

## Soluções para o Problema de Acúmulo de Esmalte nas Bordas das Peças Cerâmicas e seus Defeitos Associados

**P. Corma<sup>1</sup>, L. Martínez<sup>1</sup>, J. Martínez<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> Dolores Llanes<sup>3</sup>,  
V. Moreno<sup>3</sup>, J. Vte. Carceller<sup>4</sup> e M. Gómez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> QPT; <sup>2</sup> Alquimia Técnica; <sup>3</sup> Rocersa; <sup>4</sup> Colorobbia; <sup>5</sup> Gres de Valls

**Resumo:** Neste trabalho estudou-se em detalhes os problemas relacionados com o acúmulo de esmalte nas bordas das peças de revestimentos cerâmicos. O acúmulo geralmente origina-se no processo de aplicação do esmalte, sendo que após a queima torna-se ainda mais evidente. A presença de maiores quantidades de esmalte nas bordas das peças gera uma série de inconvenientes para a peça crua e para o produto acabado, prejudicando suas características técnicas e estéticas.

A partir de peças industriais, verificou-se a região das peças em que ocorre o acúmulo de esmalte com maior incidência. A seguir, avaliou-se os efeitos da quantidade de esmalte aplicada, da rugosidade da superfície, da forma do chanfro, da temperatura da peça, dos aditivos do esmalte e da tipologia do suporte sobre o acúmulo de esmalte, visando a minimização deste problema. Os resultados obtidos indicaram que através da otimização das variáveis estudadas é possível reduzir o acúmulo de esmalte nas bordas das peças de revestimentos cerâmicos.

**Palavras-chaves:** *defeitos, esmalte, bordas das peças*

### Introdução

Durante a produção de peças cerâmicas de revestimento é possível que as mesmas apresentem um acúmulo de esmalte em suas laterais. Este acúmulo é observado durante a operação de esmaltação, mas é na peça queimada que se torna mais evidente, até o ponto em que acaba por se tornar esteticamente inadmissível.

Este acúmulo nas bordas implica em uma série de inconvenientes:

- Na peça recém esmaltada:
    - Dificuldades na operação de decoração e surgimento de bordas defeituosas;
    - Aumento da relação de espessuras (espessura da camada de esmalte/espessura do suporte) nas bordas, quando comparada com o restante da peça e incremento da tendência a curvar em relação às outras zonas (presença de deformações).
  - Na peça queimada:
    - Aspecto visual de peça sem planaridade no produto acabado;
    - Dificuldade no polimento superficial pela existência de espessuras diferentes;
    - Dificuldade de retificação e chanframento pelas diferenças de espessura e deformações laterais;
- Aspecto visual de “cume” nas laterais das peças retificadas, zona de junta entre as peças;
  - Curvatura lateral da peça pelo incremento diferencial da camada de esmalte nesta zona.

Este defeito é mais evidente quando aplica-se camadas espessas de esmalte como é o caso da aplicação “a campana” habitual na produção de revestimentos de parede pelo procedimento de monoqueima.

O defeito também é mais comum quando são utilizadas cristalinas, em razão do efeito visual proporcionado pela superfície brilhante. Este fato é válido tanto para a produção de pisos como de azulejos.

Na atualidade, com o surgimento de produtos, especialmente de revestimentos de parede porosos, com camadas espessas de esmalte para posterior polimento, este problema torna-se mais grave, em virtude da:

- Maior camada de esmalte e maior acúmulo nas laterais da peça;
- Utilização de formatos retangulares alargados que apresentam maior tendência a curvar-se;
- Necessidade de uma superfície final o mais lisa possível para:
  - Polimento superficial homogêneo;
  - Retificação e chanframento lateral.

Se ainda considerarmos o fato de que um incremento local (nas bordas das peças) de camada de esmalte (sendo que nesta região a espessura do biscoito é menor para compensar a compactação), causa uma maior tendência à curvatura precisamente nesta zona, teremos efeitos determinantes sobre a:

- Deformação lateral;
- Dificuldade de retificação e chanframento.

Por último, cabe ressaltar a dificuldade de decorar com a introdução dos equipamentos de serigrafia, flexometria e tampografia rotativos:

- Estes equipamentos apoiam uma de suas qualidades fundamentais na manutenção do paralelismo do eixo de giro da máquina com o plano da peça;
- A presença de irregularidades laterais causa a variação deste paralelismo;
- Uma das vantagens fundamentais destas máquinas é, precisamente, o poder de serigrafar até a borda. Por outro lado a borda apresenta um chanfro necessário no suporte para facilitar a expulsão da peça do alvéolo da prensa durante a operação de prensagem. Para resolver este problema as máquinas em questão apresentam telas, rolos ou fotopolímeros com certa flexibilidade, o que torna necessário incrementar a pressão do rolo (tela rotativa ou fotopolímero) precisamente nesta zona, o que acarreta a formação de defeitos de decoração na forma de “borrões”, se existe um relevo causado pelo acúmulo de esmalte nesta região.

A aplicação de barbotinas cerâmicas (suspensões aquosas) sobre peças planas apresenta os fenômenos próprios relacionados com a tensão superficial, sendo determinados:

- Pela tensão superficial da suspensão;
- Pela forma da superfície sobre a qual se deposita a suspensão.

Por tensão superficial (TS) se entende a força exercida na superfície dos líquidos por unidade de comprimento, conforme a equação (1):

$$TS = F / L \quad (1)$$

As causas da tensão superficial são determinadas pelas forças de coesão, especialmente intensa nos líquidos; as forças gravitacionais que interferem na atração de duas moléculas de um líquido são desprezíveis frente as forças de Van der Waals, pois para uma mesma separação entre elas, a intensidade das forças newtonianas varia em razão inversa com o quadrado da distância, ao passo que as outras variam em razão da segunda, terceira e oitava potência da mesma e, portanto, crescem muito rapidamente ao se aproximar as moléculas entre si. As forças intermoleculares alcançam intensidades extraordinárias só a distâncias muito pequenas. A partir de então, pode-se definir a TS como o trabalho necessário para incrementar a superfície de um líquido na unidade de superfície:

- Um líquido com elevada TS: Tende a “recolher-se sobre si”;
- Um líquido com baixa TS: Tende a “estender-se”.

Entre os fatores que afetam a tensão superficial:

- Temperatura do líquido:
  - Ao aumentar a temperatura se produz uma diminuição progressiva da tensão superficial, até que se atinge uma temperatura para a qual a TS é nula. Esta temperatura (crítica) supõe a barreira entre o estado líquido e o gasoso;
  - A diminuição é conseqüência do incremento da agitação térmica que diminui as forças intermoleculares.
- A presença de impurezas no líquido:
  - Quando as impurezas se acumulam na superfície, a tensão superficial diminui;
  - Quando se acumulam no interior ou se afastam da superfície, a TS permanece inalterada (Lei de Gibbs).
- A influência das impurezas sobre a TS é denominada tensoatividade. Em função da atividade orientadora dos grupos hidrofílicos ou hidrófobos (já que as barbotinas cerâmicas são suspensões aquosas) da suspensão, a TS se verá afetada de uma forma ou de outra.

Para o objetivo deste trabalho, o intuito é diminuir a TS para obter a máxima “expansão” do líquido ou suspensão sobre a superfície plana da peça.

Tendo em conta a relação entre TS e o caráter hidrofílico ou hidrófobo, o tempo de secagem da suspensão estará diretamente relacionado com a presença de sólido na superfície ou no interior da suspensão e portanto será uma variável de medição indireta da TS. Em qualquer caso, tendo em conta que o fenômeno prejudicial é o de acúmulo de esmalte, também se medirá a espessura da camada de esmalte em diferentes distâncias da borda da peça, com a finalidade de se minimizar as diferenças.

O presente trabalho tem por objetivo diminuir ou evitar a presença deste acúmulo de esmalte nas bordas das peças, assim como estudar e determinar os fatores que influem no surgimento deste fenômeno. Para isso, o problema é estudado por diferentes óticas:

- Relação de espessuras de esmalte e suporte;
- Forma da superfície sobre a qual se aplica o vidrado (rugosidade e/ou forma do chanfro);
- Temperatura da peça a esmaltar;
- Condições do esmalte que evitam o acúmulo (tipologia, reologia e aditivos);
- Tipo de massa do suporte.

## Experimental

Foram utilizados materiais e instalações em condições industriais:

- Materiais:
  - Biscoito, engobe e cristalina de massa porosa industrial;

- Aditivos:
  - Dispersante a base de polifosfatos;
  - Ligante de natureza orgânica com tensoativos inorgânicos.
- Equipamentos de ensaio:
  - Picnômetro de linha para controlar a densidade das barbotinas;
  - Viscosímetro de copo Ford (n<sup>o</sup>4) de linha para controle da viscosidade das barbotinas;
  - Termômetro de contato de linha para controle da temperatura da peça a esmaltar;
  - Cronômetro de linha para controle do tempo de secagem;
  - Lupa binocular (x400) para medição da espessura da camada;
  - Colorímetro.
- Condições de testes de laboratório:
  - Engobe padrão (utilizado habitualmente) com seus respectivos aditivos:
    - Bentonita;
    - Tripolifosfato de sódio.
  - Cristalina padrão (utilizada habitualmente) com seus respectivos aditivos:
    - Cola;
    - Tripolifosfato.
  - Água de moagem das respectivas instalações industriais;
  - Confeção de nova barbotina de engobe sem os aditivos originais e substituição pelos propostos;
  - Confeção de nova barbotina de cristalina sem os aditivos originais e substituídos pelos propostos.
- Variáveis a medir:
  - Tempo de secagem da superfície esmaltada:
    - Com distintas barbotinas;
    - Com peças em distintas temperaturas;
    - Com peças com distinto tipo de superfície.
  - Espessura da camada em diferentes distâncias da borda para cada peça das anteriores;
  - Tonalidade das peças (L, a, b).
- Tratamento dos dados:
  - Para cada medida de espessura de camada, foram realizadas diferentes medidas em diferentes partes ao longo da peça e em distintas peças, de modo que tornou-se possível obter um valor representativo da população. Nas tabelas e gráficos são representadas as médias destes valores.

## Resultados e Discussão

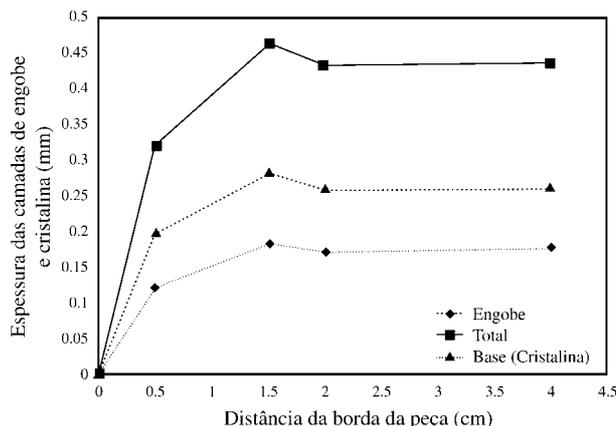
### a) Dados de Partida

a.1) Espessura de camada em diferentes distâncias da borda da peça queimada (aplicação normal em fábricas).

Parte-se de dados experimentais, tanto em massa vermelha como em massa branca, referentes à espessura da

**Tabela 1.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias (cm) da borda da peça. Medidas sobre peças queimadas.

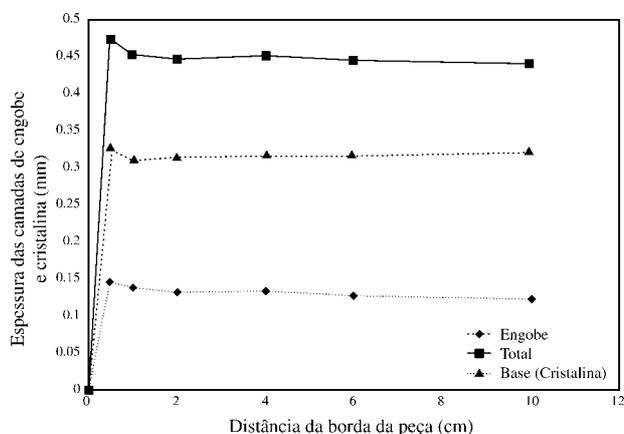
Distância da borda da peça (cm)	0,5 cm	1,5 cm	2 cm	4 cm
Cristalina	0,199	0,283	0,261	0,261
Engobe	0,121	0,182	0,171	0,176
Total	0,320	0,465	0,432	0,437



**Figura 1.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias (cm) da borda da peça. Medida realizada sobre peças queimadas.

**Tabela 2.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias (cm) da borda da peça. Medidas sobre peças queimadas.

Distância da borda da peça (cm)	0,5 cm	1,0 cm	2,0 cm	4,0 cm	6,0 cm	10,0 cm
Cristalina	0,326	0,313	0,314	0,316	0,316	0,320
Engobe	0,146	0,139	0,131	0,133	0,126	0,119
Total	0,472	0,452	0,445	0,449	0,442	0,439



**Figura 2.** Dados de partida em diferentes distâncias das bordas.

camada, em diferentes distâncias da borda, conforme representa-se na Tabela 1.

Com o objetivo de se observar as diferenças de camada em outras distâncias da borda e comprovar a evolução, mediram-se outras peças a diferentes distâncias da borda (Tabela 2).

Os valores absolutos entre ambas populações de peças não tem nenhum valor comparativo já que trata-se de dados experimentais de distintas linhas de produção.

São observadas, no entanto, uma série de tendências:

- As peças apresentam um máximo de acúmulo de esmalte total ao redor de 1,5 cm;
- Parte-se de valores baixos (correspondendo a zona do chanfro), se produz um máximo ao redor dos 1,5-2,0 cm e posteriormente a espessura da camada cai paulatinamente até os 3-4 cm para subir ligeiramente e estabilizar;
- As peças medidas apresentam um máximo no início, próximo da borda, para posteriormente diminuir paulatinamente, apresentando uma ligeira inflexão nos 2-3 cm;
- Assim pois, o principal acúmulo se produz antes dos 3 cm a partir da borda para, posteriormente, permanecer mais ou menos constante, com uma ligeira inflexão a 2-3cm, coincidindo com a zona que visualmente se vê “cortada” e na zona denominada “moldura de TV”;
- Em ambos os casos e em consonância com o tipo de aplicação, a camada de cristalina é muito superior à de engobe;
- As diferenças de espessura a diferentes distâncias da borda, são menores no caso do engobe do que no caso do vidrado. Este dado, tomado como diferença percentual para se tornar comparativo com o da cristalina, é de cerca de 30% na cristalina e de até 17% no caso do engobe. O que implica em um melhor empacotamento no caso do engobe. Além disso, deve-se somar o fato de que o engobe é aplicado sobre a peça quente (o que diminui a tensão superficial do engobe), ao passo que a cristalina é aplicada sobre o engobe em menor temperatura (diminuindo menos a TS);
- Estas diferenças são medidas sobre a peça queimada;
- Tendo em conta que a diferença de espessura da camada total de esmalte entre a peça crua e queimada é de cerca de 0,5 mm, podemos afirmar que as diferenças de altura apresentadas na superfície são:
  - Superfície crua a serigrafar: diferenças de 0,3 mm quando toma-se a parte mais alta com relação ao trecho reto e que realmente pode corresponder ao acúmulo de esmalte;
  - Superfície queimada a polir ou chanfrar: Diferenças de até 0,2 mm tomando-se o chanfro e 0,04 mm tomando-se a partir do trecho reto e que real-

mente pode ser assumido como acúmulo de esmalte.

Estes são os dados de partida de diferentes espessuras de camada tomados da produção industrial e sobre os quais serão feitas comparações para avaliar a melhora do problema.

Como conclusão desta primeira etapa de dados pode-se dizer:

- A superfície esmaltada não é plana;
- Apresenta diferenças de até 0,3 mm no melhor dos casos;
- Esta diferença é consequência do acúmulo de esmalte nas redondezas das bordas da peça.

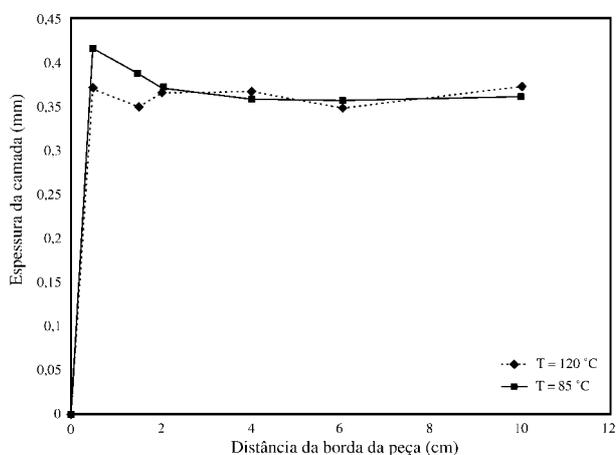
#### a.2) Diferenças de espessura da camada a várias distâncias da borda da peça queimada (diferentes condições de aplicação):

Com o objetivo de verificar fatores determinantes no surgimento do maior ou menor acúmulo de esmalte nas laterais, foram confeccionadas peças industriais em diferentes condições:

- Diferentes temperaturas na peça a esmaltar;
- Diferentes quantidades de esmalte a ser aplicada sobre a peça;
- Diferentes rugosidades da superfície a esmaltar.

**Tabela 3.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias da borda da peça. Medidas sobre peças queimadas (diferentes temperaturas das peças a esmaltar).

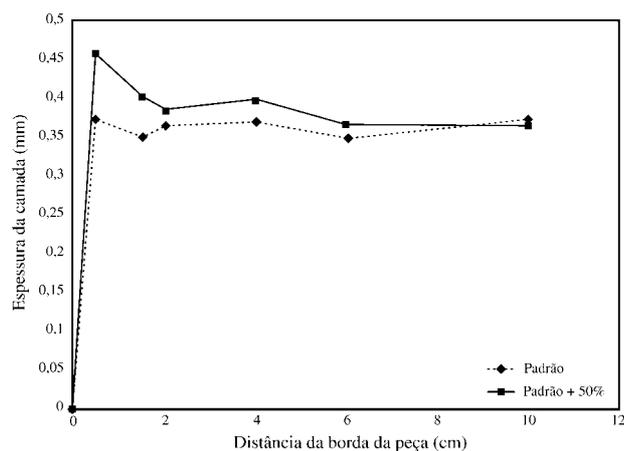
Distância da borda da peça (cm)	0,5 cm	1,5 cm	2 cm	4 cm	6 cm	10 cm
120 °C	0,372	0,351	0,365	0,369	0,348	0,372
85 °C	0,418	0,387	0,369	0,359	0,359	0,362



**Figura 3.** Efeitos da temperatura da peça sobre a espessura de camada em diferentes distâncias da borda da peça.

**Tabela 4.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias da borda da peça. Medidas sobre peças queimadas (diferentes quantidades de esmalte aplicadas).

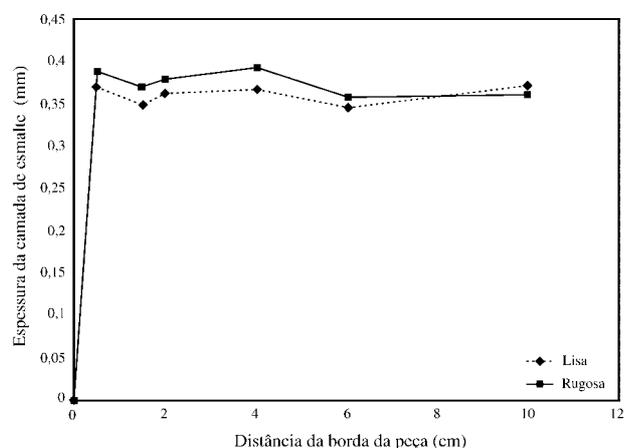
Distância da borda da peça (cm)	0,5 cm	1,5 cm	2 cm	4 cm	6 cm	10 cm
Std.	0,372	0,351	0,365	0,369	0,348	0,372
Std. + 50% em peso	0,457	0,401	0,382	0,397	0,365	0,365



**Figura 4.** Efeitos da quantidade de esmalte aplicada sobre a espessura de camada em diferentes distâncias da borda da peça.

**Tabela 5.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias da borda da peça. Medidas sobre peças queimadas (diferentes rugosidades da superfície a esmaltar).

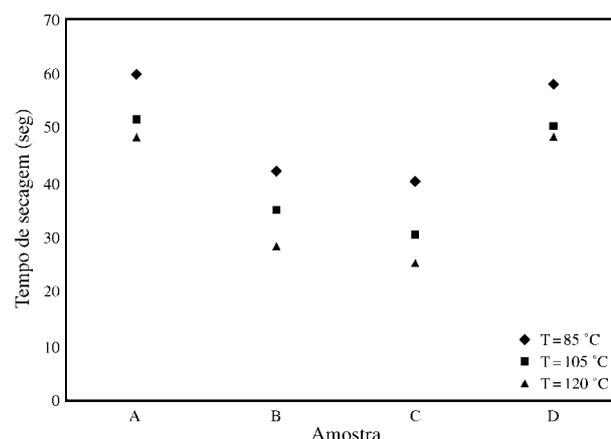
Distância da borda da peça (cm)	0,5 cm	1,5 cm	2 cm	4 cm	6 cm	10 cm
Lisa	0,372	0,351	0,365	0,369	0,348	0,372
Rugosa	0,389	0,372	0,380	0,393	0,358	0,362



**Figura 5.** Efeitos da rugosidade da superfície a esmaltar sobre a espessura de camada em diferentes distâncias da borda da peça.

**Tabela 6.** Valores de velocidade de secagem da camada de esmalte para diferentes suspensões utilizadas (engobes e cristalinas).

Suspensão	Densidade (Kg/l)	Viscosidade Ford 4 mm (s)	Melhora do tempo de secagem (s)
Engobe padrão	1,85	56	-
Cristalina 18	1,83	105	-
Cristalina 42	1,84	86	-
Engobe c/ "aditivo"	1,87	45	8
Cristalina c/ "aditivo"	1,84	95	11
Cristalina "aditivo"	1,83	69	16



**Figura 6.** Tempo de secagem para peças em diferentes temperaturas.

Dos dados presentes nas Tabelas 3, 4 e 5, conclui-se que:

- » A temperatura da superfície da peça a esmaltar tem uma marcante influência sobre a camada de esmalte depositada. Conforme aumenta-se a temperatura, diminui-se a espessura da camada esmaltada;
- Esta variação com a temperatura é tão importante quanto à variação habitual de camada de esmalte depositada (modificações de ajuste);
- A variação de espessura da camada, associada às variações de temperatura da superfície a esmaltar será um fator de primeira magnitude nas oscilações do tom de fundo;
- A rugosidade da superfície tem uma influência marcante sobre a espessura da camada de esmalte;
- A rugosidade promove o incremento da camada de esmalte;
- A rugosidade tem uma influência similar às variações da quantidade de esmalte de cerca de 30% e terá um efeito direto na variação de tonalidade;
- Os modelos com borda irregular apresentam maior tendência ao acúmulo de esmalte;
- A rugosidade da superfície e a temperatura da mesma tem uma influência marcante sobre a espessura da camada depositada;

- Tendo em conta que as bordas das peças estão submetidas às maiores oscilações de temperatura e de rugosidade, serão os pontos de maior variabilidade de espessura da camada de esmalte em toda a peça.

### a.3) Velocidades de secagem da camada de engobe e/ou da cristalina aplicada

Também foram tomados como dados de partida, os tempos de secagem de uma camada de esmalte depositada sobre a peça. O ensaio foi realizado com as suspensões (engobe e cristalina) utilizados na produção, denominados

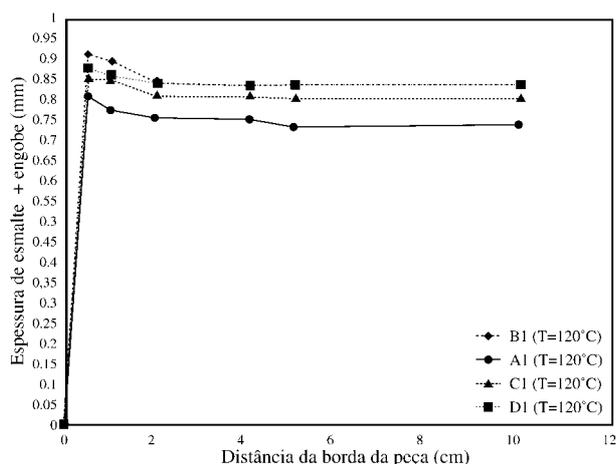


Figura 7. Peças A1, B1, C1 e D1.

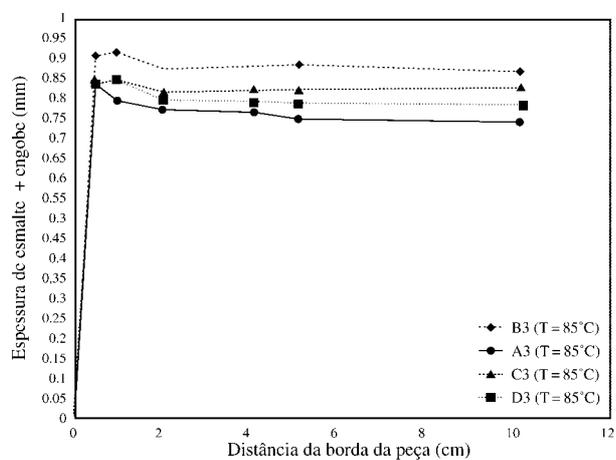


Figura 8. Peças A3, B3, C3 e D3.

std. e com as mesmas suspensões em que substitui-se a carga de aditivos por uma nova carga, de acordo com os objetivos do estudo.

Este ensaio foi realizado em laboratório, mediante a aplicação do esmalte em binil sobre a peça previamente aquecida. A aplicação é realizada sobre superfície regular e à mesma temperatura, medindo-se o tempo (em segundos) necessário para se observar a superfície completamente seca.

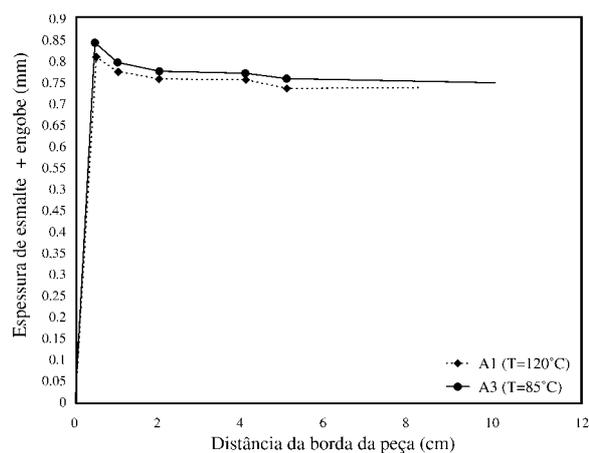


Figura 9. Peças A1 e A3.

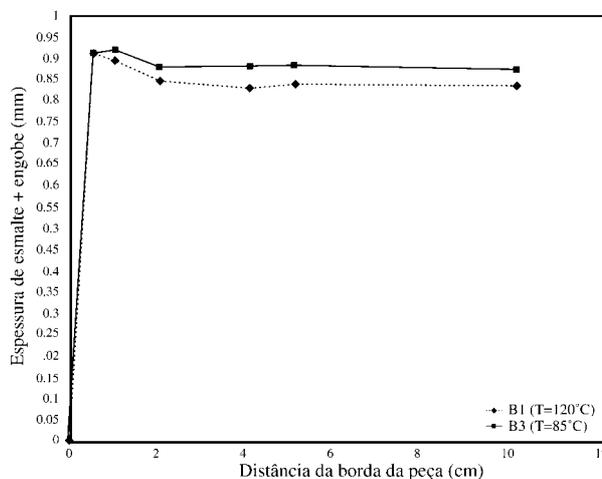


Figura 10. Peças B1 e B3.

Tabela 7. Tempo de secagem (segundos). Peças em diferentes temperaturas. Influência da carga de aditivos (aplicação de 20 g de engobe e 90 g de cristalina em peça 20 x 20 cm).

Temperatura da peça na aplicação (tempo de secagem)	D (Kg/l)	V (s)	125 °C	105 °C	85 °C
			1	2	3
A. Engobe Std. + cristalina std.	1,88 + 1,84	28 + 105	48	52	60
B. Engobe Std. + cristalina com “aditivo”	1,88 + 1,86	28 + 95	28	35	42
C. Engobe com “aditivo” + cristalina com “aditivo”	1,90 + 1,86	35 + 95	25	30	40
D. Engobe com “aditivo” + cristalina std.	1,90 + 1,86	35 + 100	48	50	58

- Observa-se uma notável melhora na velocidade de secagem com a introdução dos aditivos;
- Tendo em conta que para condições habituais de aplicação industrial (80 a 90 °C de temperatura da peça e cerca de 20 g de engobe e 90 g de cristalina em formato de 20 x 20 cm para se obter produtos de falso polimento) os tempos de secagem oscilam ao redor dos 60 segundos, é possível reduzi-lo em cerca de 30 a 40% e chegar a 45 segundos.

### b) Dados De Testes Industriais. Testes De Linha

#### b.1) Tempo de secagem. Experiência 1

Controlou-se o tempo de secagem de barbotinas obtidas industrialmente.

Utilizou-se as barbotinas empregadas habitualmente na produção (denominadas std.) e as mesmas após a substituição dos aditivos por novas cargas propostas.

Tais suspensões foram aplicadas sobre peças em diferentes temperaturas:

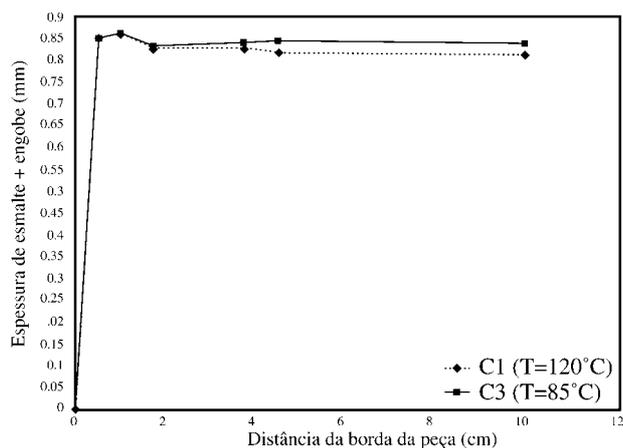


Figura 11. Peças C1 e C3.

- Pode-se observar que o tempo de secagem vem controlado fundamentalmente pela cristalina, em consequência da maior quantidade aplicada;
- Pode-se observar que os tempos são reduzidos drasticamente com a introdução dos aditivos na cristalina. Passa-se de um tempo total de secagem de 58 a 60 segundos para 40 a 42 segundos, com a peça a uma temperatura de 85°C;
- A diminuição é ainda maior para peças em temperaturas superiores.

#### b.2) Espessura da camada, em distintas distâncias da borda da peça, para as peças obtidas industrialmente no teste anterior

É possível observar as seguintes tendências:

- A incorporação dos aditivos, tanto no esmalte como no engobe, acelera o tempo de secagem;
- A incorporação de aditivos promove o aumento da espessura da camada aplicada;

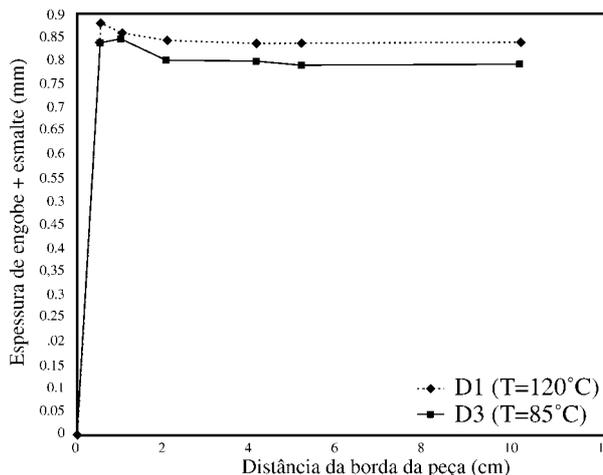


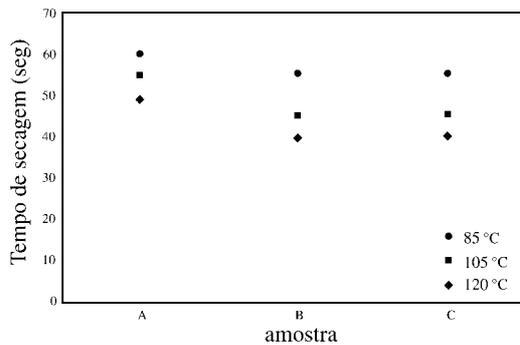
Figura 12. Peças D1 e D3.

Tabela 8. Espessura das camadas de engobe e cristalina em diferentes distâncias da borda da peça. Medida realizadas sobre peças queimadas (aditivos sobre os esmaltes). Ver Fig. 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

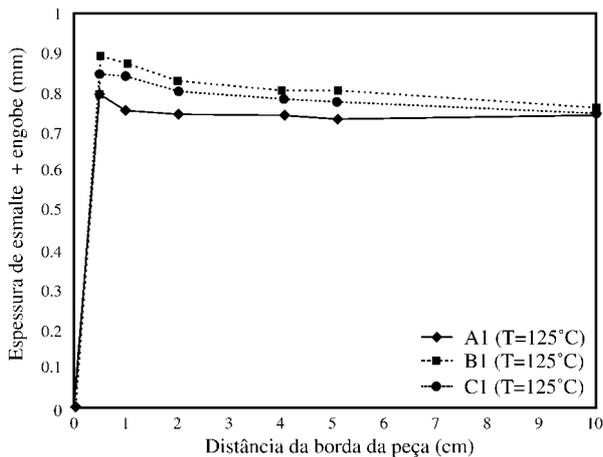
Distância da borda da peça	0,5 cm		1,0 cm		2 cm		4 cm		5 cm		10 cm	
	Engobe	Esmalte										
A1	0,138	0,670	0,138	0,637	0,127	0,630	0,138	0,617	0,123	0,611	0,131	0,611
A3	0,164	0,676	0,157	0,637	0,157	0,617	0,157	0,611	0,151	0,604	0,151	0,597
B1	0,170	0,740	0,160	0,735	0,170	0,676	0,161	0,668	0,169	0,670	0,167	0,671
B3	0,171	0,742	0,164	0,755	0,157	0,722	0,164	0,719	0,167	0,719	0,164	0,709
C1	0,170	0,683	0,164	0,689	0,170	0,643	0,170	0,644	0,170	0,637	0,169	0,637
C3	0,171	0,683	0,171	0,686	0,179	0,650	0,177	0,647	0,183	0,647	0,180	0,649
D1	0,170	0,706	0,170	0,689	0,183	0,657	0,180	0,653	0,184	0,653	0,183	0,657
D3	0,183	0,657	0,177	0,676	0,164	0,637	0,170	0,627	0,170	0,621	0,171	0,617

**Tabela 9.** Tempo de secagem. Peças em diferentes temperaturas. Influência da carga de aditivos (aplicação de 20 g de engobe e 90 g de cristalina em peça de 20 x 20 cm).

Temperatura da peça na aplicação (tempo de secagem)	D (Kg/l)	V (s)	125 °C	105 °C	85 °C
			1	2	3
A: Engobe + Cristalina	1,89 + 1,84	37 + 100	50	55	60
B: Engobe com “aditivo” + Cristalina	1,90 + 1,84	36 + 100	40	45	55
C: Engobe com “aditivo” + Cristalina com “aditivo”	1,90 + 1,84	35 + 90	40	45	55



**Figura 13.** Tempo de secagem para peças em diferentes temperaturas.



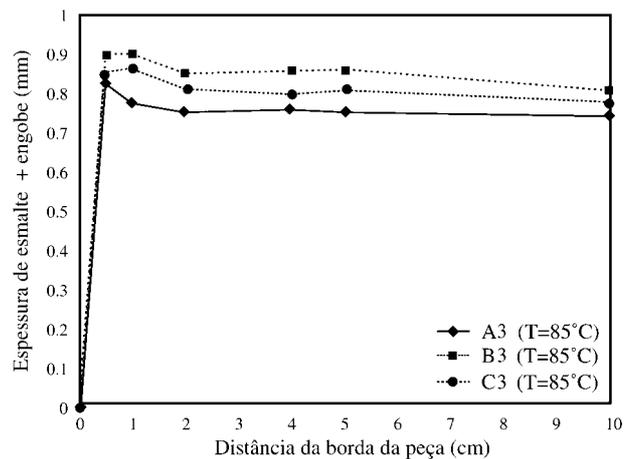
**Figura 14.** Peças A1 (aditivo no engobe) e C1 (aditivos no engobe e na cristalina).

- Observa-se, para uma mesma incorporação de aditivos, que a espessura da camada é maior para temperaturas menores, ao passo que a espessura da camada é maior com a peça mais fria;
- O fato descrito no item anterior tem sua influência reduzida pela incorporação de aditivos, com relação à peça padrão;
- As diferenças de espessura da camada são reduzidas com a incorporação de aditivos.

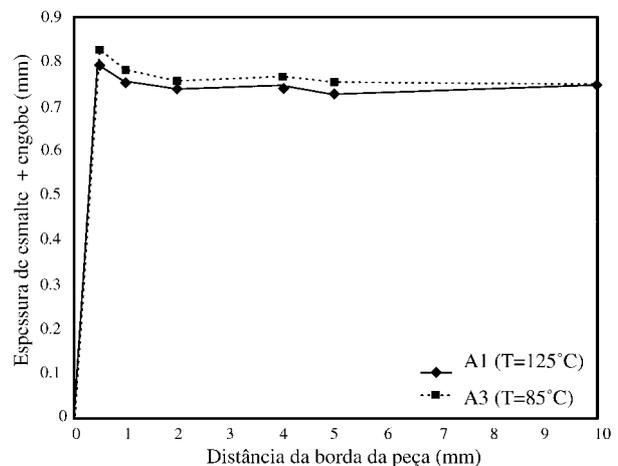
### b.3) Tempo de secagem. Experiência 2.

Controlou-se o tempo de secagem de barbotinas obtidas industrialmente.

Utilizou-se barbotinas empregadas habitualmente na produção (denominadas std.) e as mesmas após a substituição da carga de aditivos por novos propostos, diferentes daqueles indicados na Experiência 1.



**Figura 15.** Peças A3 (aditivos no engobe) e C3 (aditivos no engobe e na cristalina).



**Figuras 16.** Peças A1 e A3 (std.).

Tais suspensões foram aplicadas sobre peças em diferentes temperaturas.

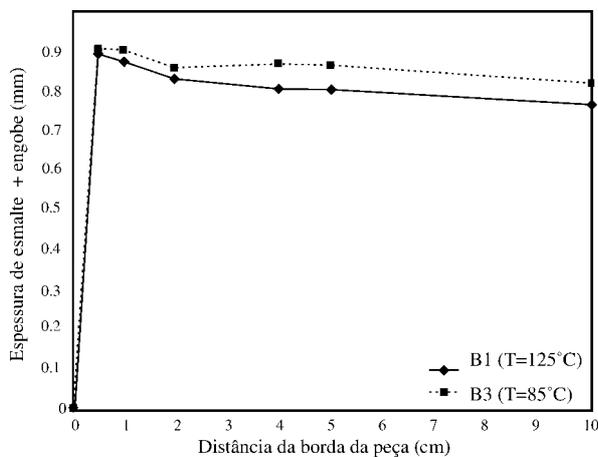
### b.4) Espessura da camada, em distintas distâncias da borda da peça, para as peças obtidas industrialmente no teste anterior.

Foram observadas as seguintes tendências:

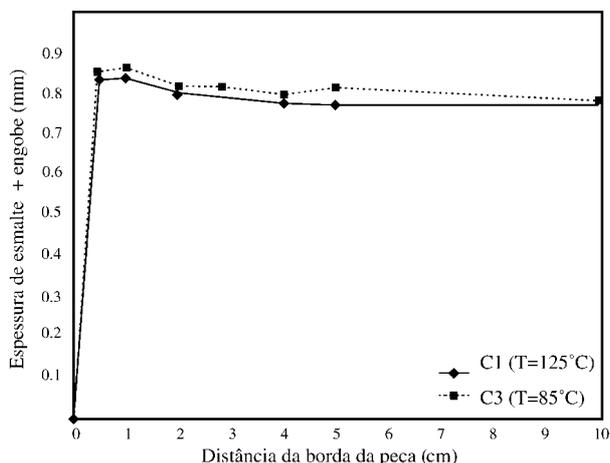
- A incorporação dos aditivos, tanto no esmalte como no engobe, acelera o tempo de secagem, muito embora menos que no caso da diminuição da temperatura;
- A incorporação dos aditivos promove o aumento da espessura da camada de engobe;

**Tabela 10.** Espessura da camada de engobe e cristalina em diferentes distâncias da borda da peça. Medidas realizadas sobre peças queimadas (aditivos sobre esmaltes).

Distância da borda da peça	0,5 cm		1,0 cm		2 cm		4 cm		5 cm		10 cm	
	Engobe	Esmalte										
A1	0,134	0,660	0,132	0,620	0,120	0,622	0,132	0,608	0,120	0,609	0,130	0,609
A3	0,160	0,666	0,150	0,627	0,150	0,605	0,150	0,608	0,149	0,602	0,149	0,592
B1	0,164	0,730	0,158	0,715	0,165	0,666	0,149	0,653	0,160	0,640	0,152	0,601
B3	0,164	0,740	0,161	0,742	0,152	0,701	0,162	0,700	0,157	0,701	0,140	0,666
C1	0,172	0,677	0,164	0,682	0,165	0,639	0,170	0,614	0,168	0,608	0,160	0,607
C3	0,177	0,680	0,177	0,694	0,168	0,650	0,174	0,625	0,180	0,631	0,165	0,611

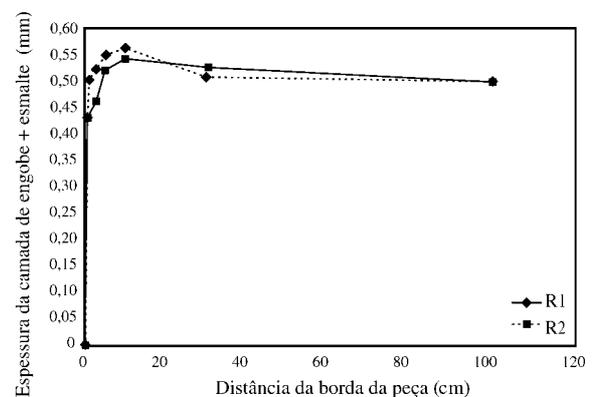


**Figura 17.** Peças B1 e B3 (std.).

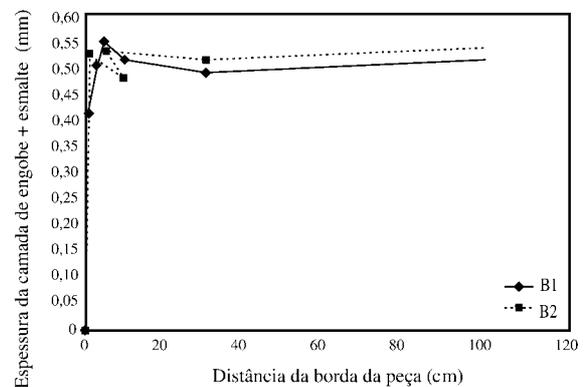


**Figura 18.** Peças C1 e C3 (aditivos no engobe e na cristalina).

- Observa-se para uma mesma proporção de aditivos, que a espessura da camada é maior para temperaturas inferiores, ou seja, a espessura da camada é maior com a peça mais fria;
- O fato anterior é menos evidente quando faz-se a incorporação de aditivos, em relação à peça padrão;



**Figura 19.** Variação de espessura de camada com a forma do chanfro.



**Figura 20.** Variação da espessura de camada com a forma do chanfro.

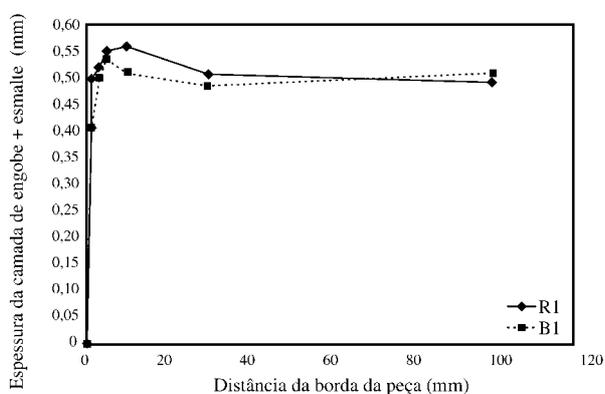
**Tabela 11.** Variação de tonalidade (L, a, b) com a variação da temperatura da peça a esmaltar (aplicação constante). (Espessura de camada medida no ponto de medida da cor, a 10 mm da borda).

Temperatura (°C)	Espessura da camada (mm)	L	a	b	$\Delta E$
85	0,806	87,6	2,76	7,34	-
100	0,758	88,1	2,59	7,14	0,56
120	0,714	87,8	2,60	7,08	0,60

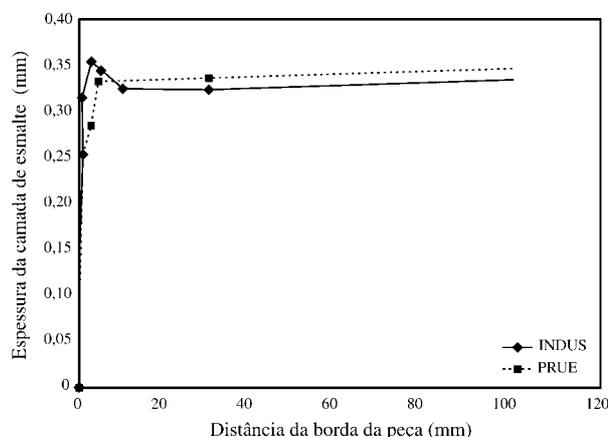
**Tabela 12.** Variação da espessura da camada. Peças queimadas com diferentes formas do chanfro. Diferentes distâncias da borda (aplicação constante).

Distância da borda da peça	1,0 mm		3,0 mm		5,0 mm		10 mm		30 mm		100 mm	
	Engobe	Esmalte										
R1	0,20	0,30	0,15	0,37	0,16	0,39	0,16	0,40	0,14	0,37	0,14	0,36
R2	0,14	0,29	0,15	0,31	0,18	0,34	0,17	0,37	0,14	0,38	0,13	0,37
B1	0,16	0,25	0,16	0,34	0,13	0,41	0,14	0,37	0,14	0,35	0,13	0,38
B2	0,20	0,32	0,18	0,32	0,17	0,36	0,16	0,32	0,13	0,38	0,13	0,39
Industr.	0,12	0,32	0,16	0,36	0,13	0,35	0,16	0,33	0,14	0,33	0,12	0,34
Prue	0,15	0,26	0,16	0,29	0,17	0,34	0,16	0,33	0,16	0,34	0,13	0,34

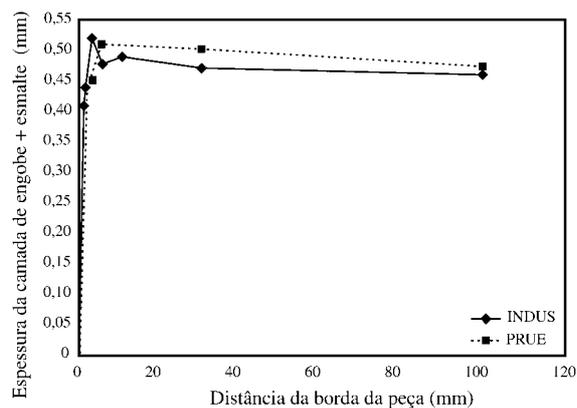
R: Massa vermelha; 1: Lado cortado reto; 2: Lado chanfrado normal; Industr.: Produção industrial habitual; Prue: Produção industrial com a introdução de aditivos.



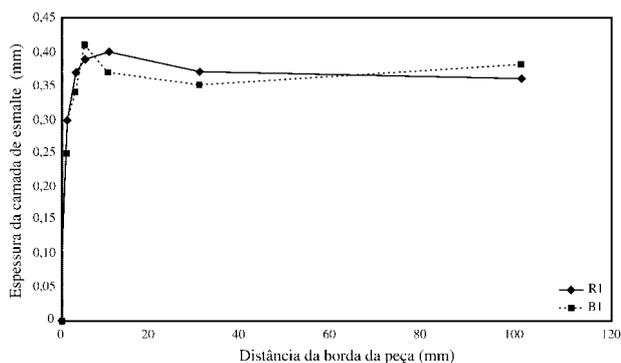
**Figura 21.** Variação da espessura de camada com a forma do chanfro.



**Figura 23.** Variação de espessura de camada na massa vermelha.



**Figura 22.** Variação de espessura de camada com a forma do chanfro.



**Figura 24.** Variação da espessura da camada com a forma do chanfro.

- As diferenças de espessura da camada são reduzidas com a incorporação de aditivos.

#### b.5) Influência sobre a tonalidade da peça

Tendo em vista os resultados obtidos, mediu-se a tonalidade das peças por colorimetria (L, a, b) com o objetivo de determinar-se as possíveis diferenças de tonalidade relacionadas com as variações de temperatura da peça.

Esta medida vem justificada pelo fato de que para uma mesma aplicação std., são produzidas diversas espessuras de camada em razão da variação de temperatura da peça.

- Observa-se que a peça mais fria apresenta uma maior espessura de camada;
- As peças mais quentes, que secam antes, apresentam menor espessura de camada e tonalidade com menor participação de amarelo;

- As peças que demoram mais a secar, tornam-se mais amarelas. Este dado já vinha sendo observado na prática e foi constatado experimentalmente;
- As variações são pouco significativas, visto que requer-se grandes mudanças de temperatura (espessura de camada) para que ocorra variação de tonalidade.

#### b.6) Influência da forma do chanfro lateral

Com a finalidade de se observar a influência da forma do chanfro lateral sobre o acúmulo de esmalte nesta região, foram preparadas peças industriais em que a lateral era de chanfro normal e outras com o lado paralelo reto (cortado sobre a peça crua).

Com relação aos dados obtidos na linha durante o teste industrial, verificou-se:

- Diminuição de 15 a 20% do tempo de secagem com a introdução do aditivo estudado;
- Pode-se observar as seguintes tendências:
- Produção de maior acúmulo na região próxima da borda cortada reta que na mesma região para o lado chanfrado;
- Menor espessura de camada para a massa branca (peças esmaltadas sucessivamente);
- A introdução de aditivos produz os efeitos já vistos anteriormente;
- Ligeiro aumento de espessura da camada;
- Maior velocidade de secagem;
- Menor diferença de espessura de camada entre a lateral e o centro.

### Conclusões

Estudou-se a influência de alguns fatores sobre a presença de uma maior camada de esmalte nas bordas das peças esmaltadas:

- Quantidade de esmalte:
  - Parte-se de um mínimo na lateral e chega-se a um máximo a aproximadamente 1,5 a 2,0 cm da borda. Posteriormente existe uma depressão a aproximadamente 2 a 3 cm, que logo aumenta e mantém-se;
  - As diferenças de camada são menores no caso do engobe que na cristalina, devido ao melhor empacotamento obtido no primeiro;
  - O engobe é aplicado sobre uma superfície mais quente, o que promove uma redução de sua tensão superficial.
- Rugosidade da superfície:
  - A maior rugosidade da superfície acarreta em uma maior espessura de camada.

- Forma do chanfro:
  - Maior acúmulo, maior altura e maior amplitude de acúmulo de esmalte em peças de massa vermelha do que em peças de massa branca.
- Temperatura da peça na esmaltação:
  - A maior temperatura da peça acarreta em uma menor espessura de camada de esmalte.

Todas as conclusões anteriores evidenciam o fato de que existem diferenças quantificáveis na espessura da camada ao longo da peça e que podem originar os problemas mencionados durante a decoração ou posterior tratamento superficial da peça queimada, além da conseqüente variação da relação de espessura (esmalte / biscoito) nesta região que provoca uma maior tendência ao desenvolvimento de curvaturas. A relação de espessura esmalte / suporte é superior a 30% quando compara-se o corte a 5 cm da borda com um corte a 1 cm da borda.

Alguns dos fatores anteriores são variáveis, porque apresentaram oscilações de espessura de camada. Estes fatores são especialmente sensíveis nas bordas das peças, que é a região mais afetada.

A introdução de aditivos do tipo dispersante tensoativo tem efeitos marcantes sobre os seguintes fatores:

- Velocidade de secagem. Aumentam a velocidade de secagem;
- Constância de espessura da camada em diferentes temperaturas e rugosidades. Reduz as variações de camada conseqüentes das variações de temperatura da peça.

Os aditivos dispersantes tensoativos afetam a tensão superficial da barbotina e são recursos cômodos para estabilizar as suspensões de esmalte, do ponto de vista do fenômeno estudado, uma vez que incorporam as vantagens de uma secagem mais rápida com a ausência dos problemas relacionados.

### Referências Bibliográficas

1. Singer F. and Singer S.S. – *Industrial Ceramics* – Chapman & Hall.
2. Belda, A., Blasco A.; Montiel E.; Orts, M.J. – *Cerámica Información n° 161* (1993).
3. Escardino, A.; Amorós, J.L.; Negre, F.; Feliu, C. – *Taulells 3* (1985)
4. Corma, F.; Almazán, F.; Lucas, F.; Marco, J. Ros, J.L. – *Qualicer 96*.
5. Weiland, W.; Merz, R.; Bonk, K. *Interceram vol 40, n° 6* (1991).