

A Curva de Gresificação: Parte II

Fábio G. Melchhiades, Eduardo Quinteiro e Anselmo O. Boschi

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais,

C.P. 676, 13.565-905 São Carlos - SP; e-mail: daob@power.ufscar.br

Resumo: Neste trabalho demonstra-se a utilidade da curva de gresificação na avaliação da sensibilidade de massas cerâmicas a possíveis erros de dosagem, variações da densidade do compacto seco e as condições de queima.

Palavras-chave: *curva de gresificação, processamento cerâmico, caracterização*

Introdução

Na Parte I deste trabalho a curva de gresificação¹ foi apresentada como uma ferramenta de grande importância para a avaliação e desenvolvimento de massas cerâmicas.

Todo processo produtivo apresenta uma certa variação das condições de processamento. Na fabricação de revestimentos cerâmicos, por exemplo, é inevitável que haja, ao longo do tempo, variações das características das matérias-primas, da proporção entre as diversas matérias-primas utilizadas na massa, do teor de umidade, do preenchimento do molde, da pressão de compactação e das condições de secagem e queima. Assim sendo, para que as características do produto produzido fiquem dentro dos limites desejados é preciso que a massa utilizada “perdoe” essas variações.

Na Parte I deste trabalho¹ demonstrou-se como a curva de gresificação pode ser utilizada para avaliar a sensibilidade de uma massa às variações da temperatura de queima. A Parte II apresenta exemplos práticos de como a curva de gresificação pode ser utilizada para avaliar a sensibilidade de uma massa às variações da composição, densidade do compacto seco e condições de queima.

Variações da Composição

Toda indústria cerâmica possui uma massa para cada produto. Essa massa, ou traço, estabelece a proporção, em peso ou volume, entre as diversas matérias-primas utilizadas. Uma boa massa deve ser facilmente processada, produzir um produto com as características desejadas e ter um baixo custo de produção. Entretanto, sendo as matérias-primas utilizadas de origem natural, é inevitável que suas características variem com o tempo². Além disso, tanto a pesagem como as medidas volumétricas estão sujeitas a determinados erros de medida que resultam na variação da proporção entre as diversas matérias-primas que constituem a massa. Assim sendo, ao se avaliar uma determinada

massa, é fundamental que se avalie também a sua sensibilidade a essas variações. Idealmente procura-se uma massa que “perdoe” todas as variações apresentadas pelo processo produtivo, ou seja, uma massa que apesar da variação das condições de processamento continue resultando em produtos com as características desejadas.

Para demonstrarmos como as curvas de gresificação podem ser utilizadas na avaliação da sensibilidade de uma massa às variações de composição, estudou-se o comportamento de uma massa utilizada industrialmente na fabricação de pisos por via seca e homogênea. Essa massa consiste da mistura, em peso, de 65% da argila A e 35% da argila B e é queimada a 1120 °C. Vejamos então quais são os efeitos de uma variação de $\pm 5\%$ do teor de cada uma das argilas sobre a absorção de água (AA) e a retração linear de queima (RL).

Como mostra a Fig. 1, uma variação de $\pm 5\%$ na proporção entre as matérias-primas faz com que a AA varie entre 8,0% e 11,9% e a RL entre 4,7% e 6,5%. Considerando que este produto é classificado pela norma ISO 13.006 como pertencente ao grupo BIIb, a sua AA deve estar entre 6 e 10%. Assim sendo, como mostra a Fig. 1, uma variação de $\pm 5\%$ na proporção entre as argilas A e B é suficiente para que a AA saia fora dos limites estabelecidos pela norma. Sob o ponto de vista da retração linear, se considerarmos que o produto final é um piso de 30 x 30 cm, por exemplo, uma variação de $\pm 5\%$ na proporção entre as argilas, segundo a Fig. 1, resultaria em produtos com dimensões variando entre 30,3 x 30,3 cm e 29,7 x 29,7 cm. Como a máxima variação de tamanho admitida pela norma ISO 13.006 para este tipo de produto é de 0,6%, verifica-se que uma variação de $\pm 5\%$ na proporção entre as argilas é suficiente para que a variação de tamanho do produto final ultrapasse esse limite, pois a variação em relação ao tamanho especificado, 30 x 30 cm, é de 1,0%.

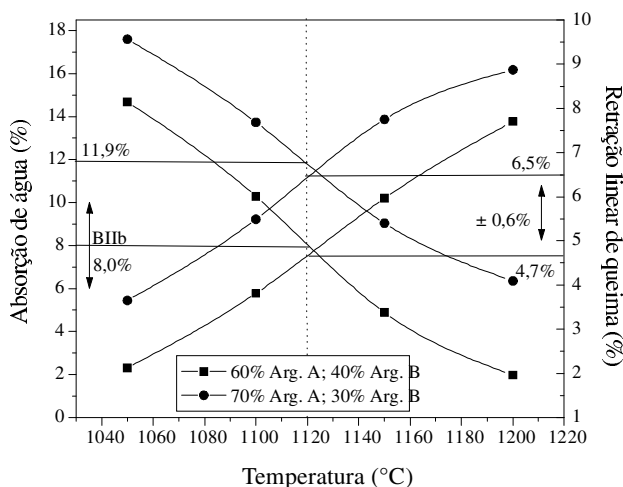


Figura 1. Efeitos da variação da proporção entre duas argilas sobre a curva de gresificação.

Com base nesses resultados o fabricante pode: a) determinar através das curvas de gresificação qual é a máxima variação admissível da proporção entre as argilas para que tanto a AA como a RL fiquem dentro das faixas estabelecidas pela norma e ajustar o sistema de preparação de massa para que esses limites não sejam excedidos ou b) buscar outras matérias-primas para o desenvolvimento de uma nova formulação que seja mais tolerante às variações da proporção entre as matérias-primas.

É importante salientar que uma massa constituída por um maior número de matérias-primas geralmente é mais estável, pois a probabilidade de que as características de todas elas variem em uma mesma “direção” diminui com o aumento do número de matérias-primas.

Sensibilidade à Variação da Densidade a Seco

A densidade de compactos cerâmicos produzidos por prensagem é afetada, dentre outros, pelos seguintes fatores: composição da massa, tamanho médio e distribuição granulométrica das partículas primárias e dos grânulos, teor de umidade, carregamento do molde, ciclo da prensa e pressão de compactação. Em um processo industrial cada um desses fatores apresentará uma certa variação ao longo do tempo, e portanto a densidade dos compactos também variará. Portanto, para que se possa avaliar uma determinada massa, é importante conhecermos as conseqüências dessas variações sobre as características do produto final. A curva de gresificação pode ser utilizada para isso.

Em uma determinada fábrica de revestimentos semi-porosos por via úmida as condições de compactação são ajustadas para que a densidade aparente média após a secagem seja de $1,74 \text{ g cm}^{-3}$. Procurou-se então avaliar a sensibilidade da massa utilizada a variações da densidade

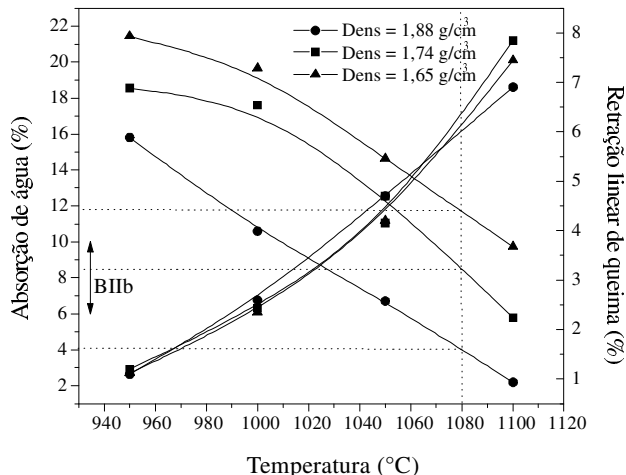


Figura 2. Efeitos da variação da densidade aparente após a secagem sobre a curva de gresificação de uma massa para revestimentos semi-porosos.

após a secagem. Para isso foram produzidos, à partir da mesma massa, compactos com diferentes densidades que foram queimados juntos para se levantar as curvas de gresificação correspondentes às diferentes densidades. Os resultados obtidos são apresentados na Fig. 2. Como pode-se perceber, a variação da densidade influenciou consideravelmente a AA, mas praticamente não alterou a retração linear durante a queima, para essa massa. Os resultados obtidos indicam que se a densidade dos compactos secos variar de $1,65$ a $1,88 \text{ g cm}^{-3}$ uma considerável fração das peças produzidas apresentará valores de AA fora do intervalo admitido pela ISO 13.006 para essa classe. Portanto, para que essa massa possa ser colocada em produção, é preciso que todo o processo seja ajustado para que a faixa de variação da densidade dos compactos secos seja menor que a utilizada neste estudo.

Em um outro estudo sobre a influência da densidade dos compactos após a secagem sobre o comportamento durante a queima, utilizou-se uma massa empregada industrialmente na fabricação de pastilhas cerâmicas com porosidade praticamente nula. Os resultados obtidos são apresentados na Fig. 3. Como pode-se perceber, neste caso, a variação da densidade do compacto após a secagem influenciou significativamente a RL. Este comportamento é bastante diferente do observado na Fig. 2 e demonstra como a curva de gresificação pode ser utilizada na avaliação de massas cerâmicas a serem empregadas na fabricação de produtos cerâmicos com características diferentes.

Como pode-se perceber, não há uma regra geral para a influência da densidade aparente após a secagem sobre o comportamento durante a queima. Portanto, para cada massa e cada tipo de produto é preciso avaliar a sensibilidade da massa para essa variável, estabelecer a faixa de variação admissível e controlar as variáveis de processo de

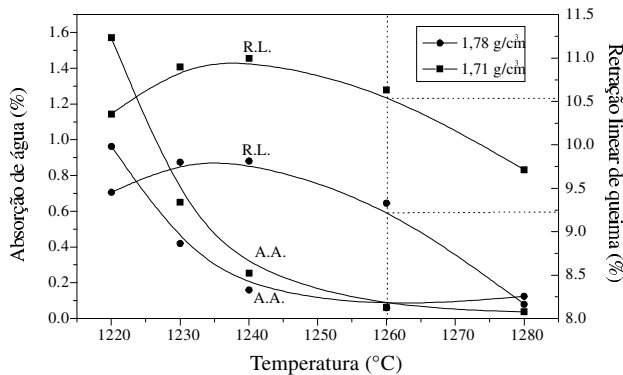


Figura 3. Efeitos da variação da densidade aparente após a secagem sobre a curva de gresificação de uma massa para pastilhas cerâmicas.

modo que as características do produto final fiquem dentro dos limites desejados.

Sensibilidade às Condições de Queima

Todo forno apresenta uma certa variação de temperatura de uma região para outra em um mesmo instante e ao longo do tempo para uma mesma região. Portanto, é importante que se conheça a sensibilidade de uma massa a essas variações do ciclo de queima. Na Parte I deste trabalho foi apresentado um exemplo da aplicação da curva de gresificação para avaliar a sensibilidade de uma massa a variações da máxima temperatura de queima quando as taxas de aquecimento e resfriamento eram as mesmas. Entretanto, sabe-se que a temperatura fornece a energia para que as transformações que ocorrem durante a queima possam ocorrer e que o tempo é quem permite a essas reações buscar o equilíbrio estabelecido pela termodinâmica e expresso através dos diagramas de equilíbrio. Portanto, é a combinação dos fatores temperatura e tempo, também conhecida como “trabalho térmico” que estabelece o grau de transformações sofridas por um compacto durante a queima. Por isso é que, mesmo nas fábricas mais modernas, além dos termopares, usam-se também os cones e/ou anéis pirométricos. Os termopares registram a temperatura instantânea e local, enquanto os cones e anéis pirométricos registram o trabalho térmico sofrido pelas peças durante a queima.

Da mesma forma que os cones e anéis pirométricos, as massas cerâmicas também são sensíveis às variações do ciclo de queima. Para ilustrar isso, a Fig. 4 apresenta as curvas de gresificação de compactos com as mesmas características, produzidos com uma massa industrial utilizada para a fabricação de azulejos por biqueima. Os corpos de provas foram submetidos a ciclos de queima diferentes, sendo que as temperaturas máximas nos dois ciclos eram as mesmas, mas a taxa de aquecimento era ligeiramente diferente. Como pode-se perceber, a massa estudada é bastante sensível a variações do ciclo de queima da magnitude das produzidas neste estudo.

Comentários Finais

Muito embora os parâmetros abordados pela curva de gresificação, AA e RL, sejam de grande relevância para o processamento cerâmico e a caracterização do produto final, existem outros aspectos fundamentais a serem considerados quando se faz a avaliação e o desenvolvimento de uma massa há, fundamentalmente três aspectos a serem considerados:

- a) a “fabricabilidade”,
- b) as características do produto final e
- c) os aspectos econômicos.

a) “Fabricabilidade”: O termo “fabricabilidade” representa a facilidade com que a massa permite e resiste à execução de todas as operações envolvidas no processo de fabricação. Nesse sentido, por exemplo, variáveis como a recuperação elástica na extração do molde da prensa, a densidade a verde, a resistência mecânica do corpo verde, a facilidade de secagem, a retração de secagem, a densidade após as secagem, a resistência mecânica após a secagem, a retração de queima, a densificação durante a queima, dentre outras, também devem ser levadas em consideração.

b) Características do produto final: As características desejáveis no produto final variam de produto para produto, mas de uma forma genérica algumas das mais importantes são: as dimensões, a forma, a absorção de água, o tamanho médio e a distribuição do tamanho dos poros, a resistência mecânica, a expansão térmica e a cor de queima.

c) Aspectos econômicos: Em primeiro lugar, sob o aspecto econômico, a massa deve possibilitar a prática de baixos índices de perda durante o processo. O índice de perda está diretamente associado ao aspecto comentado anteriormente de que há massas que “perdoam” as variações das condições de processamento mais do que outras. Além disso, se a massa for barata, no que se refere ao custo das matérias-primas, fácil de ser moída e necessitar

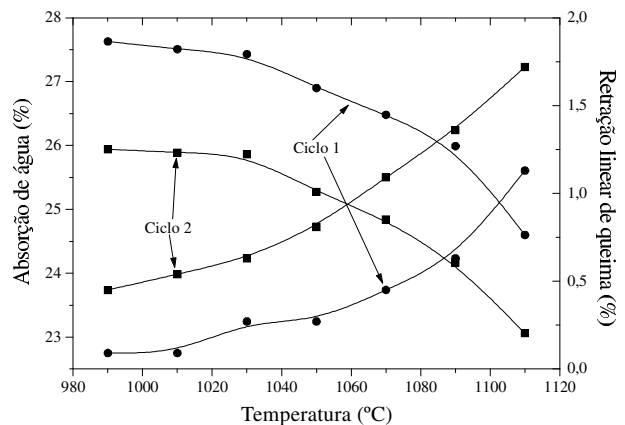


Figura 4. Curvas de gresificação de compactos de uma massa de azulejo, com as mesmas características, quando submetidas a dois ciclos de queima diferentes.

de temperaturas relativamente baixas para o desenvolvimento das propriedades requeridas, isso certamente levará a custos de produção relativamente baixos e conseqüentemente um aumento da competitividade do produto final.

Como pode-se perceber pelo acima exposto, a avaliação e desenvolvimento de massas são operações bastante complexas. Entretanto, se para uma determinada massa os dois parâmetros considerados pela curva de gresificação não forem favoráveis para a fabricação de um determinado produto, não é relevante verificar se os outros aspectos o são. Por isso, muito embora a curva de gresificação sozinha não possibilite a avaliação completa de uma massa cerâmica, ela é sem dúvida alguma uma ferramenta importante.

Um último aspecto a ser considerado é que, apesar da importância das informações fornecidas pela curva de gresificação, ainda fica a pergunta: “O que fazer quando o comportamento apresentado pelas curvas de gresificação não é o desejado?”. Quando essa situação ocorre, infelizmente o método mais utilizado na prática para buscar uma solução é conhecido como “tentativa e erro” ou seja

“chuta-se” para todo lado até chegar aos resultados desejados. Este procedimento geralmente implica em maiores custos de desenvolvimento e prejudica o entendimento das razões pelas quais atingiu-se os objetivos desejados.

O comportamento da curva de gresificação pode ser explicado cientificamente, e com base nessas explicações pode-se prever as alterações necessárias para que a massa se aproxime do comportamento desejado. Assim sendo, é importante enfatizar que a curva de gresificação é apenas uma ferramenta, mas quando associada ao verdadeiro entendimento do processo, torna-se ainda muito mais poderosa.

Bibliografia

1. Melchiades, F.G.; Quinteiro, E.; Boschi, A.O. A Curva de gresificação: Parte I. *Ceram. Ind.* **1997**, *4*, 30.
2. Sanchez, E.; García, J.; Ginés, F.; Negre, F. Aspectos a serem melhorados nas características e homogeneidade de argilas vermelhas empregadas na fabricação de placas cerâmicas. *Ceram. Ind.* **1997**, *3*, 13.