

## Estudo da Variação da Penetração de Sal Solúvel no Porcellanato, em Função da Porosidade e Superfície Específica

**Luciano Felipe Rocha\***

*<sup>a</sup>Eliane Revestimentos Cerâmicos, Unidade Porcellanato,  
Rodovia Luiz Rosso Km 04, s n<sup>o</sup>, 88803-470,  
bairro Morro Estevão, Criciúma - SC, Brasil  
\*e-mails: luciano@eliane.com*

**Resumo:** O Porcellanato tem grande destaque na cerâmica por ser um produto com matérias-primas nobres, superfície polida, alta resistência mecânica e diversas possibilidades de desenhos e decorações, dando ao produto um valor agregado elevado. Devido a isto devemos conhecer e entender mais os processos realizados na indústria. O presente trabalho nos mostra a grande influência da densidade aparente, porosidade e superfície específica de um compacto verde na penetração do sal solúvel em Porcellanato, através de uma prova industrial na linha de decoração foi efetuado variação da pressão de compactação e, conseqüentemente, densidade aparente. Através da análise da porosidade e superfície específica explica-se a variação da penetração do sal solúvel e sua influência no desenho do produto acabado.

**Palavras-chave:** *porcellanato, sais solúveis, porosidade.*

### 1. Introdução

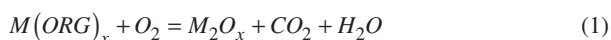
O presente artigo tem como objetivo mostrar a influência da porosidade na penetração de sal solúvel na peça de porcellanato tendo como conseqüência uma variação do desenho após o polimento. Foi realizada uma prova industrial variando a pressão de compactação e, conseqüentemente, a densidade aparente das peças a cru. Aplicou-se sal solúvel através de serigrafia plana e se constatou diferentes espessuras de penetração.

Uma das técnicas desenvolvidas para decorar o porcelanato é a utilização de dissolução de cátions metálicos que podem penetrar no suporte desde a superfície da peça. Estes cátions metálicos se oxidam durante a queima da massa formando óxidos corantes que proporcionam a coloração desde as superfícies até uma certa espessura no interior da peça. Os sais solúveis podem ser aplicados sobre a peça por pulverização ou por técnicas serigráficas. Uma vez aplicado, a cor penetra na peça por um mecanismo de difusão e sucção da estrutura porosa da peça. Para favorecer a penetração dos sais solúveis é aplicado, mediante pulverização, certa quantidade de agente penetrante.

Este estudo visa esclarecer as reais influências deste fenômeno e determinar um range de porosidade ideal de trabalho onde garanta uma estabilidade e homogeneidade da coloração com sais solúveis.

### 2. Decoração com Sais Solúveis

Os sais solúveis constituem uma nova geração de produtos líquidos que contém complexos orgânicos metálicos com metais de transição para a decoração de massas de porcellanato. É importante lembrar que esse produto não contém sulfatos, nitratos, alógenos e outros sais inorgânicos que dão origem a emanações tóxicas e corrosivas durante a queima. Os sais inorgânicos (Equação 1) são constituídos de complexos orgânicos como oxalatos, citratos, etc, que por sua combustão dão origem a anidridos carbônicos, água e óxidos cromóforos (Mox), responsáveis pela coloração<sup>4</sup>.



Devido à alta solubilidade os sais penetram facilmente no suporte cerâmico favorecidos pela porosidade do mesmo. A penetração é uma característica que torna os sais ideais para a decoração porcellanato (esmaltado ou não esmaltado) visando principalmente o polimento<sup>4</sup>.

Os sais solúveis podem ser utilizados em diferentes tipos de massa que necessitam de uma decoração e podem ser misturados entre eles a fim de se obter a maior gama de cores possível. Os sais solúveis também podem ser aplicados através de aerógrafos ou disco, mas a técnica mais aplicada e frequentemente utilizada são as aplicações serigráficas. A aplicação por meios de aerógrafo ou disco pode ser preparada pura ou misturando o sal com água<sup>4</sup>.

Este tipo de aplicação deve respeitar severas normas de segurança e com equipamentos de aspiração, pois todos os complexos orgânicos metálicos são perigosos se inalados sob a forma de aerossol. As variáveis que se tem na aplicação são muitas e variam de acordo com a produção, porém existem alguns conceitos fundamentais comuns que se deve ter em conta para se obter o melhor produto<sup>4</sup>.

A Permeabilidade das Soluções Cromóforas é uma propriedade dos semi-elaborados ser decorado. É fundamental que as soluções corantes penetrem na massa a uma profundidade suficiente que permita a remoção de alguns décimos de milímetros da superfície através do polimento sem comprometer a decoração isso depende:

- Da origem mineralógica da massa relacionada com a permeabilidade e sua fina granulometria.
- De algumas variáveis tecnológicas do processo, pressão de compactação, umidade da massa, temperatura da peça ao decorar, devem ser mantidas constantes.
- Manter as características do sal corante, origem química, densidade, viscosidade e PH.
- A penetração da solução salina deve ser de 0,6 à 0,9 mm de espessura o suficiente para remoção no polimento sem comprometer o desenho.
- Solução homogênea para evitar variação cromática excessiva na decoração do produto acabado e provocando defeito no desenho<sup>2</sup>.

## 2.1. Massa

As considerações são muitas e dependem da qualidade das matérias primas, preço, cor, condições da atomização, etc. Outra característica muito importante é a permeabilidade, a homogeneidade e a constância da massa, pois estes são fatores determinantes para a penetração dos sais no suporte cru ou biscuitado<sup>3</sup>.

## 2.2. Prensagem

Deve-se ter um bom controle no processo de prensagem de modo a obter uma constância e homogeneidade nesta fase do processo. Diferentes pressões em vários pontos da peça (consequência de um mau carregamento ou granulometria) resultam em uma diferente compactação da massa e, portanto diferentes permeabilidades no suporte. O resultado disso é uma permeabilidade não homogênea dos sais<sup>3</sup>.

## 2.3. Secagem

É uma das fases críticas do processo, pois as peças devem chegar à fase de decoração com sais a uma temperatura o mais uniforme possível, a fim de se evitar absorções não homogêneas e, conseqüentemente, variações de tons.

## 2.4. Aplicação serigráfica

Para este tipo de aplicação é necessário aumentar a viscosidade da solução original espessando-a, a fim de possibilitar a aplicação em telas serigráficas e se obter uma boa definição do desenho<sup>3</sup>.

Dependendo do tipo de máquina (plana ou rotativa) e do tipo de tela a viscosidade pode ser variável. Existem alguns tipos de adensantes que são encontrados no mercado e que são empregados em faixas que variam de um a seis por cento (1 à 6%) na mistura. Após a adição do adensante é necessária uma boa agitação da mistura, normalmente, de dois a três minutos e após isso deixar em repouso de dez a quinze (10 à 15) minutos, para favorecer uma maior viscosidade<sup>3</sup>.

## 2.5. Aplicação

A aplicação serigráfica dos sais não é diferente das aplicações de pastas serigráficas à base de esmaltes, mas os aditivos e veículos comumente usados não podem ser usados neste caso<sup>3</sup>.

## 3. Procedimento Experimental

Primeiramente foram prensadas as peças na Prensa Nasseti PH 2500, com uma massa de porcelanato com diversas pressões de compactação (400, 410, 420, 430 e 440 kgf.cm<sup>-2</sup>), sendo que 420 kgf.cm<sup>-2</sup> é o padrão utilizado na fábrica com base no conhecimento produtivo. Após as peças passaram por um secador vertical onde foi retirada a umidade. Foi aplicada a decoração com sais solúveis através de serigrafia em aproximadamente 50 m<sup>2</sup> de cada prova, onde as amostras passaram pelo processo de decoração em escala industrial nas condições normais de trabalho juntamente com o padrão. Foram realizados ensaios de densidade aparente a seco, resistência mecânica das peças. A espessura foi ajustada de acordo com o padrão e a umidade da massa não houve alteração. Na decoração a temperatura da peça, a camada de tinta (Sal Solúvel), a camada de aditivos e a temperatura de secagem foram conferidos e mantidos dentro dos padrões. A queima foi realizada no mesmo forno com a curva padrão deste produto. O polimento foi realizado na mesma máquina onde estava sendo processada a referência, porém em condições normais para que não houvesse variação nos resultados. Após o polimento foi avaliada a penetração do Sal Solúvel na peça através de uma lupa graduada de aumento 10×, além da coloração e desenho (Figura 1).

## 4. Resultados e Discussões

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios laboratoriais.

Analisando a Tabela 1 podemos constatar que à medida que pressão de compactação aumenta a densidade e a resistência mecânica também aumentam. Estes resultados são normais a cerâmica, porém os valores de penetração do sal com pressão baixa (400 kgf.cm<sup>-2</sup>) tiveram baixa penetração (1,6 mm). Já com pressão de 410, 420 e 430 kgf.cm<sup>-2</sup> teve boa penetração. Por fim a pressão alta (440 kgf.cm<sup>-2</sup>) o sal também penetrou pouco (1,5 mm) nos mostrando que temos um intervalo de pressão e densidade ideal de trabalho, onde se obtém a penetração do sal desejada.

A Figura 2 nos possibilita visualizar a evolução da densidade com aumento da pressão e também se percebe nas barras verdes o intervalo ideal da penetração do sal e em barras vermelhas a baixa penetração do sal em virtude da baixa e a alta pressão.

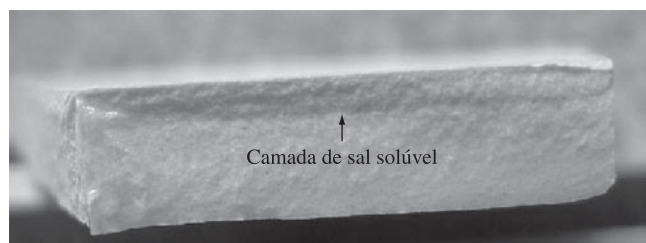


Figura 1. Demonstração de uma peça de Porcellanato com aplicação de sal solúvel.

Tabela 1. Ensaios e medições.

Pressão de compactação (kgf.cm <sup>-2</sup> )	Penetração (mm)	Densidade aparente a seco (g.cm <sup>-3</sup> )	Resistência Mecânica a seco (N.mm <sup>-2</sup> )
400	1,6	1,846	2,32
410	2,0	1,853	2,40
420	2,1	1,857	2,51
430	2,0	1,860	2,62
440	1,5	1,867	2,80
Média	1,84	1,856	2,53
Máximo	2,1	1,867	2,32
Mínimo	1,5	1,846	2,80

Fonte: Dados do pesquisador, 2009.

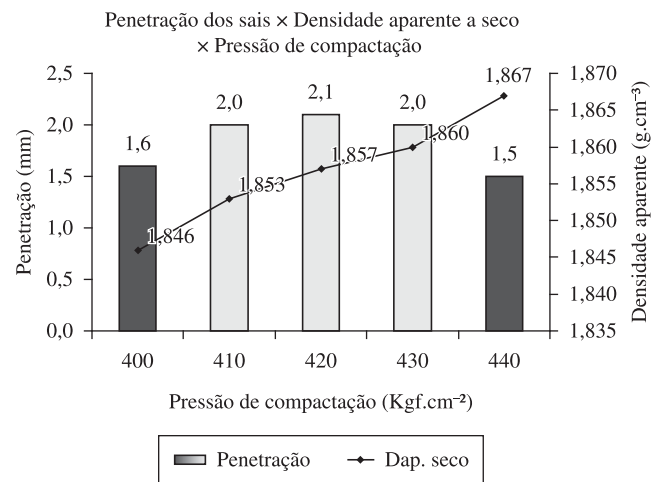


Figura 2. Penetração do sal × Densidade aparente × Pressão de compactação. Fonte: Dados do pesquisador, 2009.

**Tabela 2.** Cálculo da (F) porosidade e ( $\Delta H$ ) gradiente de pressão.

Pressão (kgf.cm <sup>-2</sup> )	u : kg.m <sup>-3</sup>	ur : kg.m <sup>-3</sup>	$F = 1 - \left(\frac{u}{ur}\right)$	F	$\Delta H = \frac{K \cdot (1-F)^2}{F^3}$	$\Delta H$
400	1846	2700	0,317	0,317	14,56	14,56
410	1853	2700	0,314	0,314	15,16	15,16
420	1857	2700	0,313	0,313	15,73	15,73
430	1860	2700	0,312	0,312	15,77	15,77
440	1867	2700	0,309	0,309	15,90	15,90

Fonte: Dados do pesquisador, 2009.

**Tabela 3.** Cálculo da (S) superfície específica e ( $\Delta H$ ) gradiente de pressão.

Pressão	$S = K \cdot \frac{1}{P}$	S	$\Delta H = K \cdot S^2$	$\Delta H$
400	1/400	0,0025	(0,0025) <sup>2</sup>	$6,2 \times 10^{-6}$
410	1/410	0,0024	(0,0024) <sup>2</sup>	$5,9 \times 10^{-6}$
420	1/420	0,0023	(0,0023) <sup>2</sup>	$5,6 \times 10^{-6}$
430	1/430	0,0023	(0,0023) <sup>2</sup>	$5,5 \times 10^{-6}$
440	1/440	0,0022	(0,0022) <sup>2</sup>	$5,1 \times 10^{-6}$

Fonte: Dados do pesquisador, 2009.

A fórmula de transporte de líquido (Equação 2) representa matematicamente o mecanismo de penetração de sal solúvel em Porcellanato<sup>2</sup>.

$$\Delta H = \frac{K_2 \cdot (\mu \cdot v_f \cdot \rho_l^2 \cdot s^2 \cdot (1-F)^2 \cdot D)}{\rho \cdot g \cdot F^3} \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta H$  = gradiente de pressão (cm de coluna de líquido);
- $K_2$  = constante de Kozény (5 para partículas esféricas);
- $\mu$  = viscosidade dinâmica do líquido (poise);
- $\rho$  = densidade do líquido (g.cm<sup>-3</sup>);
- $v_f$  = velocidade de fluxo (cm.s<sup>-1</sup>);
- $\rho_l$  = densidade real das partículas sólidas (g.cm<sup>-3</sup>);
- S = superfície específica das partículas (cm<sup>2</sup>/g);
- g = aceleração da gravidade = 980 cm.s<sup>-2</sup>;
- F = porosidade dos meios (adimensional);
- D = profundidade do canal granular (cm)

Como pode ser observado na Tabela 2 a medida que a pressão diminui aumenta-se a porosidade do material e em contra partida há um decréscimo no valor da penetração do sal ( $\Delta H$ ).

Através dos valores obtidos de F e  $\Delta H$  consegue-se entender porque com a pressão de compactação baixa (400 kgf.cm<sup>-2</sup>) o sal solúvel teve uma baixa penetração na peça.

#### 4.1. Cálculo da porosidade (F) e gradiente de pressão ( $\Delta H$ ).

Porosidade (F): É o espaço vazio dentro de uma peça cerâmica e pode ser calculada pela diferença da razão da massa específica aparente e real (Equação 3).

$$F = 1 - \left(\frac{u}{ur}\right) \quad (3)$$

- F = Porosidade
- u = Massa específica aparente ( kg.m<sup>-3</sup>)
- ur = Massa específica real (kg.m<sup>-3</sup>)

O gradiente de pressão pode ser calculada através da relação entre a porosidade (Equação 4).

$$\Delta H = \frac{K \cdot (1-F)^2}{F^3} \quad (4)$$

- $\Delta H$  = Gradiente de pressão (cm coluna de líquido)
- K = Constante
- F = Porosidade

#### 4.2. Cálculo da superfície específica (S) e gradiente de pressão ( $\Delta H$ ).

O gradiente de pressão também pode ser calculada através do produto de uma constante e do quadrado da superfície específica das partículas (Equação 5).

$$\Delta H = K \cdot S^2 \quad (5)$$

- $\Delta H$  = Gradiente de pressão (cm coluna de líquido)
- K = Constante
- S = Superfície específica das partículas

Já a superfície específica das partículas é o produto de uma constante com o inverso da pressão (Equação 6).

$$S = K \cdot \frac{1}{P} \quad (6)$$

Onde:

- P = Pressão

Como pode ser observado na Tabela 3 a medida que a pressão aumenta, diminui-se a superfície específica (S). Da mesma forma a porosidade (F) do material diminui conforme visto na Tabela 2 anteriormente. Como consequência há uma diminuição nos valores da penetração do sal ( $\Delta H$ ).

Através dos valores obtidos de S e  $\Delta H$  consegue-se entender o motivo pelo qual para a pressão de compactação alta (440 kgf.cm<sup>-2</sup>) o sal solúvel teve uma baixa penetração na peça.

## 5. Conclusão

Baseado nos resultados obtidos verificou-se a grande influência da porosidade e da superfície específica na penetração do sal solúvel provocados pela alteração da pressão de compactação e densidade aparente na peça de porcellanato, sendo visível esta alteração no produto acabado.

Através destes resultados pode-se definir um intervalo ideal de trabalho de pressão de compactação e densidade aparente de 410 kgf.cm<sup>-2</sup> (1,853 g.cm<sup>-3</sup>), 420 kgf.cm<sup>-2</sup> (1,857 g.cm<sup>-3</sup>), 430 kgf.cm<sup>-2</sup> (1,860 g.cm<sup>-3</sup>). Nestas condições tem-se uma boa penetração do sal solúvel, uma uniformidade da tonalidade e desenho, resultando na garantia de uma melhor qualidade no produto final. Abaixo e/ou acima destes valores a peça não terá uma satisfatória penetração do sal solúvel, com posterior variação de tonalidade e desenho, prejudicando a qualidade do produto.

Em busca da melhoria contínua é necessário trabalhar de acordo com os padrões pré-estabelecidos que garantam a constância de estabilidade no processo cerâmico, mas, além disso, é de fundamental importância profissional e pessoal descobrir as causas para atuar de forma correta no processo.

## Agradecimentos

Agradeço a Empresa Eliane Porcellanato pelos recursos disponibilizados. A Dr. Agenor De Noni Junior do Instituto Maximiliano Gaidzinski - IMG, a Sergio Pereira Ruzza, Coordenador de Novos Produtos, a Claudeci Da Silva, Assistente de decoração da Eliane Revestimentos Cerâmicos e a minha Família pelo auxílio e cooperação no desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

1. FERRARI, R. **Manuale Della Macinazione com Mulini a Tamburo Rotante**. Faenza: Ed. Faenza, 1985.
2. BRESCIANI, A.; BRUSA, A.; FEDERICI, M. **Pastas de gres porcelánico decoradas con sales solubres**: indicaciones para optimar la composición. Italia: Qualicer, 1998.
3. BIFFI, G. **Gres porcellanato tecnologia, produzione, mercato**. Faenza: Ed. Faenza, 1994.
4. TORNEZA, P. **Decoracion del gres porcelanico mediante colorantes solubles**. Castellón: Itaca, 2000.
5. PEREZ, E. A. **Introdução a tecnologia cerâmica**. Castellón: [s.n.], 1983.