

## A Variação das Características das Argilas e o Processo Cerâmico

**Renata A. Teixeira, Fábio G. Melchiadés  
e Anselmo O. Boschi**

*Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais,  
Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC),  
Cx. P. 676, 13565-905 São Carlos - SP  
e-mail: daob@power.ufscar.br*

**Resumo:** O trabalho avalia as várias técnicas disponíveis para o controle de processos produtivos contínuos e sua aplicabilidade à indústria cerâmica. As análises são focadas na indústria de revestimentos cerâmicos por via seca, entretanto acredita-se que as informações e considerações são também pertinentes a outros setores da indústria cerâmica.

**Palavras-chaves:** *controle de processo, argilas, revestimentos cerâmicos*

### O Desafio do Processo Cerâmico

O grande desafio da fabricação de produtos de cerâmicas tradicionais é produzir uma grande quantidade de peças praticamente idênticas, ou seja com as mesmas características técnicas e estéticas, a partir de matérias-primas naturais com características variáveis. Esse desafio se torna ainda maior quando se leva em consideração o valor agregado (R\$/Kg) relativamente baixo das cerâmicas tradicionais que inviabiliza a utilização de determinados procedimentos que poderiam minimizar a variação das características das matérias-primas.

Para que se possa avaliar o desafio mencionado acima, a Tabela 1 e as Figs. 1, 2 e 3 apresentam algumas características de “torrões” de diferentes cores e/ou texturas encontrados no depósito de uma determinada argila utilizada como principal constituinte de uma massa para a produção de revestimentos BIIb. Todas as amostras foram processadas da mesma forma de modo a permitir a análise comparativa dos resultados. Uma descrição detalhada dos procedimentos adotados pode ser encontrada em artigo publicado anteriormente<sup>1</sup>.

Como pode-se perceber as amostras apresentaram comportamentos bastante diferentes. Isso quer dizer que, se ao longo do tempo a proporção entre esses materiais variar, as características da massa, e conseqüentemente as caracte-

terísticas do produto final, também deverão variar, comprometendo assim a qualidade da produção.

Infelizmente este caso não é uma exceção. Muitas indústrias cerâmicas brasileiras convivem diariamente com problemas semelhantes.

### Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a aplicabilidade dos métodos utilizados no controle de processos produtivos contínuos com a finalidade de minimizar a variação das características dos produtos de cerâmica tradicional. Muito embora as discussões enfoquem prioritariamente os revestimentos produzidos por via seca, seu conteúdo certamente é válido e/ou pode ser adaptado para outros segmentos. O enfoque, mencionado acima, foi de-

**Tabela 1.** Cor das amostras estudadas antes e após a queima.

Amostra	Cor amostras cruas	Cor amostras queimadas
Mistura	Tom marrom	Vermelho escuro
Amostra 1	Tom bordô	Marrom
Amostra 2	Marrom	Tom avermelhado
Amostra 3	Tom rosado	Tom rosado suave
Amostra 4	Tom rosado	Tom rosado suave
Amostra 5	Creme	Laranja

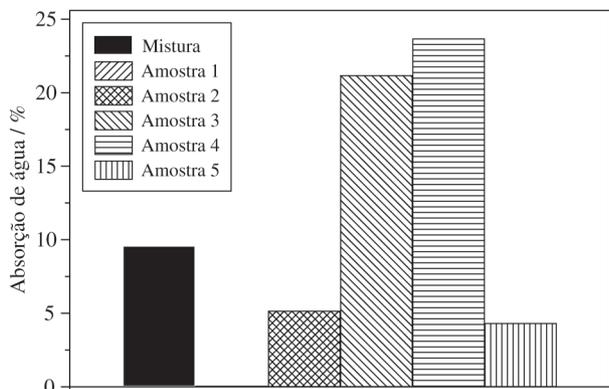


Figura 1. Absorção de água das amostras queimadas a 1050 °C.

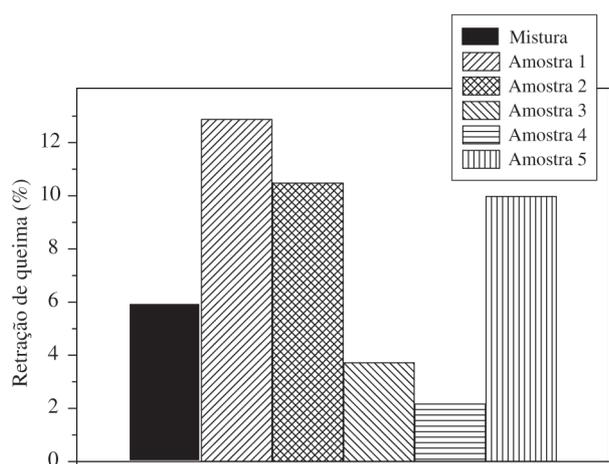


Figura 2. Retração de queima das amostras queimadas a 1050 °C.

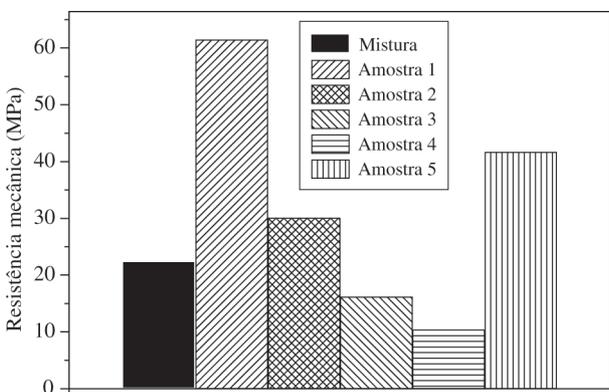


Figura 3. Resistência mecânica das amostras queimadas a 1050 °C.

finido com base na expressão dessa indústria no Brasil e pelo fato de que a maioria dessas empresas trabalha com massas constituídas por uma única argila (ou um número relativamente baixo de argilas), o que agrava consideravelmente o problema.

## Métodos Utilizados para o Controle de Processos Contínuos

De um modo genérico pode-se dizer que existem basicamente quatro métodos para o controle de processos contínuos. A Tabela 2 apresenta as principais características dos quatro métodos adaptados à indústria cerâmica.

Muito embora todos os métodos tenham por objetivo principal manter as características dos produtos finais dentro dos limites desejados, cada um deles procura alcançar esse objetivo de uma forma distinta. A seguir cada método é avaliado tendo em vista a sua aplicabilidade à fabricação de cerâmicas tradicionais.

**Fixo:** Adota processos racionais de extração e homogeneização que minimizam as variações das características das matérias-primas. Com as características das matérias-primas mantidas praticamente constantes a formulação da massa e as condições de processamento podem ser fixadas de modo a garantir a máxima qualidade do produto e eficiência do processo, minimizando assim os custos de produção e dando previsibilidade ao processo produtivo. Sem dúvida seria o método ideal. Entretanto, o valor agregado relativamente baixo das cerâmicas tradicionais é geralmente incompatível com os investimentos necessários. A constância das características das matérias-primas exige a adequada prospecção da jazida e o planejamento da lavra. O problema dos custos é ainda maior nos casos em que as jazidas apresentam grandes variações.

**Semi-Flexível:** As matérias-primas são caracterizadas e a formulação da massa é ajustada para compensar possíveis variações das características das mesmas enquanto que as condições de processamento são mantidas constantes. As condições de processamento são escolhidas visando maximizar a qualidade do produto final e a eficiência do processo, minimizando assim os custos de produção. Nos casos em que a massa contém um número relativamente elevado de matérias-primas este método pode ser muito efetivo, desde que as características a serem medidas, assim como os métodos de medida, sejam corretamente definidos. Entretanto, nos casos em que a massa é constituída de uma só argila, como é o caso de boa parte das massas utilizadas para a fabricação de revestimentos por via seca, ou da mistura de um número relativamente pequeno de matérias-primas, a aplicabilidade deste método fica comprometida.

**Flexível:** As matérias-primas são caracterizadas e a formulação da massa e condições de processamento são ajustadas para compensar possíveis variações das características das mesmas. Neste caso, as constantes mudanças dificultam o ajuste da formulação e das condições de processo visando maximizar a qualidade do produto final e a eficiência do processo. Portanto geralmente há uma elevação do custo de produção e, na melhor das hipóteses, a

**Tabela 2.** Métodos de controle de processo adotados nas indústrias cerâmicas.

Método de Controle de Processo	Características das Matérias- Primas	Composição da Massa	Condições de Processamento	Características do Produto Final
<b>Fixo</b>	Fixas	Fixa	Fixas	Constantes
<b>Semi-Flexível</b>	Avaliadas	Ajustada	Fixas	Constantes
<b>Flexível</b>	Avaliadas	Ajustada	Ajustadas	Constantes
<b>Bombeiro</b>	Variáveis	Ajustada	Ajustadas	Avaliadas

variação das características das peças produzidas apresenta maior dispersão.

**Bombeiro:** As características do produto final são monitoradas e quando as peças que estão saindo do forno apresentam defeitos que inviabilizam a sua comercialização, altera-se a formulação da massa e/ou as condições de processamento, com base na “experiência” da equipe técnica, até a eliminação, ou redução a níveis aceitáveis, dos defeitos. Neste método de controle de processo há pouco espaço para se ajustar a formulação da massa e as condições de processamento visando outra coisa que não seja produzir peças “vendáveis”. Assim sendo elimina-se os gastos relativos à caracterização da jazida e da massa, entretanto, não se pode otimizar as condições de processamento e a variação das características das peças produzidas é relativamente grande. Nos casos em que as características das matérias-primas variam pouco, devido às características da própria jazida e/ou da homogeneização, os aspectos negativos deste método podem ser relativamente pequenos.

Do acima exposto pode-se concluir que o Método de Controle de Processo ideal é o denominado “Fixo”. Entretanto, os gastos necessários para minimizar a variabilidade das características das matérias-primas naturais e se aproximar desse método de controle de processo só é economicamente viável para produtos de alto valor agregado (R\$/Kg), que não é o caso da maioria dos produtos cerâmicos.

Os Métodos de Controle de Processo “Semi-Flexível” e “Flexível” são baseados na caracterização prévia das matérias-primas e no ajuste da formulação e condições de processamento para que as características do produto final permaneçam constantes. Portanto todo o método é fundamentado na possibilidade de se prever, a partir das características medidas:

1. o comportamento dessas matérias-primas durante a fabricação,
2. os efeitos sobre as características do produto final, e
3. como alterações da formulação e das condições de processamento podem compensar as variações das características das matérias-primas.

Para isso é preciso que a empresa conte com uma equipe técnica de bom nível e equipamentos adequados. É importante salientar que as técnicas de caracterização menci-

onadas não precisam ser sofisticadas e sim úteis. É relativamente comum que empresas que querem melhorar a qualidade de seus produtos adquiriram equipamentos relativamente sofisticados sem considerar os reais benefícios que os resultados produzidos pelos mesmos poderão trazer. Não se mede a qualidade de um produto pelo dinheiro gasto em equipamentos nem pelo número de medidas realizadas mas sim com investimentos que levem a resultados que tenham uma utilidade prática no dia a dia da empresa. Se não sabe o que fazer com o resultado de uma medida, melhor não medir.

O Método Bombeiro, assim chamado por que a equipe técnica está sempre apagando incêndios, é baseado no ajuste da formulação e das condições de processamento com base nas características do produto final. Este método é muito utilizado em indústrias cerâmicas brasileiras de pequeno e médio porte e apresenta a vantagem de não precisar de mão de obra especializada, investimento na compra e manutenção de aparelhos de caracterização e de um laboratório de ensaios. Por outro lado, no Método Bombeiro, quando se percebe que as peças ao saírem do forno apresentam determinados defeitos já se está perdendo produção e continua-se perdendo até que o problema seja eliminado. Neste caso os ajustes da massa e do processo são feitos única e exclusivamente com base na experiência do pessoal técnico e visam prioritariamente a eliminação do problema. Dessa forma há pouca oportunidade para se buscar a otimização da formulação e do processo. Portanto o custo de produção geralmente não pode ser minimizado e a competitividade desses produtos só pode ser alcançada através da redução dos gastos.

## Considerações Finais

Em vista do acima exposto cada fabricante pode agora se enquadrar em um dos métodos de controle de processo apresentados e avaliar os aspectos positivos e negativos dessa opção. Espera-se que o simples fato de se considerar esses aspectos, assim como as características de outras alternativas, possa contribuir para a melhor utilização das vantagens e minimização das desvantagens de cada método de controle e/ou levar a mudanças nessa direção.

A variação das características da massa, geralmente como uma consequência da variação das características das matérias-primas, é um dos aspectos mais importantes

para que se possa vencer o desafio do processo cerâmico, como apresentado no início deste.

Para minimizar esse problema pode-se ajustar continuamente a composição da massa, com base em algumas características tecnológicas dos diversos constituintes previamente determinadas. Esse processo é conhecido como “controle de processo preditivo” (predictive process control – PPC) e tem sido utilizado com bastante sucesso em outros segmentos da indústria cerâmica. Maiores informações sobre o PPC podem ser encontradas na referência 2. Esta solução, entretanto, é apropriada para processos que trabalham com massas constituídas por várias matérias-primas. Para os processos que utilizam massas constituídas de uma só argila (ou um número relativamente pequeno de constituintes) a aplicabilidade do PPC, na forma como proposto originalmente, é limitada. Nesses casos a minimização da variação das características da massa está diretamente atrelada à minimização da variação das características das próprias argilas. Isso pode ser conseguido basicamente de duas maneiras: 1) através do planejamento da lavra e 2) homogeneização de lotes.

Para que o planejamento de lavra possa ser feito, primeiro é preciso conhecer a jazida. O levantamento da jazida é feito através de furos de sondagem. O número de furos depende da homogeneidade da jazida, quanto mais homogênea, menor o número de furos necessários. É importante observar que o simples levantamento da jazida na realidade permite determinar o volume de argila disponível e dar uma idéia do grau de variação da mesma. Infelizmente, entretanto, a maioria dos geólogos que executa esses levantamentos não foi preparada para trabalhar com argilas e pouco entende do processo cerâmico para poder avaliar adequadamente a qualidade de uma ocorrência e muito menos planejar a lavra. Por outro lado os engenheiros de minas, há alguns poucos atuando no setor, tem essa for-

mação, entretanto, estão mais familiarizados com o planejamento de lavra de minerais de valor agregado mais elevado. Nesse cenário, é fundamental que o levantamento da jazida seja feito por um geólogo com larga experiência (experiência não se mede em anos e sim em conhecimento) em argilas e processos cerâmicos e/ou que o trabalho do geólogo seja acompanhado de técnicos cerâmicos. Como mencionado anteriormente, a caracterização da jazida pode ser um processo demorado e relativamente caro, em relação ao valor agregado das cerâmicas tradicionais.

Nos casos em que não há um planejamento de lavra propriamente dito a melhor opção é investir na homogeneização dos lotes. Nesse procedimento quantidades relativamente grandes de argila, suficientes para vários meses de produção, são extraídas e a homogeneização do lote é feita nos pátios. Nesse processo trabalha-se como se o lote fosse uma nova jazida. Nesse sentido é importante cuidar para que essa nova jazida tenha as características desejadas, no que se refere à constância das propriedades. A chave para isso é a homogeneização. Nesse sentido, é importante ressaltar que a característica importante não é a média das propriedades tecnológicas e sim a dispersão das medidas (desvio padrão) pois o que se busca é a constância de comportamento. A efetividade desse processo deve ser periodicamente avaliada através da dispersão das medidas de propriedades tecnológicas adequadamente escolhidas. Não se pode presumir que o lote é homogêneo por que foi “bem homogeneizado”.

## Referencias Bibliográficas

1. Teixeira, R.; Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. Mundo Cerâmico, Ano VI, Agosto/97, n. 38, p. 28 a 31.
2. Funk, J.E.; Dinger, D.R. Predictive Process Control of Crowded Particulate Suspensions, Kluwer Academic Publishers, USA, 1994.