

O Manchamento e a Porosidade Fechada de Grês Porcelanato

**Flávio J.S. Arantes¹, Douglas F. Galesi¹,
Eduardo Quinteiro¹ e Anselmo O. Boschi¹**

*Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC)
Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP
e-mail: daob@power.ufscar.br*

Resumo: O trabalho trata do problema da resistência ao manchamento de placas de grês porcelanato polidas, com ênfase sobre a porosidade fechada das peças. Foram estudadas as influências de três diferentes etapas de processamento: a) a preparação da massa; b) compactação e c) queima. As técnicas empregadas – análise dimensional, picnometria de hélio, análise de imagens – possibilitaram uma descrição da porosidade quanto à sua disposição ao longo do volume do corpo, seu volume total, quanto à distribuição de tamanhos dos poros, bem como quanto ao formato destes poros, em função das condições estudadas. Também foram realizados ensaios com vistas a determinar a resistência ao manchamento das superfícies polidas obtidas. Como principais conclusões, pode-se citar o impacto negativo da presença de grânulos de tamanho inferior a 212 μm sobre a microestrutura final de poros, o fato do manchamento se relacionar mais com a distribuição de tamanho dos poros que com o volume total da porosidade e também o fato de que a quantidade de irregularidades presentes na superfície lateral das peças, estimada pela área, após o polimento, é de cerca de metade a um terço da quantidade de irregularidades presentes na superfície de uso do produto, indicando que a conformação por prensagem orienta fortemente a distribuição dos poros neste último sentido.

Palavras-chaves: *grês porcelanato, porosidade, processamento, manchamento*

Introdução

Dentre as características técnicas do grês porcelanato polido, a resistência ao risco e a resistência ao manchamento são as que mais apresentam problemas com relação ao uso destes produtos. No que diz respeito ao manchamento, constitui orientação dos próprios fabricantes a realização da impermeabilização da superfície antes do uso (e mesmo antes do assentamento) do produto, através de resinas poliméricas, sem o que o produto pode se manchar de forma irreversível, em alguns casos¹.

Certamente, esta não é a forma ideal de resolver o problema, pois traz uma série de incômodos aos consumidores, desde o conhecimento prévio destes aspectos, até a necessidade de re-aplicações periódicas do impermeabilizante, envolvendo despesas e inconvenientes que todo consumidor desejaria evitar. Portanto, do ponto de vista da qualidade do produto, a resistência ao manchamento deve

ser a máxima possível, independentemente da aplicação de impermeabilizantes.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo determinar como se apresenta distribuída a porosidade fechada – principal responsável pelo fenômeno do manchamento – no interior das peças, e também como alguns dos principais parâmetros de processamento influenciam a porosidade final do material, no que diz respeito à quantidade e à distribuição de tamanhos dos poros formados, no intuito de indicar as condições de processamento mais adequadas para que o produto, por si só, apresente uma melhor resistência ao manchamento.

O fenômeno do manchamento

Apesar de ser um produto de baixa absorção de água, e conseqüentemente baixa porosidade aparente, o grês porcelanato, tipicamente, apresenta um certo volume – variando de 5 até 12% em diversos produtos comerciais^{2,3} - de

poros isolados no interior do corpo, que constitui a chamada porosidade fechada do material. Durante a etapa de retificação e polimento à que são submetidas as peças, uma certa camada – cerca de 0,5 a 1,0 mm⁴ – da espessura do produto é removida, fazendo com que parte dos poros antes isolados no interior do corpo passem a constituir a superfície, gerando uma série de irregularidades, conforme indicado na Figura 1.

A existência de irregularidades na superfície de um corpo faz com que seja facilitada a adesão de partículas à superfície, bem como torna mais difícil a respectiva remoção. Daí o problema da resistência ao manchamento em placas de grés porcelanato polidas. Uma maior ou menor susceptibilidade ao problema vai ser definida pelas características destas irregularidades, que vão ser determinadas, notavelmente, pelo tamanho, forma e textura dos poros responsáveis por elas, além da quantidade de irregularidades (poros) existentes por unidade de área.

De fato, trabalhos indicam existir uma certa relação entre o tamanho dos poros e sua susceptibilidade ao manchamento, chegando a um valor da ordem de 30-60 μm⁵ como tamanho crítico de poro, a partir do qual o fenômeno do manchamento passa a ser verificado. Diante disto, deseja-se obter, na microestrutura final do produto, um número mínimo de poros, pequenos, fechados e isolados, para potencializar a resistência ao manchamento da peça.

Em grande parte, a porosidade final do produto (volume total, tamanho, distribuição de tamanhos e morfologia), uma vez empregada uma composição adequada em sua formulação, será definida pelas características físicas da massa empregada, e pelas condições em que são realizadas as operações de prensagem e queima das peças.

A seguir, serão tratados cada um destes fatores.

Granulometria da massa

A estrutura de poros de um compacto cerâmico começa a ser definida, no caso de uma massa cerâmica para prensagem, a partir das características dos grânulos que compõe a massa.

Como os grânulos são, na verdade, aglomerados de partículas primárias unidas entre si por ligações secundárias, apresentam uma certa quantidade de poros em seu volume. É a chamada *porosidade intragranular*. Por outro lado, quando os grânulos preenchem as cavidades do molde, inevitavelmente ocorre a formação de vazios entre os poros, por mais eficaz que seja o empacotamento. A este segundo conjunto de interstícios formado durante o empacotamento dos grânulos, dá-se o nome de *porosidade intergranular*. O conjunto formado pelos poros intra e intergranulares, durante o preenchimento das cavidades do molde, define a disposição inicial de poros no compacto cerâmico. Tal situação é apresentada na Figura 2.

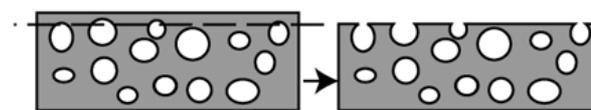


Figura 1. Surgimento de irregularidades na superfície após a etapa de polimento.

Formação dos Poros

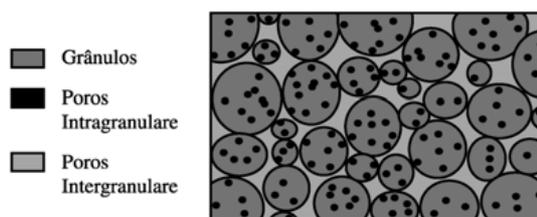


Figura 2. Esquema ilustrativo da disposição inicial dos poros intra e intergranulares, após o preenchimento das cavidades do molde.

É importante ressaltar a diferença de tamanho existente entre os poros de natureza intra e intergranular. A distribuição de tamanho destes poros é sempre bimodal, com os poros intergranulares com tamanhos bastante maiores que os poros intragranulares.

O volume total dos **poros intragranulares** depende, principalmente, da forma e da distribuição das partículas que compõe o aglomerado. Uma distribuição de tamanho de partículas adequada, de acordo com os modelos propostos por Furnas, Andreasen, Westam, dentre outros, promove um empacotamento de partículas de elevada densidade relativa⁶, minimizando o volume destes poros no compacto. No caso de produtos atomizados, que representam praticamente toda a produção atual de grés porcelanato, também é importante um alto teor de sólidos na barbotina, sem que, entretanto, seja prejudicada a eficácia do processo de atomização⁷.

Já o volume total dos **poros intergranulares** depende da distribuição de tamanho dos grânulos, do formato destes grânulos, e também de sua textura superficial, além da fluidez do pó. A condição de máximo empacotamento é obtida com grânulos de formato esférico, isentos de crateras ou ocos, de superfícies lisas e com uma distribuição de tamanho adequada.

Freqüentemente, entretanto, os grânulos, principalmente os de tamanho maiores⁸, apresentam um vazio (chamado de oco) de tamanho considerável em seu interior, em função de características da barbotina e da operação de atomização^{7,9} (ver Figura 2, GROSSOS). Neste caso, *Reed*⁹ fala em distribuição trimodal de tamanhos de poro, e *Amorós*¹⁰ os inclui, para efeitos de compactação, como parte da porosidade intergranular, devido à semelhança de comportamento entre estes poros e aqueles durante a etapa de compactação.

Compactação

Durante a etapa de compactação ocorre a redução do volume tanto da porosidade intergranular como da porosidade intragranular, resultando, ao término, na microestrutura do compacto a verde.

Esta redução de volume se dá através de 3 mecanismos^{9,10}, a saber: a) do deslocamento e reordenação dos grânulos; b) da deformação plástica dos grânulos; c) da deformação e reordenamento das partículas primárias que compõe os grânulos buscando um maior empacotamento.

Os dois primeiros mecanismos são referentes à redução da porosidade intergranular, enquanto que o terceiro é referente à redução da porosidade intragranular. De fato, quase todo o volume de poros eliminado durante a compactação corresponde aos poros intergranulares, aqui compreendidos os ocos típicos de grânulos atomizados mencionados acima.

Para uma massa de boa fluidez, onde o preenchimento das cavidades se dá de maneira uniforme e compacta, o volume total eliminado através do mecanismo de deslocamento e reordenação de grânulos é mínimo, sendo que a etapa que mais contribui para a compactação realmente é a de deformação plástica dos grânulos. Sendo assim, a dureza dos grânulos assume grande importância, e como consequência, a umidade da massa é um fator decisivo para a microestrutura final obtida. Os grânulos devem ser suficientemente moles, para que durante a etapa de compactação seja eliminada ao máximo a porosidade intergranular, resultando em uma microestrutura homogênea e com o menor volume possível de poros.

Neste contexto, o valor da pressão de prensagem, aliado à dureza dos grânulos, definirá o grau de compactação da massa, e conseqüentemente a microestrutura do compacto a verde. Outras variáveis envolvidas na etapa de prensagem, como a velocidade de aplicação da carga, o número de batidas e o formato do molde também exercem certa influência na microestrutura final, na medida em que determinam facilidade da saída do ar do interior da peça que está sendo conformada, e a distribuição da pressão aplicada no volume do corpo⁶.

Por fim, vale ressaltar que a etapa de preenchimento das cavidades do molde é a etapa mais importante da operação de prensagem⁹, e a homogeneidade e compactação da massa irá depender, sobretudo, de um preenchimento eficiente e uniforme, obtido somente a partir de uma massa com boa fluidez, reforçando a interação entre as etapas de preparação da massa e de compactação.

Etapa de queima

A microestrutura obtida após a etapa de compactação representará o estágio inicial, a partir do qual será determinada a microestrutura resultante do produto, em função do ciclo térmico aplicado.

Durante o tratamento térmico, dois fenômenos contrapostos terão lugar, ocorrendo de forma concomitante durante parte do ciclo. Um primeiro mecanismo, responsável pela densificação do corpo, ocorre com a formação de fase vítrea, em virtude do emprego de um elevado teor de fundentes na formulação da massa. Esta fase vítrea formada, de elevada viscosidade, por força de capilaridade, estabelece um fluxo laminar que promove a redução gradativa do volume dos poros, eliminando paulatinamente os pontos de interconexão existentes, promovendo a densificação do corpo cerâmico.

Por outro lado, durante o ciclo térmico, o gás existente no interior do compacto, disperso ao longo de todo seu volume, bem como os gases eventualmente formados em razão das reações que vão ocorrendo entre os componentes da massa (oxidação de material orgânico, decomposição de minerais) devem ser eliminados, ou seja, transportados ao meio externo, a medida em que avança o processo de sinterização.

Entretanto, a partir de certo estágio do processo de sinterização (quando a porosidade aparente do compacto tende a ser nula), a fase vítrea formada envolve praticamente todos os poros (concentrações de gases) ainda existentes no interior do corpo, isolando-os do meio externo, dado origem à porosidade fechada do produto. Devido à alta tensão superficial da película de fase vítrea que envolve os poros, o gás passa a ficar aprisionado no interior do compacto, impedido de sair. A partir deste ponto, onde os pontos de interconexão entre os poros e o meio externo deixam de existir, os dois mecanismos passam a se confrontar diretamente.

O gás aprisionado no interior dos poros dificulta o avanço do fluxo laminar da fase vítrea, e, à medida que este fluxo avança, a pressão do gás aprisionado no interior do poro aumenta, em função da diminuição do volume do poro, tornando cada vez mais difícil a densificação. O aumento da temperatura, seguindo-se o ciclo térmico, também contribui para o aumento da pressão interna dos gases, ao mesmo tempo em que reduz a tensão superficial da fase vítrea, até atingir um ponto em que a pressão interna dos gases aprisionados no interior dos poros supera o valor da tensão superficial da fase vítrea, fazendo com que o volume dos poros passe a aumentar, gerando o fenômeno conhecido como inchamento dos poros⁵.

Materiais e Métodos

Todos os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos a partir de uma massa atomizada comercial nacional de grés porcelanato.

Influência da granulometria da massa

O estudo sobre o efeito da granulometria foi feito a partir da obtenção de 5 composições granulométricas, deri-

vadas da composição original, com distribuições de tamanho indicadas abaixo:

- REFERÊNCIA (composição granulométrica original);
- FINOS ($\phi < 212 \mu\text{m}$);
- MÉDIOS ($212 < \phi < 420 \mu\text{m}$);
- GROSSOS ($\phi > 420 \mu\text{m}$);
- REFERÊNCIA-FINOS ($\phi > 212 \mu\text{m}$).

A Figura 3 mostra imagens referentes às três distribuições obtidas a partir da massa utilizada, e o gráfico da Figura 4 traz a distribuição granulométrica da composição original (REFERÊNCIA) e da composição alterada (REFERÊNCIA-FINOS).

Para assegurar o estudo da influência da distribuição de tamanho dos grânulos, fixou-se a condição de queima ($1212 \text{ }^\circ\text{C}$, taxa de aquecimento de $7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$) e também a condição de compactação dos corpos-de-prova ($\bar{\rho} = 1,88 \text{ g}/\text{cm}^3$ por prensagem uniaxial), condições determinadas através de estudos preliminares de caracterização da massa.

Influência da compacidade do corpo prensado

O estudo do efeito da compacidade foi realizado com a massa REFERÊNCIA-FINOS, a partir da qual foram obtidos corpos-de-prova com valores de densidade após secagem de, respectivamente, $1,70$, $1,80$ e $1,90 \text{ g}/\text{cm}^3$. Os corpos-de-prova obtidos foram então sinterizados à $1212 \text{ }^\circ\text{C}$ ($7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$).

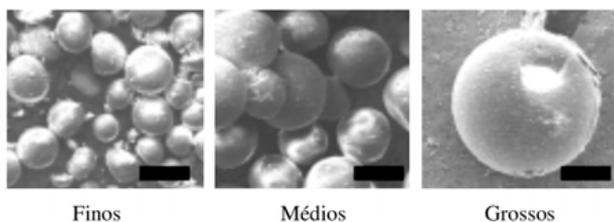


Figura 3. Distribuições granulométricas empregadas. Escala $200 \mu\text{m}$.

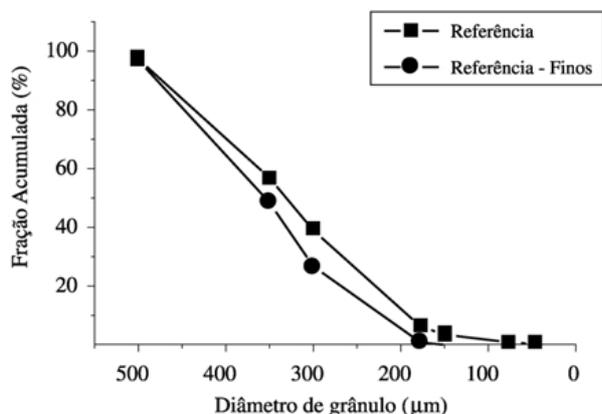


Figura 4. Distribuição granulométrica referente às massas Referência e Referência-finos.

Influência da temperatura de queima

Para avaliar a influência da temperatura de queima sobre a massa foram confeccionados corpos-de-prova, a partir da massa original – composição denominada REFERÊNCIA – fixando-se a densidade após secagem também em $1,88 \text{ g}/\text{cm}^3$, e queimados corpos-de-prova nas temperaturas de 1150 , 1175 , 1190 , 1200 , 1212 e $1225 \text{ }^\circ\text{C}$.

Obtenção dos resultados

Obtidos os corpos-de-prova, os mesmos foram desgastados ($0,7 \text{ mm}$) e polidos, de forma a reproduzir o processamento industrial.

Para a determinação do volume da porosidade fechada, foram calculadas a porosidade aparente, e as densidades aparente e real, esta última através de picnometria de hélio.

Com o emprego de técnicas de análise de imagens¹¹, foi determinada a distribuição de tamanhos dos poros e também o volume de poros, utilizando-se imagens capturadas a partir de um microscópio ótico.

Os valores de resistência ao manchamento foram obtidos a partir de uma adaptação da norma NBR 13818 à quantidade e ao tamanho das amostras, mantendo-se os critérios de aplicação dos agentes manchantes e limpantes, sendo que os valores obtidos são apenas comparativos entre si.

Resultados e Discussão

Distribuição dos poros

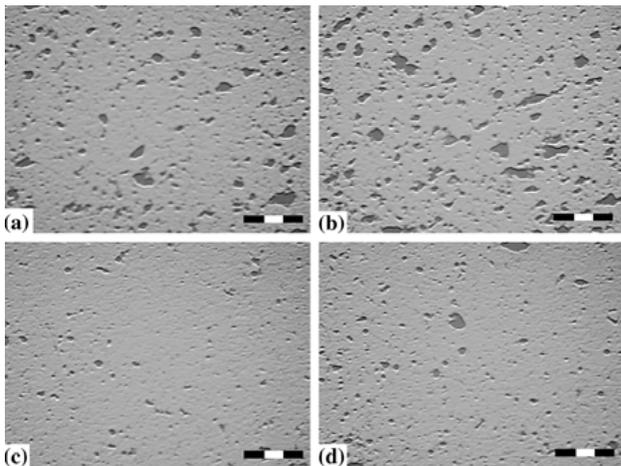
Para identificar a forma com que os poros se distribuem ao longo do volume do corpo prensado, foram obtidas inicialmente imagens referentes a duas secções distintas de uma mesma peça, sendo uma série de imagens referentes à **superfície de uso** habitual do produto, e uma segunda série referente à **superfície lateral** do produto.

Imagens referentes às duas superfícies são apresentadas na Figura 5.

Quantificando estes dados, através de análise de imagens em computador, obteve-se um valor de **14%** de poros para a área total das imagens referentes à superfície de uso, enquanto que para a superfície lateral este valor ficou em **6%**. As respectivas distribuições de tamanho de poros são apresentadas na Figura 6.

Outro ponto importante referente à distribuição de poros ao longo do volume das peças é saber a partir de que distância da superfície original surgem os poros fechados, visto que, durante a etapa de polimento, existe uma certa flexibilidade em relação à dimensão a ser desgastada. Como pode ser visto a partir da Figura 7, a porosidade fechada se inicia imediatamente abaixo da superfície das peças.

Inicialmente, os dados mostram que existe uma grande influência da etapa de compactação, ou seja, da prensagem, sobre a orientação dos poros no volume dos corpos. Uma



- a) $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$, **paralelo** ao uso;
 b) $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$, **paralelo** ao uso;
 c) $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$, **perpendicular** ao uso;
 d) $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$, **perpendicular** ao uso.

Figura 5. Efeito da compactação sobre a porosidade. Imagens referentes às superfícies paralela e ortogonal à superfície de uso. Composição REFERÊNCIA-FINOS. Escala: 600 μm .

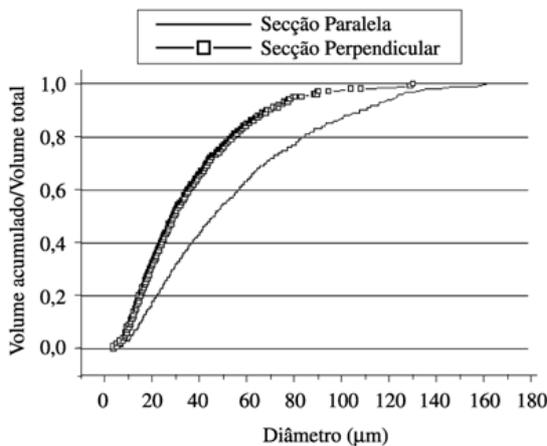


Figura 6. Distribuição de tamanho de poros para as superfícies paralela e perpendicular à superfície de uso.

interpretação destes resultados permite concluir que os poros apresentam formatos tendendo ao esférico e também achatados, devido à diferença observada entre a distribuição de tamanhos e volume de poros para as duas superfícies, justificando inclusive os valores altos de porosidade encontrados através do método de análise de imagens na secção paralela ao uso.

Por outro lado, nota-se que os poros fechados existem imediatamente abaixo da superfície, conforme indicado na Figura 7, indicando uma distribuição aleatória dos poros ao longo de todo o volume do compacto. Dados complementares indicam que este comportamento (distribuição ho-

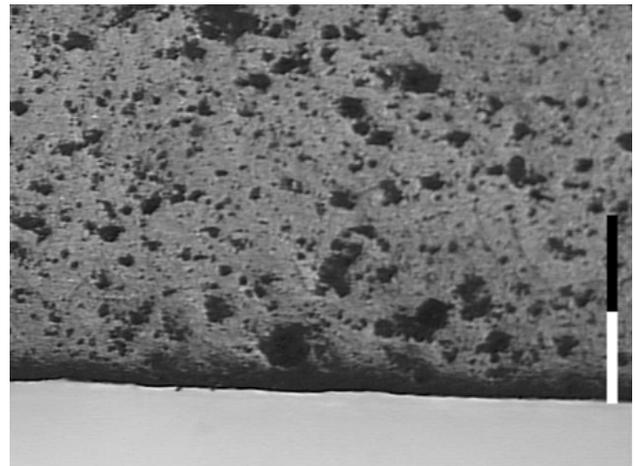


Figura 7. Imagem obtida a partir da secção lateral de um corpo-de-prova. Escala: 0,5 mm.

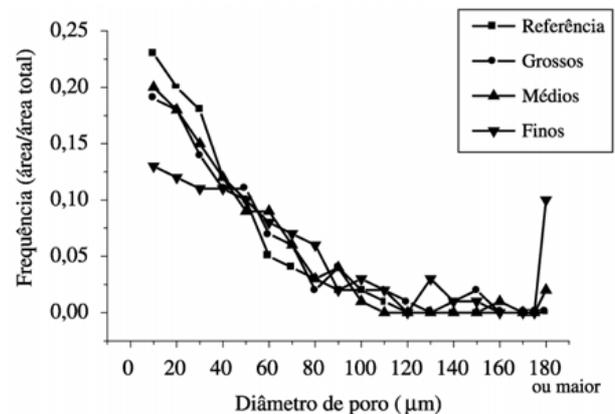


Figura 8. Frequência de poros em função do diâmetro.

mogênea, poros achatados) é observado para uma ampla faixa de compactação ($1,70 - 1,90 \text{ g/cm}^3$).

O efeito da granulometria

Na Figura 8 é apresentado o gráfico referente à frequência de ocorrência dos poros em função do diâmetro médio, para 4 das frações granulométricas estudadas.

Nota-se inicialmente que o melhor resultado é apresentado pela composição REFERÊNCIA, em razão, provavelmente, de um empacotamento mais eficiente dos grânulos em função da distribuição granulométrica mais larga.

A composição FINOS apresenta um comportamento divergente das demais composições, resultando numa alta percentagem de poros de tamanho grande ($> 100 \mu\text{m}$).

Estes poros de tamanho grande são facilmente visualizados, mesmo ao olho nu, provocando inclusive inchamentos localizados nos corpos-de-prova. O gráfico da Figura 9 evidencia esta diferença.

Diversas razões podem ser apontadas para este comportamento. Os grânulos que compõe a fração FINOS, além de menores, correspondem, em grande parte, a fragmentos

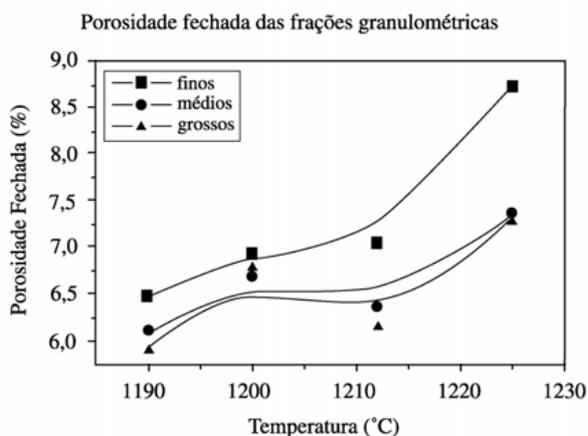


Figura 9. Evolução da porosidade fechada em função da temperatura de queima para algumas frações granulométricas. Obtidos por picnometria de hélio.

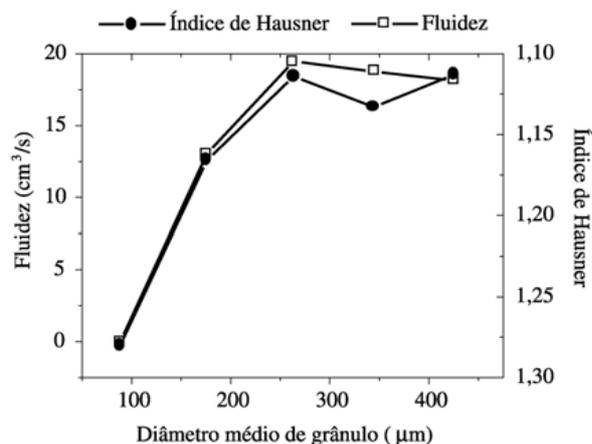


Figura 10. Valores de fluidez e Índice de Hausner em função do tamanho de grânulo para massas atomizadas.

de grânulos maiores, o que os tornam bastante irregulares, prejudicando de forma sensível a fluidez da massa, conforme pode ser observado na Figura 10.

A fluidez pode ser definida como a facilidade da massa em preencher as cavidades do molde. Uma baixa fluidez da massa resulta em um preenchimento irregular do molde. Conforme colocado na introdução, o preenchimento do molde é a etapa mais importante da compactação, e um preenchimento mais heterogêneo resultará em maiores gradientes (compactação, tensões) no interior da peça, bem como em uma estrutura porosa mais irregular também. Daí uma das maiores dificuldades (não a única) em se obter o grés porcelanato através da via seca, pois como a característica dos granulados via seca é uma baixa fluidez, para produtos de alta retração, como o grés porcelanato (até 10%), o preenchimento irregular irá gerar, além de uma porosidade irregular, um grande acúmulo de tensões,

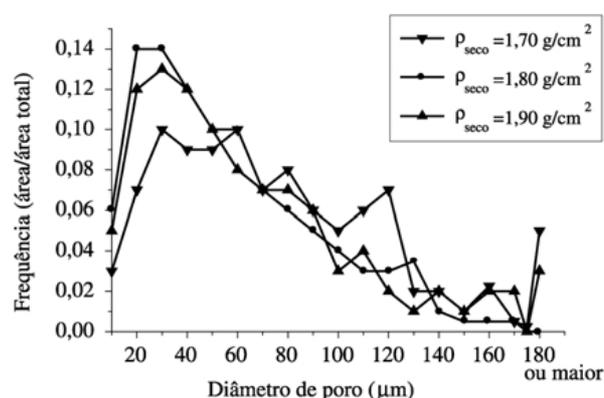


Figura 11. Frequência de poros em função do diâmetro.

afetando as dimensões e mesmo provocando a quebra das peças.

Pelo fato dos grânulos serem menores, a estrutura porosa resultante da compactação também tende a apresentar dimensões menores, o que faz com que os pontos de interconexão entre os poros desapareçam mais rapidamente, permanecendo um maior volume de gás aprisionado no corpo (Figura 9). Por outro lado, como a sinterização via fase líquida acontece preferencialmente em ângulos agudos (típico formato de pontos de interconexão), quanto mais irregular a rede de poros, mais irregular também a evolução da estrutura porosa ao longo da queima.

Uma pequena fração de grânulos finos pode prejudicar sensivelmente a fluidez da massa¹². Comparando-se os valores obtidos para o volume total de poros entre as composições REFERÊNCIA e REFERÊNCIA-FINOS, através de análise de imagens, chegamos a valores de cerca de 25% e 14%, respectivamente, em relação à superfície de uso.

O efeito da compactação

A Figura 11 traz a frequência de poros obtida em função do tamanho para os corpos sinterizados a partir de diferentes densidades (após secagem).

A distribuição de poros mais favorável é apresentada pela amostra com 1,80g/cm³ de densidade após secagem, sendo na prática muito próxima à da composição 1,90 g/cm³. Ambas têm praticamente o mesmo volume de poros (14 e 15%, respectivamente, em análise de imagens). Já a composição com 1,70 g/cm³ apresenta uma distribuição mais larga, com presença de poros maiores, bem como um volume maior (21%), indicando a baixa compactação.

Esta diferença se manifesta claramente analisando os dados referentes ao manchamento obtidos para as 3 composições, onde podemos ainda observar a influência da estrutura de poros (quantidade e tamanho) sobre o manchamento das peças (Tabela I).

Os resultados indicam, por um lado, a importância da compactação para o fenômeno do manchamento, e, por outro, o fato de que parece haver um limite de proporcionalidade entre compactação e volume da porosidade fechada, já que não se notam diferenças entre 1,80 e 1,90 g/cm³. Isto indica que, também para a compactação da massa, existe um ponto ótimo, não se podendo afirmar que uma maior densidade do compacto a verde represente diretamente uma menor porosidade resultante. Ao nosso ver, seria mais correto dizer que uma maior densidade a verde significa uma menor retração para atingir a densidade final, visto que o volume de poros parece apresentar um limite mínimo.

Uma maior compactação da massa resulta, inevitavelmente, em uma diminuição da permeabilidade do corpo à saída dos gases. Entende-se que esta diminuição da permeabilidade contrabalança a maior compactação, impedindo uma redução maior do volume de poros.

Voltando aos dados da Tabela I, tendo em conta que o volume total dos poros (determinados por análise de imagens) referentes à composição 1,70 g/cm³ é de cerca de 21%, da massa REFERÊNCIA de cerca de 25%, e das massas 1,80 e 1,90 g/cm³ da ordem de 15%, e que, indiscutivelmente, o pior resultado é o da massa de 1,70 g/cm³, podemos associar o manchamento muito mais a distribuição de tamanhos dos poros, particularmente à presença de poros grandes (> 50-100 µm, em análise de imagens) do que ao volume total de poros.

O ciclo de queima

A Figura 12 ilustra o comportamento característico da queima de uma massa de grés porcelanato.

Observa-se que, a partir do momento em que a porosidade aberta se aproxima de zero (típica do produto) e, portanto, a porosidade total passa a se relacionar diretamente com a porosidade fechada, existe um decréscimo no valor da porosidade fechada, atingindo um valor mínimo, a partir do qual, aumentando-se a temperatura, volta a aumentar a porosidade fechada.

Este ponto de mínimo determina o ponto ideal de queima do produto, no que diz respeito à porosidade, conforme pode ser visto nas imagens da Figura 13.

O aumento do volume de poros, a partir de uma certa temperatura, é conhecido como inchamento, e resulta de

Tabela I. Valores de resistência ao manchamento para algumas composições.

	Compactação (g/cm ³)			
	1.70	1.80	1.90	R1212
Ag. Manchantes	3	5	5	5
Iodo	3	5	5	5
Azeite	2 (NaOH)	5	5	5
Óxido de cromo	2 (NaOH)	5	5	4

um aumento na pressão dos gases aprisionados no interior dos poros, quer pela temperatura, quer pela própria redução de volume, que supera o valor da tensão superficial da fase vítrea, que por sua vez diminui com o aumento da temperatura.

Na Figura 14 podemos constatar um estreitamento da distribuição quando do avanço de 1220 para 1212 °C, e um retrocesso (menos acentuado) quando comparamos os valores referentes a 1212 e 1225 °C. Estes resultados também são refletidos pela resistência ao manchamento apresentada pelas superfícies (Tabela II), onde mais uma vez pode ser feita a associação de piores resultados à maior ocorrência de poros de diâmetro grande.

Conclusões

- Os poros são achatados e se distribuem ao longo de todo o volume da peça, não apresentando concentrações em regiões localizadas ou regiões isentas de poros;

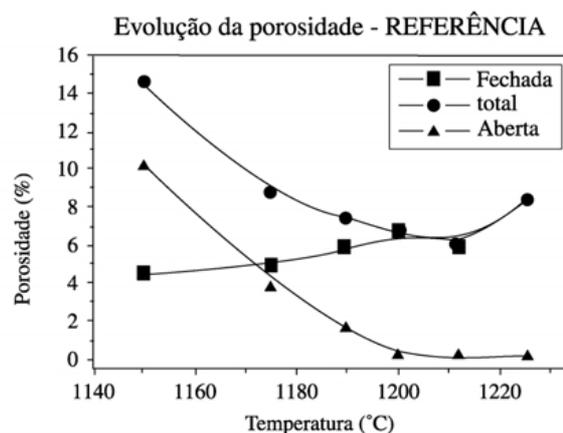


Figura 12. Evolução das porosidades aberta, fechada e total em função da temperatura de queima. Densidade real obtida por picnometria de hélio.

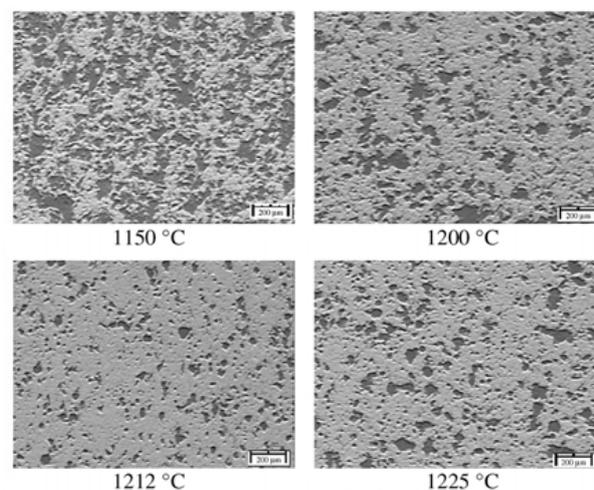


Figura 13. Sequência de imagens obtidas para diferentes temperaturas de queima. Escala 200 µm.

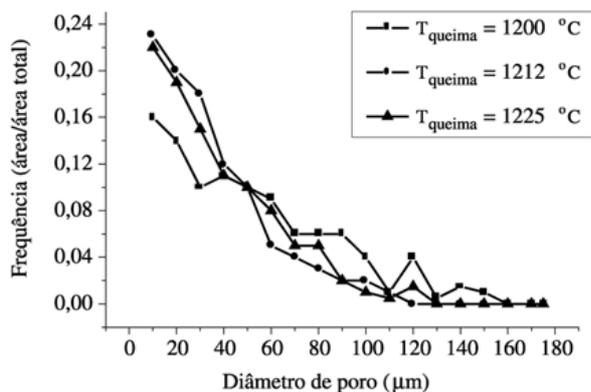


Figura 14. Frequência de poros em função do diâmetro.

Tabela II. Resultados de resistência ao manchamento para algumas amostras.

	Temperatura (°C)		
	1200	1212	1225
Ag. Manchantes	1200	1212	1225
Iodo	5	5	5
Azeite	2 (NaOH)	5	5
Óxido de cromo	2 (NaOH)	4	4

- O manchamento está associado muito mais à distribuição de tamanho dos poros que ao volume total de poros;
- A presença de grânulos de tamanho inferior a 212 μm na massa aumenta consideravelmente o volume final de poros presente no material;
- O volume final de poros não é proporcional à compactação da massa, apresentando um intervalo de mínimo estável para valores entre 1,80 e 1,90 g/cm³, para a massa em estudo;
- É importante que o ciclo de queima do produto esteja ajustado para o ponto de mínima porosidade verificado no comportamento durante a queima da massa.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e ao PPG-CEM da UFSCar, pelo incentivo à pesquisa, e ainda ao CCB, Centro Cerâmico do Brasil, em especial à Srta. Cláudia Gilbertoni, à Eliane S.A., em especial ao Sr. Francisco Guimarães, e ao LAMAV, em especial ao Sr. Carlos Eduardo Casado e Dra. Cátia Fredericci, pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Referências Bibliográficas

1. Campagnaro, A. "El Tratamiento Del Gres Porcelánico y Algunos Ejemplos de Manchas de Pavimentos Ceramicos" *Cerâmica Informação*, n. 217, pg. 63-67 (1996).
2. Lemos, F.L.N.; Menegazzo, A.P.M.; Gouvea, D.; Paschoal, J.O.A. "Avaliação da Resistência ao Manchamento de Grés Porcelanato Frente à Ação de Diversos Agentes Manchantes" *Anais do 45º CBC*, ref. 05/024 (2001, cd-rom).
3. Dondi, M.; Ercolani, G.; Melandri, C.; Mingazzini, C.; Marsigli, M. "Composición de Baldosas de Gres Porcelánico y su Influencia en las Propiedades Microestructurales y Mecánicas" *Ceramic News*, Vol 7, n.1, pg. 24-30 (2000).
4. Oliveira, A.P.N. de "Grés Porcelanato: Aspectos Mercadológicos e Tecnológicos" *Cerâmica Industrial*, V.3(3), pg. 34-41(1998).
5. Beltrán, V.; Ferrer, C.; Bagán, V.; Sanches, E.; García, J.; Mestre, S. "Influencia de las Características del Polvo de Prensas y de la Temperatura de Cocción Sobre la Microestructura Porosa y Resistencia a las Manchas de Baldosas de Gres Procelánico" *Anais do Qualicer 96*, Castellón, Espanha, ITC, pg. 137 a 152 (1996).
6. Albero, J.L.A. "A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial. Parte 1: O Preenchimento das Cavidades do Molde" *Cerâmica Industrial* V.5(5), pg. 23-28 (2000).
7. Ribeiro, M.J.P.M.; Labrincha, J.A.; Ventura, J.M.G. "A Atomização: Influência de Algumas das Variáveis do Processo" *Kerâmica*, n. 237, pg. 18-28 (1999).
8. Quinteiro, E. "Efeito das Características de Pós Granulados sobre o Processamento e Qualidade de Revestimentos Cerâmicos" dissertação de mestrado PPG-CEM, UFSCar-DEMa, 132p. (1996).
9. Reed, J.S. "Desde la Carga Hasta la Baldosa Prensada: Mecánica y Cambios Microestructurales del Sistema" *Anais do Qualicer 2000*, vol.I, pg. Con-23-41 (2000).
10. Albero, J.L.A. "A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial. Parte II: A Compactação" *Cerâmica Industrial* V.5(6), pg. 14-20 (2000).
11. Galesi, D.F.; Silva, L.L.; Melchiades, F.G.; Arantes, F.J.S.; Quinteiro, E.; Boschi, A.O. "Influence of the Granules Size Distribution on the Closed Porosity of Porcelain Stoneware Tiles" *Acta Microscopica*, Vol.9(A), pg. 241-242 (2000).
12. Arantes, F.J.S.; Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. "Caracterização Comparativa Entre Massas Nacionais de Revestimentos Cerâmicos" *Anais do 43º CBC*, Ref. 453, (2000, cd-rom).