6.** Absorção de água de pisos queimados como função da pressão de prensagem, variando-se a porcentagem do resíduo de moagem na barbotina (5% em malha de 45  $\mu$ m).

A absorção de água das amostras produzidas com o pó atomizado é sempre menor do que a absorção de água das amostras produzidas com o pó granulado. Nas condições de referência, a diferença é em torno de um ponto percentual. Para as mesmas pressões de compactação, a absorção de água das amostras confeccionadas com o pó granulado pode ser reduzido tanto pelo aumento da porcentagem de sólidos na composição quanto pela diminuição do resíduo. Ambos os métodos são igualmente efetivos.

Os resultados destes testes de laboratório indicam que as características mecânicas das amostras produzidas com o pó granulado podem ser melhoradas pelo aumento contemporâneo de todos os parâmetros levados em consi-



**Figura 7.** Distribuição de tamanho do pó produzido pelos processos de via úmida e seca.

deração (resíduo de moagem a seco, porcentagem de sólidos na composição e pressão de compactação), sem, entretanto, alcançar aqueles para as amostras obtidas com o pó atomizado. Essas ações, contudo, não podem ser tomadas sem primeiro verificar se o coração negro não será um problema.

Os experimentos até esse ponto foram conduzidos para permitir uma comparação precisa entre os parâmetros do pó produzido pelos dois processos (via seca e via úmida) e entre as características das amostras produzidas por esses pós. Foi demonstrado que o pó granulado difere do pó atomizado de forma que o pó granulado tem uma densidade a verde e distribuição de tamanho de partículas deslocada na direção dos grãos mais grossos; em consequência a vitrificação e a resistência mecânica das amostras produzidas com o pó granulado são menores que aquelas produzidas com o pó atomizado. Com o intuito de se determinar a influência da distribuição de tamanho de partículas do pó granulado na vitrificação das amostras durante a queima, o pó foi preparado por moagem a seco até um resíduo de 7% em malha 325 mesh, granulado com 3% de sólidos na água residual na composição e peneirado a 800  $\mu$ m com o intuito de reduzir a quantidade de fração grossa (Fig. 7). Peças de teste foram preparadas com esses pós e com o pó de referência preparados via úmido. Essas peças, com formato de 10 x 10 cm e uma pressão de compactação de 200 kg/cm<sup>2</sup> (19,6 MPa), foram secas (60 °C) e queimadas, sem esmalte, em um forno industrial a 1135 °C com um ciclo de queima rápida (58 min.). Os resultados obtidos com essas peças-teste foram os seguintes:

- para as amostras do pó atomizado (via úmida) - retração de queima: 6,6% absorção de água: 4,9% módulo de ruptura: 368 kg/cm<sup>2</sup>.

- para as amostras do pó granulado (via seca) - retração de queima: 5,6% absorção de água: 4,6% módulo de ruptura: 321,7 kg/cm<sup>2</sup>.

Esses resultados confirmam a importância da distribuição do tamanho de partículas do pó granulado para se obter uma boa vitrificação das amostras, o que também nos assegura as características mecânicas desejadas. De modo que, como encontrado nos testes anteriores com os seis diferentes pós produzidos pelo processo via seca, uma distribuição de partículas finas na moagem a seco do material antes da granulação é desejável para se obter uma boa vitrificação, pois se os grãos que formam o pó granulado são muito grandes, a reatividade do material durante a queima não é suficiente para dar as propriedades mecânicas desejadas.

## Conclusão

Os experimentos realizados tornaram possível uma comparação precisa entre pós preparados pelos processos via seca e via úmida, partindo da mesma composição para a produção de peças monoqueima de base vermelha.

Diferenças nos parâmetros tecnológicos dos pós preparados pelos dois processos e sua influência nas características dos corpos queimados foram encontrados. Em particular, em comparação com os pós atomizados, os pós granulados possuem:

- uma maior densidade;
- uma distribuição de tamanho de partículas deslocada na direção da fração grossa.

As amostras queimadas produzidas com os pós granulados, sendo todas as condições as mesmas, demonstraram:

- menor retração de queima (1,5% a menos);
- maior absorção de água (1,0%);
- menor resistência mecânica.

Percebe-se então que os pós preparados o processo via úmida possuem melhores características tecnológicas quando todas as condições são iguais.

Os experimentos também mostraram que é possível melhorar as características das amostras obtidas a partir dos pós granulados realizando-se mudanças adequadas em alguns dos parâmetros do processo, isto é, resíduo de moagem, distribuição de tamanho de partícula dos aglomerados, pressão de compactação e adição de fundentes (através do aumento da quantidade de água residual utilizada na granulação) sem, entretanto, fazer grandes mudanças na curva de queima.

Diminuir o resíduo de moagem e a fração de grãos grossos no pó granulado parece ser o meio mais adequado de se obter melhorias nas características tecnológicas dos pós produzidos pelo processo via seca.

A considerável economia de energia associada ao processo via seca e as vantagens no gerenciamento do processo produtivo devido ao uso da moagem a seco e granulação constitui um estímulo para se continuar os estudos na direção de se obter maiores informações necessárias para uma aplicação mais difundida do processo via seca.