

## Estudo da Influência do Regime de Moagem na Distribuição Granulométrica da Barbotina

**José Eduardo Tavares Cordioli<sup>a,b</sup>, Rariel Pavei Jacinto<sup>a</sup>, Vicente de Lorenzi<sup>a</sup>,  
Oscar Rubem Klegues Montedo<sup>b\*</sup>**

<sup>a</sup>*Eliane Porcelanato Ltda, Rod. Luiz Rosso, Bairro São Luiz, CEP 88803-470, Criciúma, SC, Brasil*

<sup>b</sup>*Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Av. Universitária,  
1105, CEP 88806-000, Criciúma, SC, Brasil*

*\*e-mail: oscar.rkm@gmail.com*

**Resumo:** A moagem descontínua em moinhos de bolas é um processo de redução granulométrica frequente na preparação de massas para fabricação de revestimentos cerâmicos. Em um processo cerâmico a baixa produtividade oriunda de um tempo de moagem excessivo interfere diretamente nos custos de produção das empresas. No estudo realizado, foram feitas alterações no regime de moagem de matérias-primas para a produção de um porcelanato técnico, modificando a velocidade de rotação do moinho ao longo do período por meio de um inversor de frequência. Foi analisada a influência da mudança do regime de moagem sobre a distribuição granulométrica e do resíduo de moagem da barbotina, que deve ser inferior a 3,5%, e que apresentou uma redução de aproximadamente 1 h no tempo de moagem. A distribuição granulométrica final da curva de moagem teste se mostrou similar ao padrão. As propriedades do produto analisadas pela caracterização de corpos-de-prova apresentaram valores dentro de limites de variação adequados ao processo produtivo. Como consequência, foi observada redução do consumo de energia elétrica e ganho de produtividade do porcelanato técnico.

**Palavras-chave:** *porcelanato técnico, moagem, barbotina, granulometria.*

### 1. Introdução

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica, o Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo. Os fabricantes brasileiros estão alinhados com a maior tecnologia disponível no mundo, e a quase totalidade de sua produção está em conformidade com as normas internacionais de qualidade<sup>1</sup>. A competitividade é muito grande entre as empresas deste setor. Um fator decisivo para que uma empresa cerâmica se mantenha competitiva no mercado é produzir um produto de elevada qualidade com custo cada vez menor. Para se reduzir o custo de um produto cerâmico, a atuação no processo pode se dar de várias formas; para o setor de preparação de massa, pode-se citar: reduzir o tempo de moagem, aumentar o volume de massa produzida para a mesma capacidade instalada, reduzir o consumo de energia elétrica e calorífica, entre outros. Nandi e Montedo<sup>2</sup> realizaram um estudo para redução do tempo de moagem em engobes cerâmicos alterando a distribuição dos tamanhos dos corpos moedores e a velocidade de rotação dos moinhos. O estudo obteve uma redução de 57% no tempo de moagem, reduzindo o consumo energético e aumentando a vida útil dos moinhos. Bosa et al.<sup>3</sup> avaliaram a influência do resíduo *in natura* das matérias-primas, da carga de bolas e do resíduo final no tempo de moagem via úmida em moinho de bolas. Concluiu-se que o resíduo final é a principal causa da variação do tempo de moagem. Para Barba et al.<sup>4</sup>, a distribuição de tamanhos de partículas, entre outros fatores, determina as propriedades de um produto cerâmico acabado, como sua porosidade, tamanho do poro, resistência mecânica e textura, e regula o comportamento da suspensão cerâmica durante o processo de fabricação. Por outro lado, as características das partículas são determinantes durante o processo de moagem das matérias-primas. A necessidade de atender a determinadas especificações técnicas dos revestimentos cerâmicos exige um conjunto de operações unitárias durante seu processo de

fabricação, que permita que as reações entre as matérias-primas utilizadas ocorram segundo critérios de formulação<sup>5</sup>. Assim, o objetivo deste trabalho foi a realização de um estudo experimental buscando-se diminuir o tempo de moagem de uma formulação de porcelanato técnico, alterando-se o regime de trabalho do moinho por meio da variação da velocidade de rotação ao longo do período de moagem. A fim de se obter as mesmas características no produto final de porcelanato técnico, foi avaliada a distribuição granulométrica e o resíduo de moagem da suspensão cerâmica nas condições padrão de moagem e após as alterações na curva de moagem.

### 2. Materiais e Métodos

Para a realização desse procedimento, foi utilizada uma formulação padrão de porcelanato técnico, composta por feldspatos, argilas e caulins como matérias-primas, de uma empresa cerâmica em Criciúma-SC. Neste caso, as matérias-primas plásticas são moídas em água separadamente da moagem dos materiais rochosos. Os materiais plásticos passam por um processo de dispersão com água e defloculantes em moinhos de 16.000 L, utilizando-se seixos como meios de moagem por um tempo de 2 h. Após esta dispersão, a pré-barbotina é bombeada e misturada com os demais materiais não plásticos em moinhos maiores (26.000 L) com bolas de alta alumina. O tempo de moagem após esta mistura é de 10 h, devido à elevada dureza dos materiais rochosos. O estudo foi realizado em um moinho de bolas descontínuo da empresa, no qual há um inversor de frequência modelo CFW-11 para alteração da velocidade de rotação do moinho ao longo do tempo de moagem. Primeiramente, foi coletada uma amostra de barbotina obtida a partir de uma moagem na curva padrão de moagem com o tempo de moagem de 4 h e, a seguir, sucessivamente a cada 1 h até o término da moagem. A moagem foi interrompida quando o resíduo de moagem atingiu 3,5% em malha 325 mesh (45 µm). O resíduo é calculado conforme a Equação 1:

$$\%RB = \frac{P_r}{M_b \times \%CS} \times 10000 \quad (1)$$

onde  $\%RB$  é o resíduo de moagem percentual da barbotina,  $P_r$  é o peso do resíduo retido na peneira e seco (em g),  $M_b$  é a massa de barbotina da amostra (em g) e  $\%CS$  é o teor de sólidos na suspensão cerâmica.

Em outra moagem foi alterada a velocidade de rotação do moinho para sua velocidade crítica,  $V_c$  em rpm, calculada a partir da Equação 2:

$$V_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad (2)$$

sendo  $D$  o diâmetro interno do moinho, igual a 2,95 m. A velocidade crítica calculada foi de 24,6 rpm. Porém, na condição fabril, a velocidade máxima possível com o inversor de frequência é de 15,5 rpm, devido à limitação do motor do moinho.

A partir desta informação, foram desenvolvidas duas curvas de moagem com o inversor de frequência, variando-se a velocidade (em rpm) ao longo do período de moagem, conforme demonstrado na Figura 1. O mesmo procedimento de coleta de amostra foi empregado para as amostras dos testes realizados. Em seguida foi determinada a distribuição de tamanhos de partículas de cada uma das amostras de barbotina coletadas em um granulômetro por difração a laser CILAS 1064L. A partir dos resultados das duas primeiras curvas testes, foi feita mais uma curva teste final, buscando-se a condição ideal de moagem, conforme demonstrado na Figura 2.

Para se avaliar a influência da alteração do regime de moagem nas características do produto final, foram confeccionados corpos-de-prova em laboratório, utilizando-se as barbotinas da condição padrão e de teste da curva que apresentou o melhor resultado de moagem. O procedimento para a obtenção dos corpos-de-prova consistiu na secagem da barbotina em estufa laboratorial com temperatura de  $125 \pm 25$  °C, destorroamento da massa seca com auxílio de almofariz e pistilo, peneiramento em malha 40 mesh para separação do pó seco fino, umidificação do pó a 7% de umidade utilizando borrifador, peneiramento posterior em peneira malha 20 mesh para desagregar os grumos de umidade, conformação em prensa hidráulica laboratorial com pressão específica de 480 kgf/cm<sup>2</sup>, secagem dos corpos-de-prova em estufa laboratorial e queima em forno a rolos laboratorial a temperatura máxima de 1180, 1200 e 1220 °C em ciclo de 50 min. Para caracterização dos corpos-de-prova, foram realizados os ensaios de densidade aparente a seco e a queimado em empuxo de mercúrio, retração de queima por meio de paquímetro da peça seca e queimada, perda ao fogo pela pesagem em balança digital de resolução de 0,01 g antes e após a queima, assim como absorção de água pela pesagem após 2 h imersa em água fervente. Também foi determinada a colorimetria na escala CIELAB, utilizando espectrofotômetro BYK Spectro-Guide, no qual se obtém o resultado nas coordenadas Lab. A diferença de cor  $\Delta E$  foi calculada pela raiz quadrada da soma das diferenças ao quadrado das coordenadas L, a e b. Para análise do ganho econômico obtido com a redução do tempo de moagem, foi calculada a redução de consumo de energia elétrica no moinho e o aumento de produtividade de barbotina.

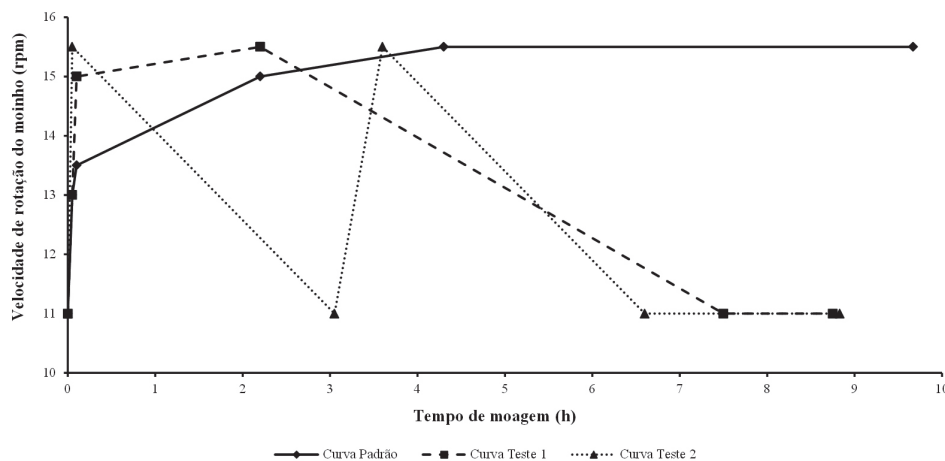


Figura 1. Curvas de moagem padrão e de teste.

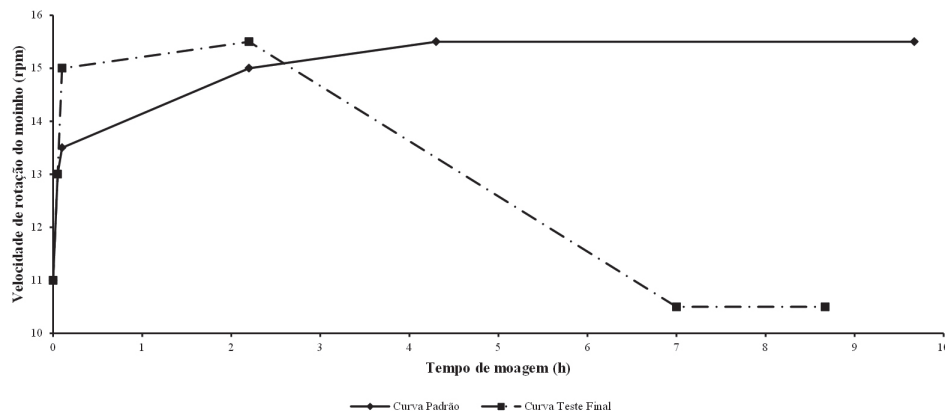


Figura 2. Curvas de moagem padrão e de teste final.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Resíduo de moagem e distribuição granulométrica

Como resultado do acompanhamento do resíduo de moagem na produção, a Figura 3 demonstra as curvas comparativas de resíduo de moagem para cada regime.

O término da moagem foi atingido quando se obteve um resíduo de moagem em peneira malha 325 mesh igual ou inferior a 3,5%. Assim, na Tabela 1 são apresentados os tempos de moagem para cada regime testado, de acordo com o tempo final da Figura 3. Pode-se observar que foram obtidas reduções do tempo de moagem de até 1 h, principalmente na curva teste final, considerada mais próxima da condição atual.

Na Figura 4 são apresentados os resultados de distribuição granulométrica acumulativa, mostrando o desvio obtido em cada condição testada, no qual se obteve um resíduo de moagem adequado em diferentes tempos.

Observando-se o gráfico da Figura 4, as curvas apresentaram uma distribuição granulométrica similar, com uma correlação estatística de valores com o padrão entre 99,98 e 100,00%, sendo que a Curva Padrão necessitou de 9 h e 40 min de moagem, enquanto que a Curva Teste Final apresentou 8 h e 40 min de moagem. Isto representa uma redução significativa de tempo de moagem para o processo em questão.

#### 3.2. Caracterização do produto

Os resultados de caracterização física a seco e a queimado e colorimetria dos corpos-de-prova confeccionados em laboratório com as barbotinas nas condições de moagem da Curva Padrão e da

Curva Teste Final estão apresentados na Tabela 2. Como se pode observar nesta tabela, os corpos-de-prova da amostra moída na Curva Teste Final apresentaram resultados similares aos da curva padrão. A densidade aparente ( $D_{ap}$ ) a seco teve o mesmo resultado, tendo por consequência uma compactação por prensagem mantida no padrão. A densidade aparente ( $D_{ap}$ ) queimado, assim como a absorção de água (A.A.) demonstrou, nas temperaturas testadas, mesmo comportamento de densificação com o aumento da temperatura, alcançando o valor máximo na temperatura de 1220 °C, e com diferença entre a Curva Padrão e Curva Teste Final inferior a 0,01 g/cm<sup>3</sup>, estando dentro dos limites de variação permitidos.

A retração de queima (RL) apresentou uma diferença máxima de 0,2%, correspondente a aproximadamente 1 mm em uma peça cerâmica de grandes formatos, o que consiste em uma variação tolerável para o processo cujos produtos são retificados. Na colorimetria, pode-se observar uma diferença de cor  $\Delta E$  nas diferentes temperaturas inferior a 1,00, sendo aceitável para liberação de massa no processo, considerando ainda que há mistura de cargas de diferentes moinhos em vascas e tanques para homogeneização da massa e que, portanto, a diferença será ainda menor. Sendo assim, para o produto final, as suas propriedades físicas se mantiveram as mesmas.

#### 3.3. Retorno econômico-financeiro

Com os resultados obtidos de redução de aproximadamente 1 h de moagem, ou seja, 2 h/dia, pode-se determinar o retorno obtido.

Considerando este ganho de tempo, determinou-se o retorno com base na redução do consumo de energia elétrica. Calculando o retorno energético a partir do consumo de energia para a potência do moinho de 26.000 L e o custo médio atual de energia elétrica, obteve-se uma redução energética de 11,1% para um moinho.

Se for considerado o ganho em produtividade com a redução do tempo de moagem, tendo-se mais descargas, maior volume de barbotina e mais peças produzidas por mês, levou-se em consideração a carga seca de material do moinho, o peso por área e o custo médio de produção. Assim, pelo ganho de uma descarga a cada 6 dias, totalizando 5 por mês, produzindo mais quantidade de massa seca e aumentando-se a produção (em m<sup>2</sup> de peças produzidas), obtém-se um ganho financeiro para um moinho de 1,2% na margem de contribuição da empresa.

Tabela 1. Tempos de moagem para cada regime.

Regime de moagem	Tempo de moagem (h)
Curva Padrão	09:40
Curva Teste 1	08:45
Curva Teste 2	08:50
Curva Teste Final	08:40

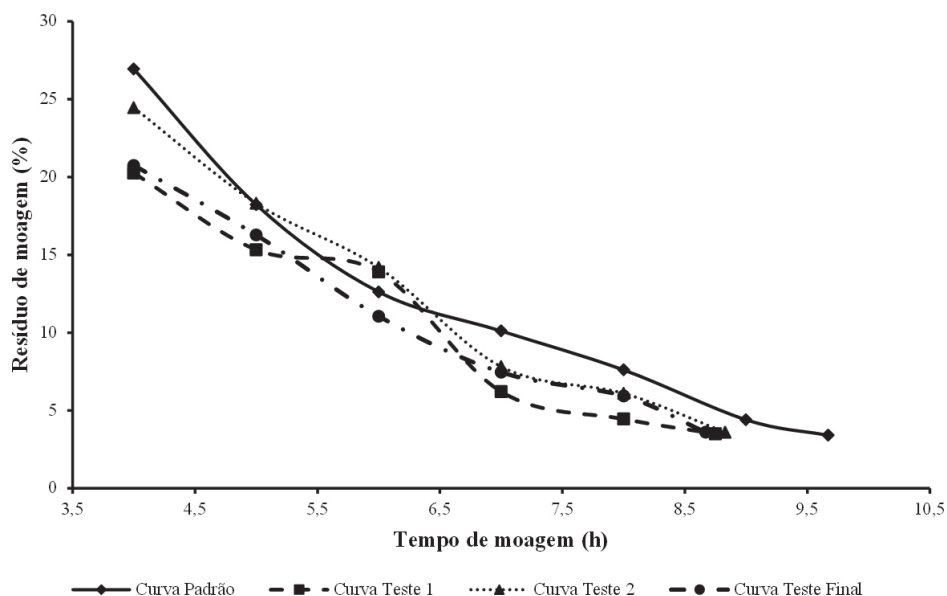


Figura 3. Resíduo de moagem para as curvas de moagem padrão e de teste.

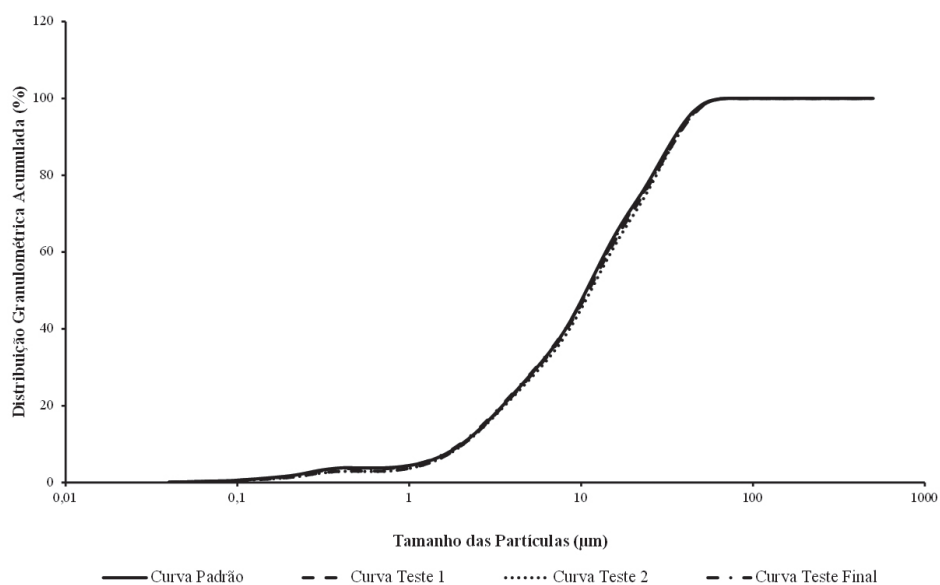


Figura 4. Distribuição granulométrica das curvas de moagem padrão e de teste.

Tabela 2. Caracterização dos corpos-de-prova das Curvas Padrão e Curva Teste Final.

Amostra	D <sub>ap</sub> a seco (g/cm <sup>3</sup> )	T (°C)	D <sub>ap</sub> queimado (g/cm <sup>3</sup> )	RL (%)	A.A. (%)	L	a	b	ΔE
Curva Padrão	1,93	1180	2,324	6,83	0,41	76,64	2,95	10,55	
		1200	2,348	7,19	0,07	76,41	2,32	9,85	
		1220	2,348	7,41	0,02	76,75	1,81	9,72	
Curva Teste Final	1,93	1180	2,316	6,74	0,38	76,19	3,21	10,41	0,54
		1200	2,341	7,26	0,09	75,46	2,48	9,63	0,99
		1220	2,342	7,22	0,03	75,79	1,97	9,63	0,98

#### 4. Conclusões

Pode-se concluir que foi possível diminuir o tempo de moagem de uma formulação de porcelanato técnico em até 1 h, alterando-se o regime de velocidade de rotação do moinho ao longo do período de moagem. Os resultados foram todos obtidos em moinho industrial, onde as condições de moagem como distribuição de diâmetro de bolas, quantidade de bolas, tipo de revestimento, entre outras variáveis, são foram mantidas inalteradas. A distribuição granulométrica das partículas e as características físicas das peças foram mantidas dentro dos padrões de processo, garantindo a qualidade do produto final. O ganho econômico-financeiro obtido com a melhoria do regime de moagem pode ser verificado no maior tempo disponível para paradas e manutenção, com redução no consumo de energia elétrica, ou como em ganho de produtividade de peças de porcelanato técnico.

#### Referências

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES - ANFACER. *Cerâmica no Brasil*. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 20 mar. 2013.
- NANDI, V. S.; MONTEDO, O. R. K. Otimização do processo de moagem de engobes cerâmicos para produção de revestimento. *Revista Cerâmica Industrial*, v. 14, n. 4, jul./ago. 2009.
- BOSA, A. et al. Influência do resíduo in natura das matérias-primas, carga de bolas e resíduo final no tempo de moagem via úmida em moinho de bolas. *Revista Cerâmica Industrial*, v. 12, n. 6, nov./dez. 2007.
- BARBA, A. et al. *Materias primas para la fabricacion de soportes de baldosas cerâmicas*. Castellón: Instituto de Tecnologia Cerâmica, 2002. 292 p.
- DAROLT, R. D. *Influência da distribuição do tamanho de partículas sobre o efeito pirolástico em massa de porcelanato técnico*. UNESC, 2009. 100 p. TCC de graduação.