

Relação entre a Curvatura de Revestimentos Cerâmicos e as Características da Camada de Engobe

Fábio G. Melchades¹, Andréa R.D. Barbosa² e Anselmo O. Boschi¹

¹ *Laboratório de Revestimentos Cerâmicos - LaRC - DEMa - UFSCar*

Rodovia Washington Luís, Km 235, 13565-905 São Carlos - SP

e-mail: daob@power.ufscar.br

² *Gerbi Revestimentos Cerâmicos S/A*

Av. Adélia Calefi Gerbi, 15 - Cx. Postal 41

13570-000 Estiva Gerbi - SP

Resumo: Através deste estudo procurou-se determinar de maneira mais clara as funções desempenhadas pela camada de engobe na fabricação de revestimentos cerâmicos, especialmente com relação aos seus efeitos sobre a planaridade dos mesmos. Um engobe adequado para aplicação em revestimentos deve ocultar a cor da base, impermeabilizar o produto acabado e ainda garantir a planaridade das peças, visto que podem ser originadas tensões no seu acoplamento com a base e o vidro. Foram aplicados dois engobes de características diferentes sobre uma mesma composição de revestimentos semi porosos e determinou-se a curvatura de tais peças após a queima. Com base nos resultados obtidos e nas análises dilatométricas e de retração linear dos engobes, da massa e do vidro, procurou-se estabelecer as características da camada de engobe que afetam a curvatura das peças, auxiliando na formulação de engobes para cada tipo de produto.

Palavras-chaves: *curvatura central, engobe, acoplamento*

Introdução

Os fabricantes de revestimentos cerâmicos, empregam atualmente quase que em sua totalidade, uma camada de engobe¹ intermediária entre o suporte cerâmico e o vidro. Esta camada deve essencialmente ocultar a cor² do suporte, impermeabilizar a peça e atuar no acoplamento do vidro ao suporte. Simultaneamente, a simples presença de uma camada entre o vidro e a massa contribui para a eliminação de defeitos superficiais na peça, a redução da espessura da camada de vidro e de reações³ indesejáveis na interface do vidro com o suporte.

Dentre as funções da camada de engobe, o seu papel no acoplamento é um dos aspectos menos tratados na literatura⁴. O acoplamento entre a massa e o vidro já foi estudado, sendo conhecidos os efeitos da incompatibilidade dos mesmos sobre a curvatura⁵ de revestimentos. No entanto, pouco se comenta sobre a presença da camada

intermediária de engobe, a qual por encontrar-se justamente entre o suporte e o vidro, certamente altera as características do acoplamento.

Industrialmente, alguns fabricantes trabalham com engobes de expansão térmica intermediária entre o suporte e o vidro, ao passo que outros empregam engobes de expansão térmica elevada, visando corrigir a curvatura das peças. Contudo, pouco se conhece a respeito das diferenças entre cada uma destas situações.

Durante o processo de queima, os distintos componentes (massa, engobe e vidro) que compõem o produto sofrem alterações em suas dimensões, à medida em que ocorre aumento ou redução de temperatura. Se estes componentes não apresentarem dilatações e contrações compatíveis, as peças tendem a se curvar como uma forma de relaxar as tensões geradas.

O método para se avaliar o acoplamento do engobe deve ser diferente daquele empregado para a avaliação do aco-

plamento massa-vidrado. No caso do vidrado, seus efeitos sobre a planaridade das peças só tornam-se efetivos na queima, durante o resfriamento, a partir do momento em que se atinge a temperatura de acoplamento efetivo⁶ (Ta) do esmalte. A partir deste ponto, as diferenças de retração entre massa e vidrado dão origem à curvatura. Por este motivo é possível avaliar o acoplamento massa-vidrado apenas com as análises dilatométricas dos dois elementos. Porém, os engobes utilizados atualmente não chegam a fundir completamente durante a queima, ocorrendo apenas a formação de uma considerável quantidade de fases vítreas. Por esta razão não é possível aplicar o método de determinação da temperatura de acoplamento do vidrado para os engobes.

Deste modo, este estudo visa a identificação das características da camada de engobe que desempenham papel relevante sobre a curvatura. Conhecendo-se tais características e o modo de atuação das mesmas, pode-se controlar com maior eficácia a curvatura de revestimentos cerâmicos.

Procedimento Experimental

O trabalho foi dividido basicamente em duas etapas. Na primeira, trabalhou-se com dois engobes de características distintas utilizados na confecção de revestimentos produzidos a partir da mesma massa e do mesmo vidrado. Objetivou-se determinar como a simples mudança do engobe pode alterar a curvatura de uma peça. Na etapa seguinte, procurou-se estudar as características da camada de engobe que são capazes de alterar o acoplamento massa-vidrado e conseqüentemente determinar a curvatura de revestimentos.

Efeitos da Camada de Engobe sobre a Curvatura

Para a realização dos estudos foram realizadas provas experimentais em uma indústria produtora de revestimentos cerâmicos, de dimensões (20 x 30)cm, classificados pelo projeto de norma ISO 13006 como BIIb. Utilizou-se a massa (composta por duas argilas) e o vidrado usualmente empregados na fábrica. Além disso, empregou-se dois engobes de características diferentes - um de alta expansão térmica (AET) e outro de expansão térmica reduzida (BET).

Foram coletadas quinze peças da linha de produção da indústria. Sobre cinco peças aplicou-se uma camada de 30 g (50 mg/cm²) do engobe AET e 26 g (43 mg/cm²) do vidrado industrial por aerografia. Em outras cinco peças realizou-se a aplicação das mesmas quantidades de engobe e vidrado, apenas substituindo o engobe AET pelo engobe BET. As outras peças restantes (N) foram queimadas sem a presença de qualquer cobertura, com o intuito de verificar a curvatura causada exclusivamente pelo forno sobre as peças.

As quinze peças preparadas sob as condições acima descritas foram queimadas no forno da própria indústria (uma após a outra na fileira central), segundo um ciclo de 35 minutos, com máxima temperatura de queima de 1120 °C. Foram coletadas amostras da massa crua e das suspensões de engobe e de vidrado. As peças queimadas foram caracterizadas quanto à curvatura central em equipamento de análise dimensional dataplucômetro.

Prensou-se corpos de prova da massa, controlando-se a densidade dos mesmos de tal forma a ser mantida em 1,76 g/cm³, que corresponde à densidade média das peças cruas da fábrica. Os corpos de prova dos engobes foram preparados por colagem em moldes de gesso. Estes corpos, juntamente com uma navícula preenchida com o vidrado, foram queimados em forno de laboratório tipo mufla à temperatura de 1080 °C – correspondente aos 1120 °C em forno industrial. Os corpos queimados foram caracterizados quanto à retração linear de queima e expansão térmica linear. A expansão térmica foi medida em uma dilatômetro Orton com velocidade de aquecimento de 5,25 °C/min.

Estudo das Características do Engobe

Repetiu-se os procedimentos descritos acima em uma indústria produtora de revestimentos porosos (BIII), empregando-se sempre a massa da indústria e o seu respectivo vidrado. No entanto, formulou-se três engobes de expansões térmicas semelhantes porém com refratariedades diferentes. Além disso, variou-se a espessura da camada destes engobes, através da aplicação por aerografia de quantidades diferentes de engobe sobre as peças de (21,5 x 31,5) cm. Foram aplicadas camadas de 30 g (44 mg/cm²), 40 g (59 mg/cm²) e 50 g (74 mg/cm²) a fim de estudar os efeitos da variação da espessura da camada para cada um dos engobes. O vidrado foi aplicado em todas as peças com uma camada de 40 g (59 mg/cm²).

Todas as peças foram queimadas na fileira central de um forno industrial à temperatura máxima de 1125 °C em um ciclo de 40 minutos. As peças queimadas foram caracterizadas quanto à curvatura central em dataplucômetro. Amostras da massa, dos engobes e do vidrado foram coletadas e caracterizadas em laboratório quanto à refratariedade e expansão térmica linear, de acordo com os procedimentos descritos no item anterior.

Análise e Discussão dos Resultados

Efeitos da Camada de Engobe sobre a Curvatura

Na Tabela 1, encontram-se os resultados da determinação da curvatura central das peças queimadas no forno industrial. É possível observar que as peças sem qualquer cobertura (N) apresentam curvatura levemente convexa. No entanto, quando introduz-se os engobes e o vidrado a curvatura das peças é alterada. No caso das peças com o

Tabela 1. Medidas de curvatura central das peças queimadas.

Código da peça	Curvaturas centrais (%)	Média e desvio
N-1	-0,01 / -0,06	
N-2	-0,05 / -0,02	
N-3	0,04 / 0,07	-0,03 ± 0,05
N-4	-0,04 / -0,09	
N-5	-0,04 / -0,11	
AET-1	-0,12 / -0,07	
AET-2	-0,12 / -0,09	-0,12 ± 0,04
AET-3	-0,20 / -0,12	
AET-4	-0,14 / -0,11	Curvatura
AET-5	-0,12 / -0,08	convexa
BET-1	0,06 / 0,06	
BET-2	0,04 / 0,05	0,07 ± 0,03
BET-3	0,10 / 0,12	
BET-4	0,07 / 0,08	Curvatura
BET-5	n/d	Côncava

engobe AET, a curvatura convexa é acentuada e quando analisa-se as peças queimadas com o engobe BET, a curvatura torna-se côncava. Estes resultados indicam que mesmo fixando a massa e o vidrado, a simples variação das características dos engobes pode alterar tanto a natureza da curvatura como a intensidade da mesma.

Os trabalhos⁵ publicados a respeito do efeito do acoplamento massa-vidrado sobre a curvatura, sugerem que a flecha de curvatura de uma peça (D) é determinada em função de seu comprimento (L) e espessura (h), bem como da diferença de retração entre a massa e o vidrado no resfriamento (ΔC) e de uma constante (K_R) que depende dos módulos elásticos e espessuras do suporte e do vidrado, de acordo com a equação (A):

$$D = \frac{L^2 K_R \Delta C}{8 h} \quad (A)$$

A determinação do ΔC nestes estudos pode ser feita apenas com as análises dilatométricas da massa queimada e do vidrado, determinando-se a temperatura de acoplamento efetivo do vidrado (T_a) e observando a diferença de retração entre a massa e o vidrado abaixo desta temperatura, considerando que em T_a ambos possuem as mesmas dimensões (ver Figura 1). Os resultados obtidos neste estudo indicam, no entanto, que se considerarmos apenas o vidrado e o suporte, a curvatura das peças não pode ser determinada, visto que o engobe pode alterar o tipo e a intensidade da curvatura.

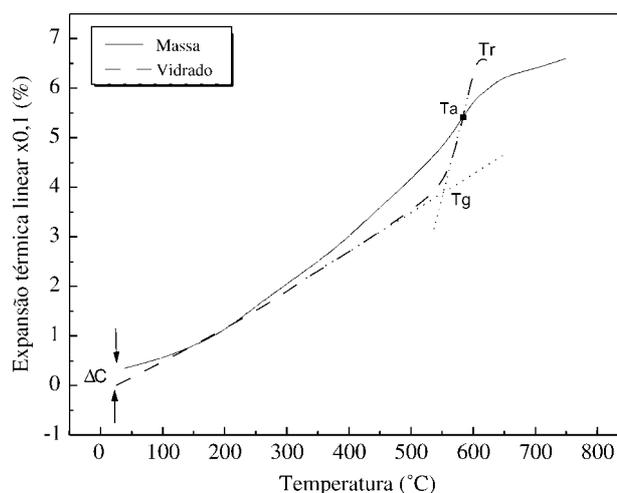


Figura 1. Exemplo prático da determinação do ΔC para o acoplamento massa-vidrado.

Tabela 2. Caracterização dos elementos constituintes das peças.

Elementos	α 100 - 500 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Retração linear (%)
Massa	$102,0 \times 10^{-7}$	5,30
Engobe AET	$93,0 \times 10^{-7}$	4,77
Engobe BET	$65,0 \times 10^{-7}$	5,57
Vidrado	$85,0 \times 10^{-7}$	n/d

Tendo em vista que engobes diferentes proporcionaram curvaturas distintas, realizou-se a caracterização dos mesmos a fim de verificar suas propriedades que diferiam entre si. Assim, determinou-se a retração linear e o coeficiente de expansão térmica da massa, dos engobes e do vidrado, conforme indicado na Tabela 2.

É possível notar que os engobes apresentam diferenças de refratariedade além dos coeficientes de expansão térmica. O engobe AET apresenta retração inferior à da massa, ao passo que o engobe BET possui a maior retração linear dos elementos analisados.

Considerando-se os resultados desta caracterização e levando-se em conta que as variações dimensionais dos elementos durante a queima são determinantes para o desenvolvimento da curvatura, pode-se estabelecer a retração linear e a dilatação térmica como duas características dos engobes importantes para o acoplamento. Além disso, a participação da camada de engobe nas peças também pode afetar a curvatura. Assim, optou-se por selecionar a espessura da camada de engobe como uma variável de interesse neste estudo.

Estudo das Características do Engobe

A Tabela 3 expressa os resultados obtidos na determinação da curvatura central das peças produzidas com a aplicação de camadas de engobe de diferentes espessuras. Os resultados indicam que independente do engobe utili-

Tabela 3. Curvatura central das peças produzidas com camadas de engobe diferentes.

Corpos de prova	Curvatura Central		
	30 g	40 g	50 g
Engobe I	0,18 / 0,14	0,11 / 0,05	0,09 / 0,03
Engobe II	0,19 / 0,15	0,18 / 0,11	0,13 / 0,08
Engobe III	0,26 / 0,22	0,28 / 0,22	0,28 / 0,24
Suporte	0,01 / -0,03		

zado, o aumento da espessura da camada tende a reduzir a intensidade da curvatura das peças, em razão do aumento da rigidez da peça que proporciona. Cada engobe proporciona redução na intensidade da curvatura de maneira distinta, sendo alguns mais eficientes do que os outros. Este fato está relacionado com as características de cada engobe, sendo que o aumento da espessura da camada do Engobe I - que causa menor curvatura para uma mesma espessura de camada - apresenta maior eficiência neste sentido. Este resultado pode ser melhor visualizado através da Figura 2.

A seguir, avaliou-se os efeitos da refratariedade, determinada em função da retração linear do engobes. Na Figura 3 encontra-se as curvas de expansão térmica dos engobes e na Tabela 4 encontram-se as medidas de retração e linear e dos coeficientes de expansão térmica linear dos mesmos.

Com base nos resultados obtidos observa-se que os engobes apresentam coeficientes de expansão térmica muito semelhantes, porém a refratariedade dos mesmos é consideravelmente diferente. A curvatura das peças produzidas com estes engobes (Tabela 3) é notadamente alterada de acordo com o engobe aplicado. Como os coeficientes de expansão térmica dos engobes podem ser considerados iguais, nota-se que o simples controle da dilatação térmica não é suficiente para garantir a planaridade das peças. Os resultados indicaram que o controle da refratariedade do engobe, que pode ser feito através da determinação da retração linear de queima, é de suma importância para garantir o acodo massa-engobe-vidrado e evitar a curvatura das peças.

A outra variável a ser estudada deveria ser a dilatação térmica. Para isso, seria necessária a aplicação de uma mesma espessura de camada de engobes com mesma retração linear, porém com expansões térmicas diferentes. No entanto, estes resultados ainda não foram obtidos, em razão da dificuldade encontrada em formular engobes com tais características. Porém, os resultados obtidos até então, trazem indícios de que a expansão térmica também é uma variável a ser controlada para garantir a planaridade de revestimentos cerâmicos.

Tabela 4. Características dos engobes estudados.

Engobes:	Engobe I	Engobe II	Engobe III
Características			
Retração linear (%)	3,70	1,86	0,64
Coef. Exp. Térmica: $\alpha_{60-325\text{ }^\circ\text{C}}\text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$	$88,7 \times 10^{-7}$	$90,6 \times 10^{-7}$	$86,8 \times 10^{-7}$

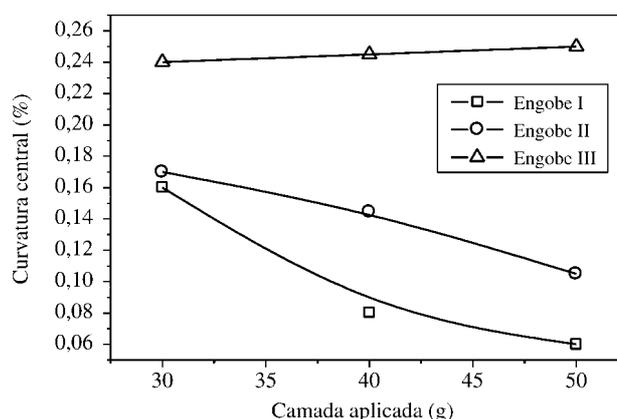


Figura 2. Efeitos da espessura da camada de engobe sobre a curvatura central.

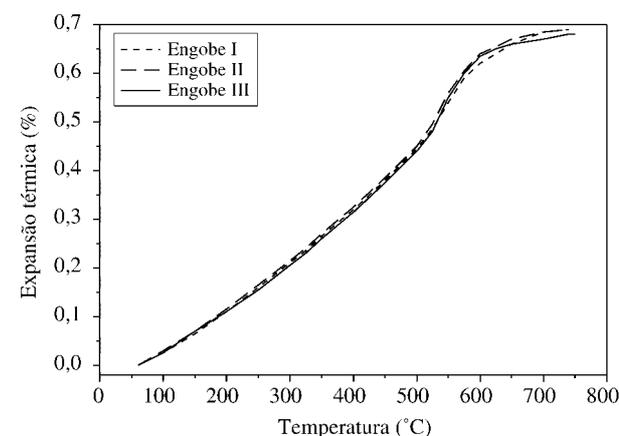


Figura 3. Análise dilatométrica dos engobes estudados.

Conclusões

As características dos engobes afetam de maneira considerável a curvatura de revestimentos, de tal forma que o simples controle dos coeficientes de expansão térmica da massa e do vidrado não é suficiente para garantir a planaridade das peças.

A espessura da camada aplicada de engobe exerce apreciável influência sobre a curvatura das peças e pode ser utilizada no controle da planaridade de revestimentos cerâmicos. Sob o ponto de vista econômico esta alternativa nem sempre é viável, de tal modo que o mais correto seria formular engobes com características mais adequadas para

evitar o desenvolvimento de curvaturas de grande intensidade.

Dos resultados obtidos, observou-se que a refratariedade e a expansão térmica linear são as duas características dos engobes a serem levadas em consideração para garantir um bom acoplamento e controlar a curvatura das peças.

Referências Bibliográficas

1. Pérez, E.A. – Apuntes de esmaltes y colores cerámicos – Instituto de Formación Profesional nº2 de Castellón, Generalitat Valenciana, Valencia, 1991.
2. Moreno, A.; Bou, E.; Cabrera, M.J.; Quereda, P. – “Mecanismo de opacificación del silicato de circonio en los engobes cerámicos – Anais do Qualicer 98, Castellón, 1998.
3. Amorós, J.L.; Moreno, A.; Negre, F.; Orts, M.J. - Acuerdo esmalte-soporte (IV) Naturaleza de la inter-fase esmalte-soporte” – Técnica Cerâmica, nº181, 138-145 (1993).
4. Eppler, R.A. - Crazing on whitewares having both an engobe and a glaze” - Ceram. Eng. Sci. Proc., 15 [1] 138-145 (1994).
5. Amorós, J.L.; Negre, F.; Belda, A.; Sánchez, E. - “Acordo esmalte-suporte (I): A falta de acordo como causa do empenamento” - Cerâmica Industrial, vol.1, nº4/5, 06-13 (1996).
6. Amorós, J.L.; Blasco, A.; Carceller, J.V.; Sáenz, V. - “Acordo esmalte-suporte (II): Expansão térmica de suportes e esmaltes cerâmicos” - Cerâmica Industrial, vol.2, nº1/2, 08-16, (1997).
7. Amorós, J.L.; Orts, M.J.; Gozalbo, A.; Montiel, E. - “Acordo esmalte-suporte (III): Elasticidade dos suportes e vidrados cerâmicos” - Cerâmica Industrial, vol.2, nº3/4, 19-27, (1997).