

Processos Produtivos em Revestimentos Cerâmicos: Variáveis de Processo e Possíveis Causas de Defeitos

Fernando Lucas Martín*

CV 20 Km., 8 - Apdo. 293, 12200 Onda (Castellón), Espanha

**e-mail: flucas@fritta.com*

Resumo: Toda empresa busca a obtenção de rentabilidade através de um investimento realizado. No setor de revestimentos cerâmicos, a rentabilidade deve ser obtida através de uma combinação de fatores que envolvem as exigências dos consumidores e as características técnicas e estéticas do produto. O presente artigo visa identificar, sob o ponto de vista da gestão produtiva, meios de se atingir a rentabilidade almejada considerando as peculiaridades da fabricação de revestimentos cerâmicos. Para isso, são analisadas as diversas etapas do processo de fabricação e apontadas as principais variáveis envolvidas, enfatizando suas contribuições sobre os defeitos de fabricação. Para finalizar, é realizada uma abordagem sobre os defeitos de fabricação mais comuns no setor de revestimentos, com indicações de suas causas prováveis e variáveis envolvidas em cada etapa do processo de fabricação.

Palavras-chave: *processo produtivo, defeitos de fabricação, revestimentos cerâmicos*

1. Introdução

O objetivo da presente conferência será inter-relacionar vários aspectos da fabricação cerâmica:

- 1 - processo produtivo;
- 2 - variáveis do processo;
- 3 - controle de variáveis do processo;
- 4 - problemas durante o processo produtivo;
- 5 - características do produto;
- 6 - defeitos do produto;
- 7 - produtividade; e
- 8 - rentabilidade.

Todos estes aspectos, que a princípio parecem diferentes, mantêm uma relação muito estreita entre todos eles, e vamos tentar relacioná-los de uma forma lógica.

Para isto, e ao contrário do que poderia parecer normal, vamos começar pelo final e, com uma forma de dedução simples, vamos chegar às mesmas bases do processo produtivo.

2. Desenvolvimento

De uma forma geral, o objetivo de uma empresa de produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos é obter rentabilidade no investimento realizado e para isto conta com:

- planificação empresarial;
- direção de operações;
- gestão financeira;
- gestão comercial; e
- gestão produtiva.

Vamos considerar aqui unicamente o aspecto da gestão produtiva.

Toda a gestão produtiva pode ser resumida em poucas palavras:

- oferecer o produto que o mercado solicita, com as características técnicas e estéticas adequadas a um preço tal que:
 - seja atrativo para o mercado;
 - seja rentável; e
 - seja satisfatório para o cliente durante seu uso.

Sem entrar em considerações quanto ao cumprimento de **normas de qualidade**, mas atendendo somente ao “senso comum” vamos comentar as características do pavimento e revestimento cerâmico do ponto de vista do comprador e usuário.

Felizmente, o setor cerâmico soube dar aos seus produtos um componente estético e de decoração, que tem contribuído para dar uma maior difusão à cerâmica plana. Este

já não é considerado somente como um elemento construtivo, com uma série de características técnicas, que ainda que o cliente não especialista em construção desconheça, pressupõe que deve cumprir.

É nossa obrigação quando oferecemos um produto ao mercado que esse produto reúna uma série de características.

2.1. Elemento construtivo

2.1.1. Características como elemento construtivo

- resistência mecânica (flexão);
- resistência ao impacto;
- resistência ao desgaste por abrasão;
- resistência ao risco;
- resistência ao ataque químico;
- resistência ao escorregamento;
- impermeabilidade;
- fácil limpeza;
- resistência a manchas;
- porosidade adequada (absorção de água);
- dilatação térmica;
- características dimensionais:
 - formato; e
 - espessura;
- estabilidade dimensional:
 - calibres;
 - variações de espessura;
 - falta de ortogonalidade;
 - luneta:
 - positiva; e
 - negativa;
 - planaridade;
- peso por unidade de superfície;
- relevo no tardo (verso);
- ausência de defeitos visíveis (fraturas nas pontas, trincas ...);
- ausência de defeitos ocultos ou de aparição tardia (trinca, lascamento, ...);
- características específicas: (resistência ao congelamento, mercados específicos, ...); e
- uniformidade e constância de características.

2.2. Elemento decorativo

2.2.1. Características como elemento decorativo

- formato;
- brilho;
- cor;
- textura;
- desenho como peça individual;
- desenho como conjunto;
- peças complementares, etc; e
- uniformidade e constância de características.

Devemos oferecer ao mercado um produto que, tanto estética como tecnicamente, reúna as características adequadas para dar satisfação ao cliente tanto na compra como para seu uso posterior, e ao mesmo tempo tem que ser um produto que seja competitivo no mercado, oferecendo uma lógica rentabilidade à nossa empresa.

Envolvemo-nos aqui com a base desta conferência, que é logicamente o **processo produtivo**.

3. Processo Produtivo

3.1. Objetivos do processo produtivo

- **quantitativos:** produção dos m² previstos;
- **qualitativos:** manutenção das características técnicas e estéticas dentro de valores ótimos; e
- **rentabilidade:** custos produtivos a um nível tal que tornem nosso produto competitivo no mercado.

É impossível aqui, em poucos minutos, tentar dar uma visão completa do processo produtivo, mas vamos tentar resumir-lo de uma forma breve, e nos deteremos um pouco mais em um aspecto que penso que vai ser interessante para todos nós, o qual é a análise lógica e a relação causa - efeito entre:

- defeitos do produto final.
 - problemas nas fases intermediárias do processo; e
 - variáveis do processo;

3.2. Fases do processo produtivo.

Não devemos nos esquecer o que em definitivo é a cerâmica, e que se vem perpetuando desde muitos séculos, o tratamento da argila pelo fogo para, esmaltada ou não, dar-lhe umas características técnicas de resistência e durabilidade, e outras estéticas, que a tem feito converter-se em uma das bases de nossa civilização.

Uma vez feita esta pequena introdução vamos detalhar as diversas fases de um processo produtivo típico.

Biqueima - preparação da massa; prensagem; secagem; 1ª queima; esmaltação; 2ª queima; classificação.

Monoqueima - preparação da massa; prensagem; secagem; esmaltação; queima; classificação.

Vamos considerar hoje unicamente o processo produtivo por monoqueima porque é um processo que está sendo implantado de uma forma rápida, e que supõe atualmente praticamente 100% da produção de pavimento, e uma parte importante e crescente da produção de revestimento.

De toda forma, as considerações que fazemos, são praticamente todas aplicáveis a ambos processos com pequenas variações.

Em cada fase do processo, o produto sofre uma mudança ou transformação que vai influenciar na fase seguinte de um modo muito importante.

Estamos, pois, diante de um processo produtivo no qual o produto adquire as características finais na última fase do processo, e essas características vêm determinadas por uma

série de variáveis que se inter-relacionam, e que não devemos tratar independentemente, senão como integrantes de um conjunto, e que nos vão ajudar, mediante seu controle contínuo, de modo a obter o produto com as características desejadas.

Vejam, pois, quais são as variáveis mais importantes de cada parte do processo e seu efeito sobre as outras fases do mesmo.

Minha intenção tem sido preparar uma tabela “aberta”, quer dizer, de tal forma que cada um possa, se for considerado interessante, completa-la continuamente com suas experiências pessoais, e utilizá-la para compreender melhor o processo, e melhorar assim o resultado da sua produção.

Considero também que, fazendo deste modo, como a cerâmica não é igual em todos os lugares, as matérias-primas e sobretudo as argilas são diferentes, portanto a importância que podem ter algumas variáveis é diferente em cada fábrica.

Por outro lado, o processo de produção cerâmico deve ser considerado como um processo de contínuo ajuste, quase auto-ajustável. Se utilizarmos um sistema de controle contínuo e estabelecermos relações causa – efeito, chegaremos a trabalhar com os valores das variáveis mais próximos dos valores ótimos e com tolerâncias cada vez menores, com a qual conseguiremos resultados melhores quantitativa e qualitativamente.

3.3. Variáveis a controlar

1. Preparação da massa

- 1.1. formulação;
- 1.2. recepção de matérias-primas;
 - 1.2.1. umidade;
 - 1.2.2. granulometria;
 - 1.2.3. calcimetria;
 - 1.2.4. cor;
 - 1.2.5. fundência;
 - 1.2.6. contração; e
 - 1.2.7. controles específicos de cada matéria-prima.
- 1.3. dosagem e moagem;
 - 1.3.1. pesagem da carga de cada moinho;
 - 1.3.2. tempo de moagem;
 - 1.3.3. rotações do moinho;
 - 1.3.4. densidade da barbotina;
 - 1.3.5. viscosidade da barbotina;
 - 1.3.6. resíduo a 45µm;
 - 1.3.7. calcimetria em resíduos a 45 e 100µm; e
 - 1.3.8. nível dos meios de moagem nos moinhos.
- 1.4. armazenamento de barbotinas em tanques;
 - 1.4.1. densidade;
 - 1.4.2. viscosidade; e
 - 1.4.3. resíduo.
- 1.5. atomização;
 - 1.5.1. peneiramento da barbotina;
 - 1.5.2. pressão das bombas;

- 1.5.3. temperatura do ar na entrada;
- 1.5.4. nº e diâmetro da boquilha;
- 1.5.5. depressão interna do atomizador;
- 1.5.6. temperatura do ar na saída;
- 1.5.7. granulometria do atomizado;
- 1.5.8. umidade do atomizado;
- 1.5.9. temperatura de saída do atomizado;
- 1.5.10. transporte aos silos (controle da perda de umidade); e
- 1.5.11. tempo de homogeneização do atomizado nos silos.

2. Prensagem

- 2.1. atomização;
 - 2.1.1. granulometria do atomizado; e
 - 2.1.2. umidade do atomizado.
- 2.2. prensagem;
 - 2.2.1. ciclo (nº golpes/minuto);
 - 2.2.2. pressão específica;
 - 2.2.3. número de estampas;
 - 2.2.4. extração; e
 - 2.2.5. tabelas de prensagem: Umidade × Pressão.
- 2.3. peça prensada;
 - 2.3.1. compactação: densidade aparente ou penetrometria;
 - 2.3.2. espessura das peças;
 - 2.3.3. peso das peças; e
 - 2.3.4. resistência mecânica a verde.

3. Secagem

- 3.1. peça na entrada;
 - 3.1.1. umidade das peças na entrada.
- 3.2. secagem;
 - 3.2.1. ciclo de secagem (minutos);
 - 3.2.2. temperatura de trabalho; e
 - 3.2.3. temperatura de repouso.
- 3.3. peça na saída;
 - 3.3.1. umidade das peças na saída;
 - 3.3.2. temperatura das peças na saída;
 - 3.3.3. resistência mecânica a seco; e
 - 3.3.4. variações da umidade e temperatura segundo:
 - posição das peças na secagem; e
 - paradas na linha de esmaltação.

4. Esmaltação

- 4.1. preparação de esmaltes;
 - 4.1.1. formulação;
 - 4.1.2. pesagem e carga;
 - 4.1.3. moagem;
 - 4.1.4. densidade;
 - 4.1.5. viscosidade;
 - 4.1.6. granulometria;
 - 4.1.7. agitação;
 - 4.1.8. peneiramento;
 - 4.1.9. passagem pela separação magnética; e

- 4.1.10. preparação de tintas serigráficas.
- 4.2. aplicação de esmaltes;
 - 4.2.1. densidade;
 - 4.2.2. viscosidade;
 - 4.2.3. gramas/m²; e
 - 4.2.4. tempo de aplicação.

5. Queima

- 5.1. curva de temperatura;
- 5.2. curva de pressões; e
- 5.3. ciclo.

6. Classificação

- 6.1. avaliação das qualidades;
 - 6.1.1. por modelo;
 - 6.1.2. por máquina esmaltadora;
 - 6.1.3. por turno;
 - 6.1.4. por formato; e
 - 6.1.5. por forno.

7. Indicadores de qualidade

- 7.1. produtividade;
 - 7.1.1. rendimento útil de cada seção; e
 - 7.1.2. paradas em cada seção.
- 7.2. qualidade;
 - 7.2.1. estabelecimento de níveis de qualidade ótimos;
 - 7.2.2. resultados da qualidade segundo:
 - formatos;
 - séries; e
 - modelos.
 - 7.2.3. estudo estatístico de defeitos segundo:
 - formatos;
 - séries; e
 - modelos.
- 7.3. custos;
 - 7.3.1. estudo de custos reais = custos teóricos + custos de má qualidade;
 - 7.3.2. custos de má qualidade:
 - perdas de produtos em cada seção;
 - produto defeituoso separado na classificação; e
 - produto defeituoso que chega ao cliente como produto de qualidade.

O controle das variáveis do processo deverá ser:

- Rápido;
- Confiável;
- De imediata atuação sobre o processo se existirem desvios;
- Que permita melhorar o processo de forma contínua, otimizando:
 - Métodos de medida;
 - Frequência de medida;
 - Valores ótimos de variáveis; e
 - Tolerâncias.

Vejamus uma ficha típica de controle de variáveis:

Processo Produtivo

Fase do processo:	2 Prensa 2.1 Pó atomizado
Variável	: Umidade
Valor ótimo	: 5,2
Tolerância superior	: 5,5
Tolerância inferior	: 5,0
Frequência de controle	: 45 minutos e quando se muda de silo
Controle a ser realizado por	: Operário da prensa
Atuação no caso de desvio fora da tolerância:	<ul style="list-style-type: none"> - Avisar ao encarregado das prensas; - Mudar o silo de atomizado; - Modificar a pressão da prensagem para manter a compactação; - Controle de densidade aparente para comprovar a efetividade da modificação.
Influências sobre outras fases do processo:	<ul style="list-style-type: none"> - Umidade < Valor ótimo: <ul style="list-style-type: none"> - Diminui a compactação - Menor resistência mecânica - Trincas e quebras. - Melhora a desgaseificação - Umidade > Valor ótimo: <ul style="list-style-type: none"> - Maior resistência mecânica - Aumenta a compactação - Piora a desgaseificação
Influências sobre o produto final:	<ul style="list-style-type: none"> - Umidade < Valor ótimo: <ul style="list-style-type: none"> - Aparecimento de trincas e peças quebradas - Maior contração: menor calibre - Menor resistência mecânica - Maior porosidade - Umidade > Valor ótimo: <ul style="list-style-type: none"> - Menor contração: maior calibre - Furos e bolhas no esmalte - Coração negro - Maior resistência mecânica - Menor absorção

Dentro dos custos de má qualidade, estão os defeitos no produto final e os problemas nas fases intermediárias do processo.

É conveniente classificar os defeitos segundo alguns parâmetros:

- Frequência (% da produção com este defeito);
- Gravidade (classificação deste produto, apareça este defeito ou não);
- Facilidade de detecção na fábrica (probabilidade); e
- Facilidade de detecção pelo cliente (probabilidade).

O conjunto de todos estes parâmetros é o que nos deve fazer atuar e estabelecer uma ordem de prioridades em nossa atuação.

Para poder atuar de uma forma efetiva e metódica é necessário o estabelecimento de conexões causa – efeito, ten-

tando relacionar cada defeito com os desvios sobre os valores ótimos das variáveis que pensamos que possam afetar.

Uma das coisas mais difíceis em cerâmica é averiguar a origem dos defeitos. Muitas vezes não têm somente uma causa, mas são devidos à soma de vários pequenos desvios.

Nossa intenção foi de elaborar umas tabelas nas quais já estabelecemos algumas relações, mas que temos deixado em aberto, quer dizer, com a possibilidade de que cada um possa utilizar sua experiência profissional para completá-las ou modificá-las de acordo com seus critérios.

4. Classificação dos Defeitos

As tabelas que nós propomos pretendem relacionar cada defeito com as possíveis origens dentro do sistema produtivo, permitindo uma maior efetividade na resolução do mesmo.

Um aspecto a se ter em conta é que a classificação ou inspeção final, além dos possíveis erros humanos que se cometem e que podem ser minimizados com uma verificação posterior do material classificado, está comprovando uma série de parâmetros e defeitos, mas há outros como a trinca, resistência mecânica, etc., que unicamente podem ser comprovados por amostragem, considerando-se que é impossível fazê-lo em 100% das peças. Para poder confiar na qualidade do produto final devemos ter todo o processo muito controlado de forma contínua para evitar que alterações pontuais em variáveis dêem origem a peças defeituosas que não são detectadas na classificação e controle final e que, portanto, vão ocasionar problemas ao cliente.

4.1. Possíveis causas

A seguir apresentamos uma relação dos defeitos abordados neste trabalho. Na sequência, para cada um deles será apresentada uma tabela com suas características e causas mais prováveis.

1. Dimensionais

1.1. luneta;

- 1.2. falta de ortogonalidade;
- 1.3. calibre; e
- 1.4. curvatura.

2. Estruturais

- 2.1. trincas;
- 2.2. rupturas na esmaltação;
- 2.3. quebras nas pontas a cru;
- 2.4. quebra nas pontas queimado;
- 2.5. descascamento;
- 2.6. escorridos;
- 2.7. rupturas no forno;
- 2.8. variação da espessura;
- 2.9. esfoliamento/laminação;
- 2.10. pega no molde;
- 2.11. porosidade inadequada;
- 2.12. coração negro;
- 2.13. inchamento; e
- 2.14. explosões no forno.

3. Superficiais

- 3.1. trincas;
- 3.2. pequenas depressões;
- 3.3. trincas superficiais;
- 3.4. furos;
- 3.5. contaminação sobre o esmalte;
- 3.6. contaminação abaixo da superfície;
- 3.7. defeitos da serigrafia;
- 3.8. bolhas na superfície;
- 3.9. bolhas nas bordas;
- 3.10. grumos;
- 3.11. gotas de esmalte;
- 3.12. tons;
- 3.13. reprensados;
- 3.14. distribuição irregular do esmalte; e
- 3.15. superfície defeituosa do esmalte.

4. De aparecimento diferente

- 4.1. trinca tardia; e
- 4.2. eflorescências.

Possíveis Causas de Defeitos

Tipo de Defeito: 1. Dimensionais.

Defeito: 1.1. Luneta.

Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- elevado gradiente retração-temperatura: pouca estabilidade dimensional.
Preparação da massa	- excesso de moagem: redução do intervalo de queima (aumento da retração). - falta de constância nas características do pó atomizado: fluidez, umidade, granulometria.
Prensagem	- incorreta carga do molde. - folga estampo-molde grande, que possa provocar escape do atomizado por alguma borda. - zonas de maior compactação: menor contração.

Posíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 1. Dimensionais.
		Defeito: 1.2. Falta de ortogonalidade.
Fase do processo	Variável ou causa	
Formulação da massa	- excessiva proporção de carbonatos (grande retração em torno de 850° C em pasta de monoporosa)	
	- baixa estabilidade dimensional.	
Preparação da massa	- excesso de moagem: redução do intervalo de queima (aumento da retração).	
	- falta de constância nas características do pó atomizado: fluidez, umidade, granulometria.	
Prensagem	- incorreta carga dos moldes.	
	- zonas de maior compactação: menor retração.	
Queima	- queima diferencial centro-lateral do forno.	

Posíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 1. Dimensionais.
		Defeito: 1.3. Calibre.
Fase do processo	Variável ou causa	
Formulação da massa	- excessiva proporção de carbonatos (grande retração em torno de 850° C em pasta de monoporosa).	
	- baixa estabilidade dimensional.	
Preparação da massa	- excesso de moagem: redução do intervalo de queima (aumento da retração).	
	- falta de constância nas características do pó atomizado:	
	- fluidez;	
	- umidade; e	
	- granulometria.	
Queima	- diferente compactação – diferente retração	
	- queima diferencial entre o centro e as laterais do forno.	
	- variações de queima com o tempo.	
	temperatura de queima baixa – calibre alto – absorção de água alta.	
	temperatura de queima alta – calibre baixo – absorção de água baixa.	

Possíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 1. Dimensionais.
		Defeito: 1.4. Curvatura.
Fase do processo	Variável ou causa	
Formulação da massa	- deformação pirolástica devido a massa muito fundente, em toda a peça ou nas zonas com mais coração negro (mais fase líquida).	
	- excesso do quartzo: modificação da expansão térmica do suporte.	
Secagem	- curvatura a cru excessiva ou diferenciada, por inadequado apoio das peças durante a secagem.	
	- secagem superior – inferior da peça diferenciada (curvatura a cru).	
Queima	- curva de queima inadequada às condições da:	
	- massa;	
	- esmalte; e	
	- formato.	
	- espessura, etc.	
	- temperatura de queima excessivamente alta: maior deformação pirolástica.	
	- movimentação das peças dentro do forno: contato entre elas em zona de alta temperatura.	
	- rolos sujos na zona de queima.	

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.1. Trincas.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- excessiva proporção de quartzo e não-plásticos. - diminuição da resistência mecânica: cru, seco, queimado.
Preparação da massa	- insuficiente moagem: pouca resistência mecânica. - insuficiente umidade do pó atomizado: pouca resistência mecânica.
Prensagem	- compactação muito diferente dentro de uma peça: diferenças de retração. - insuficiente prensagem: insuficiente resistência mecânica. - processo de desaeração deficiente depois do 1º golpe.
Secagem	- fissuras nas bordas por secagem incorreta.
Esmaltação	- excesso de água durante a esmaltação. - movimentação violenta: golpes, etc. - excesso de pressão ou apoio ruim das telas de serigrafia.
Queima	- secagem brusca de água: trincas nas bordas.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.2. Rupturas na esmaltação.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- excessiva proporção de quartzo e não-plásticos. - diminuição da resistência mecânica.
Preparação da massa	- insuficiente moagem: baixa resistência mecânica. - baixa umidade do pó atomizado: baixa resistência mecânica.
Prensagem	- insuficiente prensagem: baixa resistência mecânica. - processo de desaeração deficiente depois do 1º golpe.
Secagem	- secagem incorreta/não homogênea: trincas que provocam rupturas de peças. - peças não secas suficientemente ou temperatura de saída demasiado baixa.
Esmaltação	- excessiva pressão nas telas de serigrafia. - defeituoso apoio nas telas de serigrafia. - movimentação violenta. - peças muito curvadas ao aplicar o esmalte.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.3. Quebras nas pontas a cru.
Fase do processo	Variável ou causa
formulação da massa	- insuficiente resistência mecânica.
Preparação da massa	- insuficiente moagem: baixa resistência mecânica, umidade do pó atomizado demasiado baixa.
Prensagem	- insuficiente pressão de prensagem: baixa resistência mecânica. - desenho do molde que não compacta suficientemente nas pontas.
Esmaltação	- movimentação violenta com golpes. - deficiente escovação das bordas esmaltadas. - guias mal colocadas (sobretudo na saída dos giradores).
Queima	- movimentação violenta.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.4. Quebra nas pontas queimado.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- massa com baixa resistência mecânica após a queima.
Prensagem	- desenho do molde com pontas muito agudas. - desenho do molde que não compacta suficientemente bem nas pontas.
Esmaltação	- deficiente escovação das bordas.
Queima	- movimentação violenta na saída do forno.
Classificação	- movimentação violenta.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.5. Descascamento.
Fase do processo	Variável ou causa
Prensagem	- presença de rebarbas por moldes muito desgastados.
Esmaltação	- utilização de esmaltes com baixa aderência. - movimentação defeituosa de peças cruas: - guias de linha sujas; e - roçamentos entre peças. - defeituosa operação com arranhamo das bordas

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.6. Escorridos.
Fase do processo	Variável ou causa
Prensagem	- rebarba de prensa muito grande. - zonas de elevada compactação: baixa absorção da água do esmalte.
Esmaltação	- utilização de esmaltes com baixa aderência. - utilização de esmaltes excessivamente moídos. - funcionamento incorreto das escovas.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.7. Rupturas no forno.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- excessiva proporção de quartzo: tensões na transformação $\beta - \alpha$ do quartzo durante o resfriamento. - composição da massa muito higroscópica.
Esmaltação	- excesso de água na esmaltação.
Queima	- secagem brusca na entrada do forno. - falta de ventilação: mudança brusca de temperatura na transformação quartzo $\beta - \alpha$ (600° C). - choque térmico: mudança brusca de temperatura na zona de saída do forno (200-300° C) se a peça está muito tensionada. - peças já debilitadas nos processos anteriores (secagem, esmaltação).

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.8. Variação da espessura.
Fase do processo	Variável ou causa
Preparação da massa	- falta de constância das características do pó atomizado. - fluidez e umidade.
Prensagem	- velocidade excessiva da prensa. - falta de sincronismo: 1ª queda do estampo - carga do atomizado. - nivelação inadequada da bancada da prensa. - utilização de estampos com espessura não uniforme.
Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.9. Esfoliamento/laminação.
Fase do processo	Variável ou causa
Preparação da massa	- excesso de finos.
Prensagem	- inadequada saída de ar depois do 1º golpe. - estampos muito justos ao molde. - velocidade de prensagem excessiva entre 1º e 2º golpes.
Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.10. Pega no molde.
Fase do processo	Variável ou causa
Prensagem	- umidade do atomizado excessiva. - temperatura dos moldes baixa.
Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.11. Porosidade inadequada.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- variações na formulação ou dosagem.
Preparação da massa	- variações na granulometria da barbotina. - variações na umidade do atomizado.
Prensagem	- baixa compactação: alta porosidade. - alta compactação: baixa porosidade.
Queima	- temperatura baixa e/ou ciclo muito rápido: porosidade alta. - temperatura alta e/ou ciclo muito lento: porosidade baixa.
Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.12. Coração negro.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- excessiva quantidade de matéria orgânica e/ou materiais com carbono.
Preparação da massa	- excessiva moagem: maior reatividade da massa - diminuição da temperatura de vitrificação.
Prensagem	- excesso de umidade no pó atomizado. - excessiva compactação.
Esmaltação	- utilização de esmaltes muito fundentes que dificultam a desgaseificação. - utilização de veículos serigráficos que provoquem problemas de desgaseificação.
Queima	- curvas de temperatura ou pressão que dificultem a desgaseificação e oxidação.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.13. Inchamento.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- excessiva quantidade de matéria orgânica e/ou materiais com carbono.
Preparação da massa	- excessiva moagem: maior fundência da massa. - presença de impurezas tipo: pintura, óleo, graxa, borracha, etc.
Esmaltação	- utilização de esmaltes muito fundentes. - utilização de veículos serigráficos de difícil desgaseificação.
Queima	- incorretas curvas de temperatura e/ou pressão do forno.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 2. Estruturais. Defeito: 2.14. Explosões no forno.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- composição muito higroscópica.
Secagem	- peça pouco seca (com excessiva umidade). - peça muito fria.
Aplicação de esmalte	- excesso de água na aplicação.
Queima	- aumento da temperatura muito brusco na entrada do forno.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.1. Trincas.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- dilatação-retração do suporte e do esmalte não bem adaptados.
Esmaltação	- utilização de esmaltes com dilatação térmica excessiva.
Queima	- queima de peças com flecha negativa ou nula (curvatura). - choque térmico na saída do forno.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.2. Pequenas depressões.
Fase do processo	Variável ou causa
Preparação da massa	- presença de partículas de carbonatos excessivamente grossas: - pouca moagem. - peneiramento defeituoso.
Prensagem	- presença de grandes partículas de carbono. - excessiva compactação. - excessiva pressão. - umidade do atomizado alta.
Esmaltação	- bolhas no esmalte (aplicação por campana). - presença de hidrorrepelentes. - no esmalte. - na peça. - no ambiente (ex: serifix). - presença de partículas contaminantes no esmalte.

Possíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.3. Trincas superficiais.
Fase do processo	Variável ou causa	
Preparação da massa	- presença de partículas de mica excessivamente grossas.	
Prensagem e secagem	- presença de grânulos de diferente umidade: - maior umidade: maior retração. - menor umidade: falta de compactação pontual.	
Esmaltação	- umidade da prensagem excessiva: trincas laterais por deficiente absorção de água na esmaltação. - extração violenta: trincas laterais.	
Queima	- utilização de excesso de água na esmaltação. - secagem violenta de peças muito úmidas na entrada do forno.	

Possíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.4. Furos.
Fase do processo	Variável ou causa	
Formulação da massa	- excessivo conteúdo de matéria orgânica. - impurezas nas matérias-primas: caliches, piratas, micas, carvão. - decomposição de sais solúveis.	
Preparação da massa	- partículas de carbonatos muito grossas (desgaseificação defeituosa). - atomizado com umidade excessiva.	
Prensagem	- excesso de compactação. - excesso de espessura da peça.	
Secagem	- peças muito quentes na saída do secador.	
Esmaltação	- engobe muito seco na aplicação do esmalte. - contaminação do esmalte com partículas estranhas: ferro ou aço, alumínio, suporte, borra-cha, óleos, etc. - esmalte excessivamente moído. - peneiramento deficiente do esmalte. - esmalte inadequado por fundência ou temperatura de amolecimento.	
Queima	- desgaseificação insuficiente. - excessiva temperatura de queima.	

Possíveis Causas de Defeitos		Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.5. Contaminação sobre o esmalte.
Fase do processo	Variável ou causa	
Formulação da massa	- presença de piratas (FeS_2) que provocam condensações no forno.	
Esmaltação	- arranhado nas bordas com o esmalte ainda úmido. - queda de pó, etc. sobre a peça com o esmalte ainda úmido.	
Queima	- limpeza insuficiente da peça antes de entrar no forno. - arranhado das peças dentro do forno com partículas que caem da superfície. - rebarbas inferiores grandes. - interior do forno sujo (por explosões, rupturas, etc.). - a aspiração remove essas partículas. - condensações na abóboda do forno (esmaltes com Pb, etc.). - explosões de peças. - ar de combustão não filtrado. - rolos sujos. - tubos de resfriamento sujos.	

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.6. Contaminação abaixo da superfície.
Fase do processo	variável ou causa
Formulação da massa	- presença de piritas (FeS_2): manchas de cor marrom - esverdeado.
Preparação da massa	- presença de pirolusita (MnO_2): pontos ou manchas marrons (não sofre decomposição). - moagem deficiente: impurezas grossas.
Esmaltação	- peneiramento deficiente: impurezas grossas. - utilização de esmalte: - sujo ou contaminado; e - peneirado grosso. - partículas contaminantes no esmalte: ferro, aço, alumínio, etc. - sujeira no ambiente da linha de esmaltação.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.7. Defeitos da serigrafia.
Fase do processo	variável ou causa
Aplicação do esmalte	- textura do esmalte rugosa. - tela obstruída. - impressão fora de centro: tela não bem centrada. - grudados na tela (utilização incorreta de serifix). - cabezales muito próximos. - utilização de micronizados não ótimos. - utilização de veículos não adequados. - utilização de espátulas desgastadas ou não uniformes. - utilização de tinta serigráfica fora de condições padrão: - densidade; e - viscosidade. - tinta serigráfica mal homogeneizada.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.8. Bolhas na superfície.
Fase do processo	variável ou causa
Preparação da massa	- partículas grossas de carbonatos: desgaseificação difícil. - partículas grossas de carbono. - excessivo conteúdo de matéria orgânica.
Prensagem	- excessiva compactação: desgaseificação difícil.
Esmaltação	- utilização de esmaltes com temperaturas de amolecimento baixa. - esmalte moído excessivamente fino: temperatura de amolecimento baixa.
Queima	- desgaseificação inadequada ou insuficiente.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.9. Bolhas nas bordas.
Fase do processo	variável ou causa
Formulação da massa	- massa com presença de sais solúveis (biqueima rápida).
Esmaltação	- utilização de esmaltes com sais solúveis.
Queima	- queima insuficiente do suporte (biqueima rápida): sais solúveis.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.10. Grumos.
Fase do processo	Variável ou causa
Esmaltação	<ul style="list-style-type: none"> - esmalte muito seco para: <ul style="list-style-type: none"> - aplicação a pistola; e - aplicação a disco. - excessiva aspiração. - acúmulo de esmalte nas guias e posterior queda sobre as peças. - arranhamento das bordas em peças demasiado úmidas. - limpeza deficiente das bordas e posterior contato entre as peças.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.11. Gotas de esmalte.
Fase do processo	Variável ou causa
Aplicação de esmalte	<ul style="list-style-type: none"> - cabine do disco funcionando a: <ul style="list-style-type: none"> - alta velocidade; - alto fluxo; e - viscosidade alta. - esmalte muito seco dentro da cabina. - gotas no aerógrafo. - gotas de água em condensação embaixo da campana.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.12. Tons.
Fase do processo	Variável ou causa
Secagem	- variações na temperatura das peças durante a esmaltação.
Aplicação de esmaltes	<ul style="list-style-type: none"> - incorreta preparação dos esmaltes ou tintas serigráficas. - condições de aplicação inadequadas: <ul style="list-style-type: none"> - gramatura; - densidade; e - viscosidade. - tela serigráfica obstruída ou desgastada. - utilização de telas de malha muito fina. - separação de granulometrias nas granilhas. - riscos na aplicação das granilhas.
Queima	<ul style="list-style-type: none"> - variações das condições de queima: <ul style="list-style-type: none"> - de um lado a outro do forno; e - instabilidade ao longo do tempo.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. defeito: 3.13. Reprensados.
Fase do processo	Variável ou causa
Prensagem	<ul style="list-style-type: none"> - folga excessiva estampos – molde: rebarbas grandes. - falta de limpeza da bancada na saída da peça.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.14. Distribuição irregular do esmalte.
Fase do processo	Variável ou causa
Esmaltação	- disco com riscos. - campana oscilante. - esmalte com baixa viscosidade: ondas. - esmalte com alta viscosidade: riscos. - aplicação de esmalte a seco defeituosa ou mal grudado. - separação granulometrias em granilhas ou granulados.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 3. Superficiais. Defeito: 3.15. Superfície defeituosa do esmalte: brilho-textura.
Fase do processo	Variável ou causa
Prensagem	- estampos da prensa com superfície danificada ou incorreta.
Esmaltação	- formulação incorreta do esmalte. - moagem incorreta do esmalte. - aplicação incorreta do esmalte.
Queima	- queima defeituosa ou inadequada do esmalte.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 4. De aparecimento diferente Defeito: 4.1. Trinca tardia.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- expansão por adsorção de umidade: - presença de CaO livre; e - excessiva quantidade de fases amorfas.
Esmaltação	- utilização de esmaltes com características de expansão térmica inadequadas: - coeficiente de dilatação; - módulo de elasticidade; e - temperatura de acoplamento.
Queima	- temperatura de queima do suporte demasiado baixa: presença de CaO livre.

Possíveis Causas de Defeitos	Tipo de Defeito: 4. De aparecimento diferente. Defeito: 4.2. Eflorescências.
Fase do processo	Variável ou causa
Formulação da massa	- sais solúveis: depósitos salinos na superfície.
Queima	- pouca queima do suporte: maior presença de sais solúveis.