

Variáveis do Processo de Decoração de Porcelanato Esmaltado via *rollprint* que Ocasionalmente Mudanças de Tonalidade – Parte I: A Análise

Felipe Alves^{a,b}, Cláudio de Oliveira Modesto^{b*}, Rogério Matias^a

^aEliane S.A. Revestimentos Cerâmicos, Unidade II, Rua Maximiliano Gaidzinski, 245, Cocal do Sul, SC, Brasil

^bInstituto Maximiliano Gaidzinski, Rua Dr. Edson Gaidzinski, 352, Cocal do Sul, SC, Brasil

*e-mail: claudio.modesto@eliane.com

Resumo: Visando analisar um dos problemas mais recorrentes na indústria cerâmica, que é a variação de tonalidade, foi realizado o presente estudo com foco nas variações de tonalidade ocasionadas pela alteração de densidade das tintas cerâmicas. Foram realizados mapeamentos de temperatura na linha produtiva em diferentes condições climáticas e analisados os aspectos relativos ao aumento da densidade nestas mesmas condições. Pode-se concluir que em dias quentes e com baixa umidade relativa do ar, o resfriamento na linha produtiva é menos eficiente, o que leva a tinta nestas condições a aumentar seu valor de densidade rapidamente, quando comparada a uma tinta analisada em dias frios e com alta umidade relativa do ar.

Palavras-chave: tonalidade, densidade, temperatura, serigrafia, tintas.

1. Introdução

Pode-se observar no cenário fabril das indústrias cerâmicas, que um dos maiores problemas que é vivenciado no dia-a-dia é a variação de tonalidade. O desafio que este problema proporciona é grande, pois a dificuldade se encontra em manter uma tonalidade constante durante todo o processo produtivo, de modo que se fabriquem lotes com grande metragem¹.

As denominadas “aberturas de tom” nos processos fabris, geram também outros inconvenientes para as empresas produtoras: não aceitação de fracionamento de lotes por parte do cliente, geração de pontas de estoque, aumento do custo de controle de estoque, aumento dos custos logísticos e em certos casos, o não cumprimento de exigências de clientes internacionais (que em muitos casos são rigorosos com relação à variação de tonalidade)¹.

Muitos dos parâmetros utilizados na fabricação de revestimentos cerâmicos devem ser levados em consideração na variação de tonalidade. São desde aspectos empíricos como a percepção da cor, até aspectos produtivos (qualidade/comportamento dos insumos e procedimentos adotados no processo de fabricação)¹.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é estudar as variáveis referentes ao comportamento das tintas segundo as condições dos ambientes de trabalho, procedimentos adotados e variações de temperatura no equipamento serigráfico, visando à aplicação de melhorias.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Agentes do processo que ocasionam aberturas de tom

Na indústria cerâmica tem-se alguns agentes que podem ocasionar aberturas de tonalidade devido às variações na preparação dos insumos, dos procedimentos adotados no método de trabalho com estes ou até mesmo em variações nas condições de queima durante o processo de fabricação. Entre os principais responsáveis pelas aberturas de tonalidade no processo de decoração estão os esmaltes, os engobes, o processo serigráfico propriamente dito e as tintas.

2.1.1. Esmaltes e engobes

Estes podem afetar de modo significativo as variações de tonalidade, ainda mais se a combinação de ambos gerar um contraste

com as tintas aplicadas, por não serem estáveis quando submetidos às condições de queima adversas. Portanto, utilizar engobes e esmaltes estáveis a certas mudanças de camada ou densidade podem auxiliar na redução do problema de variação de tonalidade¹.

Os engobes são os responsáveis por auxiliar no acoplamento entre esmalte-suporte e uniformizar a cor de fundo do revestimento cerâmico (ocultando possíveis variações de cor do suporte cerâmico sobre a tonalidade). Já os esmaltes têm como função impermeabilizar a parte superior do revestimento cerâmico e dar a textura e brilho adequados ao produto².

A etapa de preparação dos vidrados também pode ser responsável pelas aberturas de tom, devido ao resíduo de moagem do vidrado. Em função dos resíduos obtidos, os corantes presentes nas tintas podem se comportar de modos distintos durante a queima, por reagirem mais ou menos com os vidrados².

Com relação à aplicação dos vidrados, as variáveis que podem influenciar nas alterações de tonalidade são principalmente a camada de vidrado aplicada, sua densidade e viscosidade. As variações das camadas de vidrado podem interferir na cor do fundo; a densidade, por ser uma relação direta entre sólidos e água pode vir a alterar a cor do fundo durante a queima, devido à eliminação da água; por fim, a viscosidade pode vir a interferir na textura superficial do revestimento².

2.1.2. O Processo de serigrafia

Na cerâmica de revestimento, o processo serigráfico ainda ocorre geralmente por meio de impressão por contato¹. Os problemas de variação de tonalidade ocasionados por este método de impressão se encontram entre os maiores motivos de reclamação de clientes, devido ao aumento dos níveis de exigência e busca por produtos com melhor “design”. Em decorrência das variações de tonalidade ocasionadas pelo processo serigráfico, há um aumento na geração de lotes e nos custos logísticos, dificultando a venda e gerando menor lucro³.

Atualmente, vem ocorrendo o advento das impressoras digitais, que estão se tornando o método padrão para decoração em

revestimentos cerâmicos, por possibilitarem desenhos com melhor resolução e menores variações de tonalidade⁴.

2.1.2.1. Serigrafia via *Rollprint*

Este método de serigrafia se dá por meio de um cilindro de silicone com alvéolos dispersos em sua superfície (feitos por meio de incisão a laser, com o formato do desenho), com diâmetro e profundidade definidos segundo a resolução do desenho⁵, conforme demonstrado na Figura 1.

A respectiva tinta é bombeada a partir de uma vasca de trabalho até a parte superior do rolo serigráfico, que por meio de uma lâmina, força a tinta a preencher os alvéolos do rolo de forma homogênea; a tinta então é transferida do rolo serigráfico para as peças por meio de contato, gerando assim, o desenho desejado; a tinta remanescente do rolo, retorna para a vasca de trabalho por meio de tubulações, que transportam a tinta utilizando a força da gravidade⁵.

2.1.3. As tintas

As tintas são caracterizadas por darem a cor e reagirem quimicamente com o meio em que estão inseridas. No caso da cerâmica, elas são compostas por um fluxo vítreo (frita), um veículo orgânico suspensor e corante. Ou seja, as tintas cerâmicas são compostos que reagem e formam uma dissolução colorida em meio vítreo⁶.

As fritas utilizadas como bases serigráficas e os pigmentos são moídos de tal forma que alcancem a granulometria adequada, para que por intermédio do agente suspensor da tinta (veículo) se consiga um fluido compatível com o equipamento serigráfico a ser utilizado⁷.

Os veículos aplicados na indústria cerâmica normalmente são à base de polietilenoglicóis, caracterizados por serem bons lubrificadores e plastificantes, entretanto, não possuem grande poder de ligação. Para suprir esta característica, são empregados ligantes orgânicos do grupo dos álcoois: acetato de polivinil e/ou álcool polivinílico (popularmente conhecido como APV)⁷.

Durante as etapas de decoração, as tintas vêm modificando sua reologia de acordo com as variáveis produtivas. As condições ideais de trabalho, relativas à reologia destas tintas, é que trabalhem com alta viscosidade quando em repouso, a fim de evitar o gotejamento durante a decoração e com baixa viscosidade quando em movimento, o que aumenta a velocidade com que a tinta preenche os espaços vazios do aplicador serigráfico, aumentando também o passo da máquina⁷.

2.1.4. Alteração da reologia das tintas

2.1.4.1. Densidade

Em um aspecto geral, a densidade de um fluido é definida pela quantidade de sólidos presentes em uma suspensão. As variáveis de pressão e temperatura pouco afetam os valores de densidade dos líquidos quando estes são suspensões homogêneas em estado de repouso (o que não enquadra as tintas cerâmicas)⁸.

A densidade das tintas é um dos parâmetros decisivos nas variações de tonalidade dos revestimentos cerâmicos e convém trabalhar em um range de $\pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ para que não haja mudanças de tonalidade significativas. O controle de densidade pode se dar repondo quantidades de tinta nova e/ou retirando toda a tinta em uso¹.

As alterações na densidade com o decorrer do tempo podem se dar de duas formas: tanto pela captação de partículas de esmalte que impregnam no rolo, contaminando a tinta, quanto pela evaporação do veículo presente na tinta, devido ao contato do rolo com as peças quentes¹.

2.1.4.2. Viscosidade

O parâmetro de viscosidade indica a qualidade com que o desenho será serigrafado no revestimento. Viscosidades abaixo dos padrões adotados podem dar pouca definição ao desenho, enquanto

viscosidades acima dos padrões adotados podem dificultar na descarga da tinta sobre o revestimento e borrar o desenho. O ideal para o processo serigráfico é trabalhar com viscosidades próximas ao padrão fabril definido, para que não haja os problemas descritos⁹.

A viscosidade costuma aumentar no decorrer do tempo, devido aos mesmos motivos do aumento de densidade. Geralmente, faz-se uso de aditivos reguladores para controlar as condições de trabalho do veículo serigráfico⁹.

2.1.4.3. Tensão superficial

A variável que envolve a tensão superficial é definida pela quantidade de trabalho necessária para aumentar a área superficial de alguma substância no estado líquido ou sólido. Substâncias com alta tensão superficial possuem maior dificuldade para penetrar em poros ou alvéolos, pois necessitam de maior grau de trabalho para que consigam aumentar sua área superficial².

As tintas cerâmicas devem possuir uma tensão superficial relativamente baixa durante sua aplicação, para que consigam molhar adequadamente os espaços vazios presentes nos desenhos serigráficos, sem que haja falhas na serigrafia¹⁰.

3. Procedimentos e Métodos

Todos os procedimentos descritos a seguir foram realizados na Eliane S.A. Revestimentos Cerâmicos, na linha de produção 04 da Unidade II, com a referência A, de Bitola 60 cm x 60 cm.

3.1. Estabilidade do fundo

Para início dos estudos, foi feita a avaliação de estabilidade da tonalidade do fundo da referência estudada durante sua produção, a fim de verificar os ranges aceitáveis de trabalho, sem haver variações visuais de tonalidade do fundo.

Primeiramente, foram analisadas as influências das diferentes condições de queima na colorimetria do fundo da referência estudada. Foram coletadas 19 amostras durante a produção da referência, tomando-se o cuidado de conferir os parâmetros (camada, densidade e viscosidade) conforme ficha técnica do produto. A coleta das amostras se deu no período de dois meses de estudo, em dias aleatórios dentro do mesmo período. As condições de queima de cada amostra estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Estabilidade do Fundo.

Amostra	T.Q*	Ciclo (min.)
01	1207	42
02	1207	42
03	1207	42
04	1207	42
05	1200	39
06	1200	39
07	1204	39
08	1197	41
09	1198	40
10	1198	40
11	1201	42
12	1200	39
13	1197	39
14	1197	39
15	1197	39
17	1197	38
18	1200	39
19	1204	39

*Temperatura de Queima (°C).

Ao final desta etapa, as amostras que apresentaram os maiores e menores valores segundo as variações das coordenadas colorimétricas “Lh”, “ah”, “bh”, temperatura de queima e ciclo de queima, foram submetidas a análise de ΔE .

Posteriormente, foram realizadas variações nas condições de aplicação de esmalte e engobe (camada) com o objetivo de verificar o ΔE máximo que o fundo da referência em estudo poderia variar sem ocorrer alterações de tonalidade (com auxílio de espectrofotômetro BYK-Gardner GmbH). Foram coletadas 10 amostras, partindo do padrão fabril utilizado (150g de engobe e 120g de esmalte) e queimadas em temperatura e ciclo iguais (1200°C e 39 min.). As variações realizadas estão descritas na Tabela 2.

3.2. Variações de densidade entre tinta da vasca de trabalho e a tinta presente na serigráfica

Com o objetivo de verificar possíveis diferenças, foram avaliadas as densidades da tinta coletada na vasca de trabalho e da tinta coletada no topo do rolo de silicone (com auxílio de picnômetro) e realizadas medições de temperatura nos dois pontos de coleta de densidade (com auxílio de pirômetro óptico *Killtherm KM-550*). Os testes foram realizados com nível máximo de tinta na vasca de trabalho de 6000 mL. Ao final da coleta de dados, foram confeccionados gráficos de densidade *versus* tempo.

3.3. Variação de temperatura das peças na linha produtiva

Foram realizados três mapeamentos das condições de resfriamento das peças cerâmicas desde a saída do secador vertical (com *setpoint* padronizado em 210 °C) até a chegada das mesmas ao carro box. Os pontos de medição estão descritos na Figura 2.

Em cada um dos locais de medição foram avaliadas duas variáveis; a temperatura das peças (por meio de pirômetro já descrito) e a temperatura ambiente (com o auxílio de termômetro de mercúrio de marca *incoterm*). No ponto “APV”, foi medida a umidade relativa

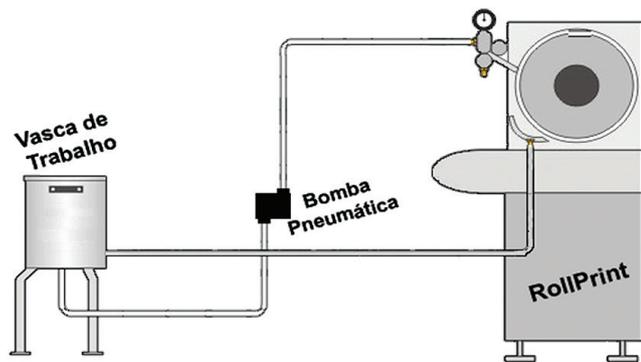


Figura 1. Esquemática de serigrafia via *Rollprint*.

Tabela 2. Variações de camada.

Amostra	Engobe (g)	Esmalte (g)
01	150	120
02	150	125
03	150	130
04	150	115
05	150	110
06	155	120
07	160	120
08	145	120
09	140	120
10	135	120

do ar da área de esmaltação\decoração com o auxílio de higrômetro da marca *SALCAS Bariga*.

As medições ocorreram em dias com climas variados, a fim de verificar possíveis variações no resfriamento das peças no decorrer da linha de produção. Cada medição foi realizada num período de 10 minutos em cada ponto (sendo realizada uma média aritmética das medições no período).

3.4. Análise do comportamento da densidade versus tempo

Logo após cada mapeamento de temperatura realizado (conforme descrito no item 3.3), foi realizada a medição da densidade *versus* tempo a cada 10 minutos, num período de uma hora. Este método possibilita relacionar a temperatura com que as peças chegam às serigráficas (obtido por meio do item 3.3) com as tendências de aumento de densidade das tintas.

4. Resultados e Discussões

Os primeiros resultados referentes ao estudo foram obtidos na análise de estabilidade do fundo da referência utilizada nos estudos em questão, por meio das variações nas condições de queima de cada uma das amostras coletadas, que estão representadas por meio da na Tabela 1 e das representações gráficas geradas por estas variações nas Figuras 3, 4 e 5.

Como se pode observar na Figura 3, as amostras que apresentaram as maiores variações de “Lh” foram das amostras 11 (maior valor) e 19 (menor valor). O ΔE entre as mesmas foi de 0,74, o que não exige uma “abertura de tonalidade”, tal como será visto posteriormente.

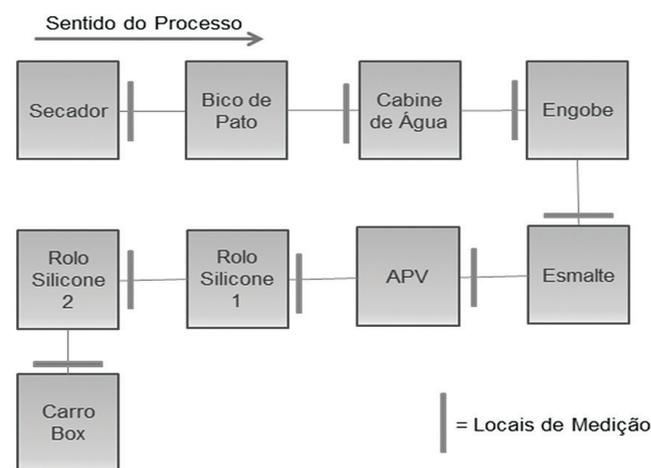


Figura 2. Locais de medição.

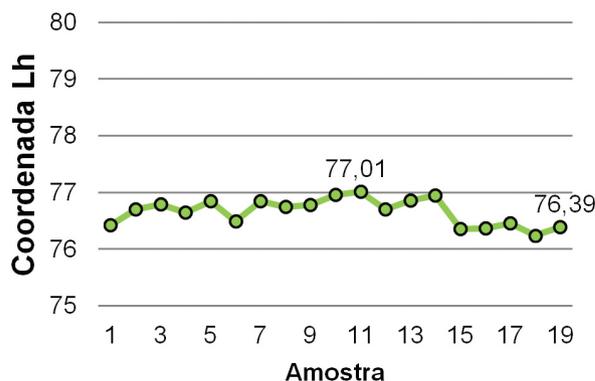


Figura 3. Variação de “Lh” durante Produção.

Por meio de uma análise da Figura 4, pode-se perceber que com relação às maiores e menores medidas em “bh” foram nas amostras 1 e 11, enquanto em “ah” foram nas amostras 13 e 15.

Com relação à “bh”, o ΔE obtido entre as amostras 1 e 12 foi de 0,65; em “ah”, o ΔE obtido entre as amostras 13 e 15 foi de 0,72. Os ΔE 's obtidos ainda não exigem abertura de tonalidade.

Observando a Figura 5, pode-se perceber que com relação à temperatura, as maiores variações foram nas amostras 4 (maior valor) e 16 (menor valor); com relação a estas amostras, o ΔE obtido foi de 0,46. Com relação ao ciclo de queima, as maiores variações foram observadas nas amostras 4 (maior valor) e 18 (menor valor); nestas, o ΔE obtido foi de 0,53.

Relativo às variações de camada realizadas, pode-se observar por meio da Tabela 3 que as variações de camada que acarretaram mudanças visuais de tonalidade foram as amostras 5, 7, 9 e 10. Estas

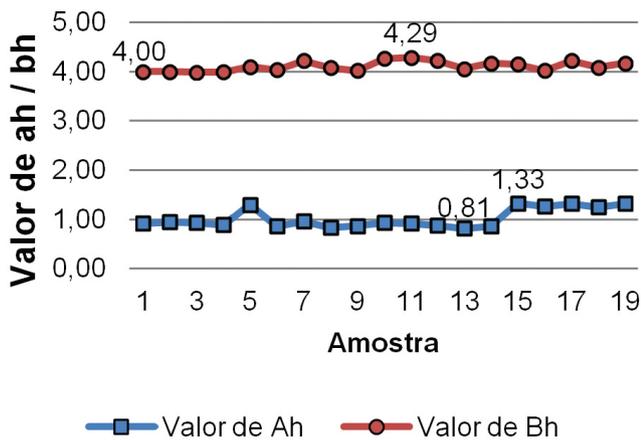


Figura 4. Variação de “ah” e “bh do fundo durante Produção.

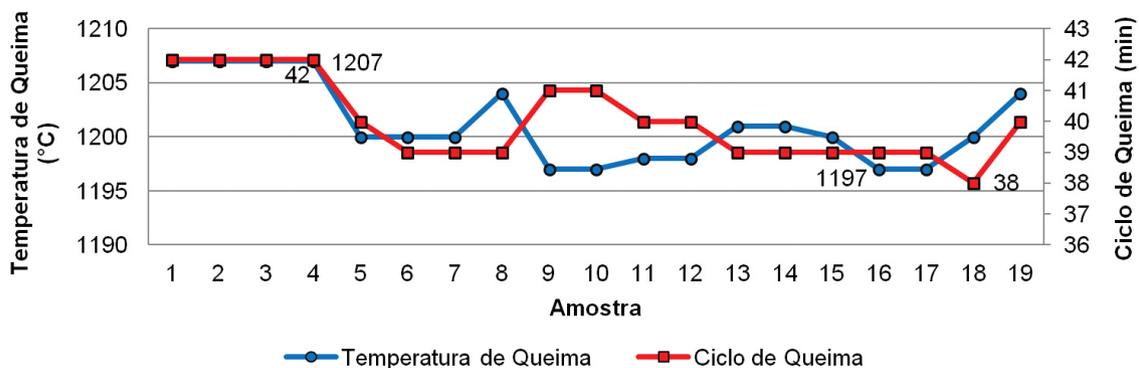


Figura 5. Variação de Temperatura e Ciclo.

Tabela 3. ΔE (Variação de Camada).

Amostra	C. Engobe (g)	C. Esmalte (g)	Lh	ah	bh	ΔE	OBS*
1	150	120	76,34	1,28	4,13	-	Conforme
2	150	125	76,49	1,46	4,34	0,31	Conforme
3	150	130	76,57	1,48	4,46	0,44	Conforme
4	150	115	75,99	1,05	4,00	0,44	Conforme
5	150	110	75,69	0,63	3,62	1,05	Fora do Tom
6	155	120	76,47	1,24	4,19	0,15	Conforme
7	160	120	77,12	1,77	4,00	0,93	Fora do Tom
8	145	120	76,2	1,37	4,26	0,21	Conforme
9	140	120	75,53	1,68	4,68	1,05	Fora do Tom
10	135	120	75,64	1,77	4,86	1,12	Fora do Tom

*Com relação à análise visual.

apresentaram ΔE superior a 0,90, mostrando que o fundo da referência estudada pode variar até valores próximos à 0,90 sem apresentar variações de tonalidade perceptíveis do fundo.

Pode-se concluir que, a tonalidade do fundo da referência estudada não foi afetada de modo significativo durante sua produção, a ponto de interferir no resultado dos estudos com as tintas.

Posteriormente, foram analisadas as possíveis variações que podem ocorrer entre a tinta da vasca de trabalho e a tinta que chega ao topo da serigráfica (após entrar em contato com o rolo). Devido a referência estudada ter aplicação de duas tintas, ambas foram analisadas, conforme mostra as Figuras 6 e 7.

Observando-se as Figuras 6 e 7, pode-se visualizar que o valor da densidade da tinta obtida no topo da serigráfica é aproximadamente 0,02 g/cm³ maior que a densidade obtida na vasca de trabalho; o que pode ser justificado pela evaporação de veículo devido ao aumento de temperatura da tinta (aproximadamente 8°C) pelo contato com a tela serigráfica aquecida pelas peças, o que eleva sua densidade. A contaminação dos rolos com esmalte também é uma variável a ser considerada no aumento da densidade.

A Figura 8 representa a tendência de resfriamento das peças cerâmicas ao percorrer a linha de esmaltação, segundo as variações do clima. Como se pode observar, o resfriamento se mostra mais lento em dias quentes e com pouca umidade; em contrapartida, em dias frios e com umidade relativa alta, as peças cerâmicas resfriam mais rápido.

Em relação ao aumento de densidade devido à temperatura com que as peças chegam às serigráficas, o que se pode observar por meio das Figuras 9 e 10 é que cada condição de clima trás consigo uma tendência diferente de aumento de densidade; em clima frio e com alta umidade, a densidade aumenta em média 0,02g/cm³ no período de uma hora, em dias quentes e com baixa umidade, a densidade sobe em média 0,04g/cm³ e em dias amenos, o aumento da densidade no período de uma hora fica em torno de 0,02g/cm³ à 0,03g/cm³.

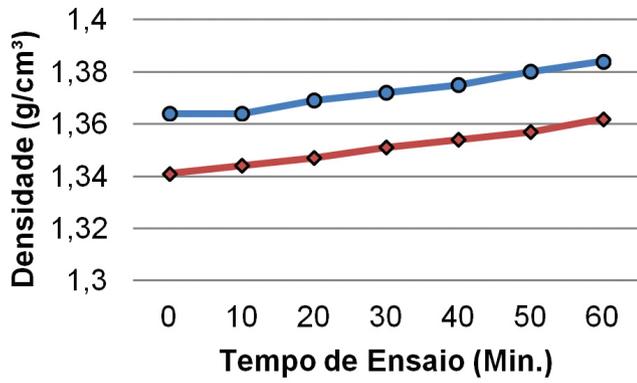


Figura 6. Densidade Vasca x Serig. (2ª Tinta).

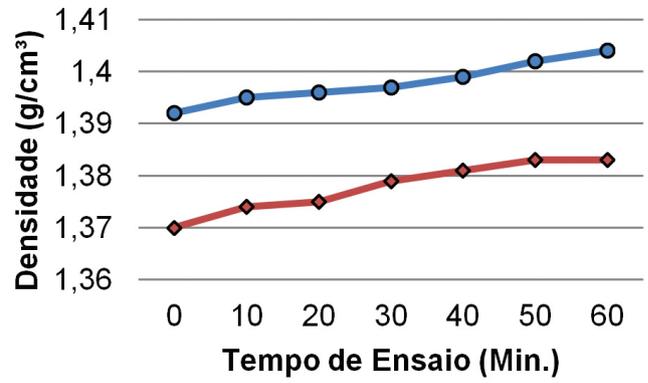


Figura 7. Densidade Vasca x Serig. (1ª Tinta).

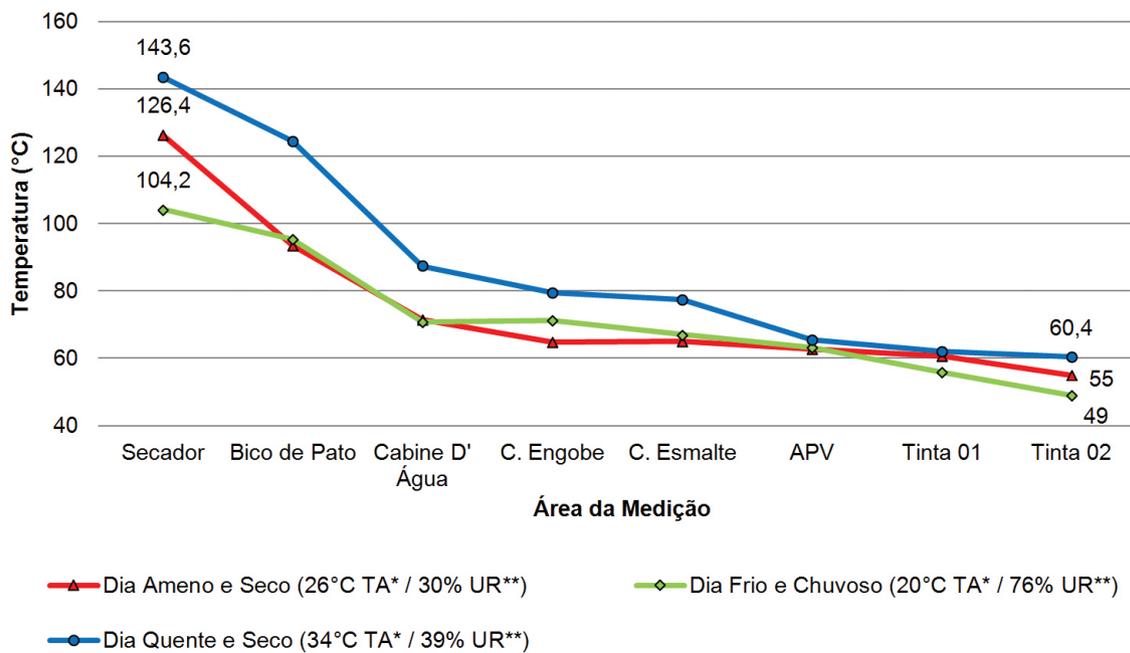


Figura 8. Variação de Temperatura das Peças na Linha de Produção. *Temperatura Ambiente (°C) / ** Umidade Relativa do Ar (%).

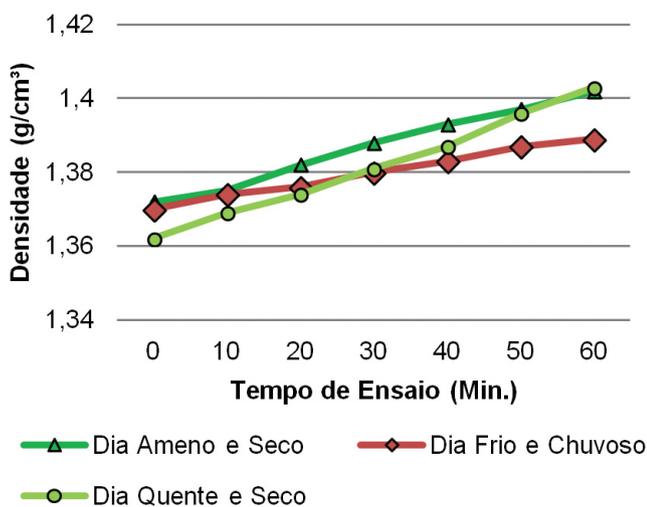


Figura 9. Aumento de Densidade (2ª Tinta).

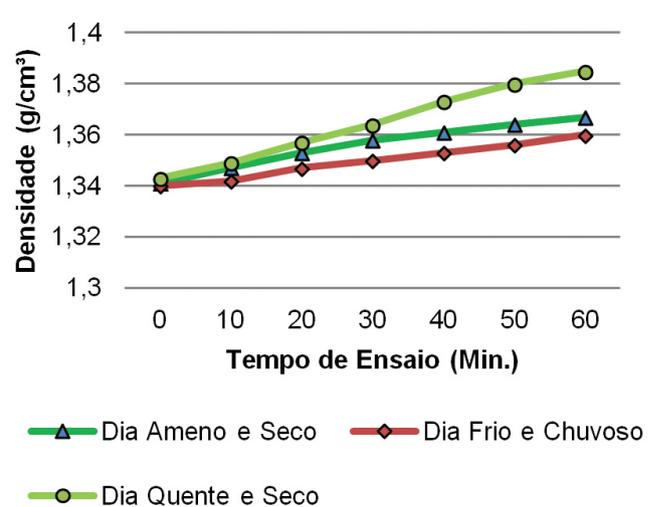


Figura 10. Aumento de Densidade (1ª Tinta).

Com relação à temperatura das serigráficas, a segunda serigráfica *Rollprint* faz com que a tinta aumente sua densidade mais rápido que a primeira *Rollprint*, devido à diferença média de temperatura entre as mesmas (24°C na primeira e 28°C na segunda); isso pode ser justificado pela velocidade com que cada uma serigrafou seu respectivo desenho (55 m/min. na primeira e 25 m/min. na segunda). A segunda serigráfica por ser mais lenta, fica mais tempo sobre a peça cerâmica, aquecendo mais o rolo e por consequência, aquecendo mais a tinta.

Com relação à viscosidade, foi constatado que mesmo com as variações de temperatura das tintas durante os estudos (entre 29°C e 23°C), a viscosidade não sofreu alterações significativas, variando entre 15 e 16 segundos.

5. Conclusão

Pode-se concluir ao término deste, que num aspecto geral, a variação de tonalidade de revestimentos cerâmicos ainda é um dos principais geradores de reclamações por parte dos clientes e um dos problemas que mais dificultam as vendas da área comercial.

Com relação ao trabalho prático, pode-se perceber que há variações entre a densidade da tinta obtida na vasca de trabalho que alimenta o equipamento serigráfico e na tinta que realmente chega ao revestimento, que é de aproximadamente 0,02 g/cm³. Conhecer esta diferença pode auxiliar em estudos posteriores sobre o controle da tonalidade envolvendo as tintas cerâmicas.

A temperatura do rolo serigráfico que é diretamente ligado à temperatura com que as peças passam pelo mesmo, possui grande influência nas tendências de aumento de densidade no decorrer do tempo de produção.

Dias frios e com alta umidade são facilitadores do controle de densidade, pois por resfriarem mais as peças na linha produtiva, fazem com que as mesmas transmitam menos calor para o rolo serigráfico e por consequência, fazem com que a tinta quente menos e evapore menos quantidade de veículo, dando maior estabilidade para a mesma.

Com relação à viscosidade, esta é pouco afetada pela variação de temperatura do rolo serigráfico.

6. Sugestões Para Trabalhos Posteriores

- Mudança de procedimento de trabalho (atualmente, a vasca de trabalho é alimentada com veículo serigráfico, para redução de

densidade da respectiva tinta), a fim de obter maior controle nas tendências de aumento de densidade;

- Elaborar mecanismos de resfriamento forçado na entrada dos equipamentos serigráficos;
- Elaborar mecanismos de resfriamento forçado na vasca de trabalho da serigráfica.

Referências

1. PESSERL, A. Considerações sobre a variação de tonalidades: problemas e oportunidades. *Cerâmica Industrial*, v. 4, n. 1-6, p. 07-10, 1999.
2. ABRIL FILHO, O. Esmaltes, esmaltação e variação de tonalidade. *Cerâmica Industrial*, v. 4, n. 1-6, p. 40-42, 1999.
3. MORAES, A. C. N. Controle da variação de tonalidade na decoração de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 1-6, p. 32-36, 1999.
4. HUTCHINGS, I. Impressão jato de tinta para decoração de revestimentos cerâmicos: tecnologia e oportunidades. *Cerâmica Industrial*, v. 15, n. 2, p. 7-14, 2010.
5. BERTO, A. M. Adequação das propriedades de tintas e esmaltes aos sistemas de aplicação e técnicas decorativas. Parte II: decoração. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 6, p. 7-13, 2000.
6. GIBERTONI, C. **Estudo da Previsibilidade de Tonalidades na Decoração em Vidrados Transparentes**. 2008. 177 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)-Departamento de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.
7. CAMPOS, J. M. et al. Influência de variáveis de material e de processo sobre a presença de tonalidades em revestimentos cerâmicos decorados através de cilindros de silicone (Técnica Rotocolor). *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 3, p. 18-28, 2002.
8. MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos de mecânica de fluidos**. Balderas: Limusa, 1999. 865 p.
9. PEREZ, F. Últimas Inovações em produtos para Impressão por ocografia/ocopolímero (Rotocolors/Sincro Digital/Silicone). *Cerâmica Industrial*, v. 12, n. 1-2, 2007.
10. COLONETTI, E.; ELYSEU, F. Tensão superficial e sua relação com a decoração em revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 14, n. 2, p. 28-32, 2009.