

## Polimento em Peças de Porcelanato: Avaliação da Porosidade Final e da Resistência ao Manchamento

Helton José Alves<sup>a</sup>, Fábio Gomes Melchiadés<sup>a</sup>, Márcio Roberto de Freitas<sup>a</sup>,  
Anselmo Ortega Boschi<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Laboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC  
Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa  
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar  
Rod. Washington Luiz, Km 235, 13574-970  
São Carlos- SP, Brasil  
\*e-mail: daob@ufscar.br

**Resumo:** O polimento de placas de porcelanato é um processo que agrega valor ao revestimento cerâmico por causa do elevado brilho atingido em função da redução da rugosidade superficial. Entretanto, o polimento da superfície remove uma fina camada do produto revelando muitos poros “fechados” localizados inicialmente no interior do material, o que pode comprometer algumas propriedades como a resistência ao manchamento. Existem indícios na literatura que apontam para uma possível orientação dos poros em superfícies paralelas à de uso do produto. Baseado nesta hipótese o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar como a espessura da camada removida pelo polimento atua sobre o perfil de poros gerados na superfície, e conseqüentemente, sobre a resistência ao manchamento. Os resultados deste estudo são inéditos e revelam que a tendência ao manchamento do porcelanato pode ser alterada significativamente conforme varia a intensidade do desgaste superficial introduzido pelo polimento.

**Palavras-chave:** porcelanato, porosidade, polimento, resistência ao manchamento.

### 1. Introdução

O polimento é realizado em peças sinterizadas com o objetivo de reduzir a rugosidade superficial e aumentar o brilho, conferindo características estéticas bastante valorizadas pelo consumidor. O processo consiste no uso de um equipamento dotado de várias cabeças polidoras de alta rotação compostas de materiais abrasivos que em contato com as peças sob velocidade controlada e presença de água, executam o polimento.<sup>1,2</sup>

Durante o polimento é inevitável aumentar o volume de poros que permanecerão na superfície do produto acabado. A remoção de uma fina camada superficial, que normalmente varia entre 0,5 e 1,5 mm de acordo com as características do polimento industrial adotado, exibe uma nova superfície constituída por muitos poros abertos que anteriormente encontravam-se “fechados” no interior do material. Estes poros aparecem distribuídos ao longo de toda a superfície da peça, podendo ser visíveis em microscópios utilizando pequenos aumentos.<sup>3-5</sup>

Algumas variáveis do processo de polimento podem alterar as características da superfície final do produto afetando o seu desempenho técnico e estético. Recentemente, estudos baseados na velocidade e na frequência das máquinas polidoras revelaram que as oscilações dos movimentos transversais e laterais das cabeças polidoras, utilizadas industrialmente no polimento cinemático, modificam a área efetivamente polida da superfície do produto e também o brilho apresentado pelo mesmo.<sup>6-7</sup>

Nos experimentos realizados por Arantes, et al.<sup>8</sup> foi constatado que os poros do porcelanato sofrem uma orientação causada pela etapa de prensagem, sendo observada uma gradiente de porosidade ao longo da seção transversal à superfície de uso do produto. Com base nestes resultados, pode-se estimar que outra variável importante a ser considerada é a espessura da camada superficial removida pelo polimento. Neste caso, variações na espessura da camada removida poderiam modificar o perfil dos poros revelados à superfície tendo

em vista que o volume, o tamanho e a morfologia dos poros seriam diferentes em cada situação de desgaste avaliada. Conseqüentemente, a resistência ao manchamento do produto também deve sofrer alterações tendo em vista que é uma propriedade intrinsecamente dependente das características dos poros superficiais.<sup>9,10</sup>

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar se a intensidade do desgaste provocado pelo polimento pode modificar a microestrutura porosa da superfície final do porcelanato e a resistência ao manchamento. Adicionalmente, este estudo contribui para o incremento da escassa literatura conhecida sobre o tema.

### 2. Materiais e Métodos

Uma tipologia de porcelanato polido comercial denominada STD foi selecionada como objeto deste estudo. STD possui cor branca e é conhecida por ser vulnerável ao manchamento.

#### 2.1. Caracterização física da porosidade

Inicialmente, foram retirados corpos de prova de peças comerciais polidas de STD pelo corte preciso das mesmas em disco diamantado. Os corpos de prova foram submetidos à limpeza em ultra-som pelo tempo de 20 minutos e secos a 110 °C por 24 horas.

Em seguida, foram determinados os valores de: absorção de água ( $A$ ) pelo método de fervura em água durante o tempo de duas horas, de acordo com a norma NBR 13818 – Anexo B;<sup>11</sup>

porosidade aparente ( $\epsilon_\lambda$ ) pelo princípio de Arquimedes; porosidade total ( $\epsilon$ ) e porosidade fechada ( $\epsilon_f$ ), através das equações:

$$\epsilon = 1 - \left( \frac{\rho_C}{\rho_R} \right) \quad (1)$$

$$\varepsilon_F = \varepsilon - \varepsilon_A \quad (2)$$

onde  $\rho_C$  é a densidade aparente e  $\rho_R$  corresponde à densidade absoluta (determinada por picnometria de gás hélio - Quantachrome Ultrapycometer 1000). Foram utilizados dez corpos de prova da amostra STD para os ensaios de determinação da porosidade.

## 2.2. Caracterização da porosidade superficial e transversal

Para verificar a existência de possíveis orientações dos poros e gradientes de porosidade ao longo do volume do corpo cerâmico foi adotada uma metodologia baseada na caracterização comparativa dos poros superficiais e dos poros avaliados na seção transversal à superfície do produto. Para isso, foram utilizadas peças STD sem polimento (recém sinterizadas) fornecidas pela empresa fabricante.

Oito corpos de prova de cada seção avaliada (superfície e transversal) foram retirados das peças sem polimento em regiões aleatórias. Na seqüência, os corpos de provas da seção transversal foram lixados e polidos utilizando um sistema automático com água, composto por um disco rotatório e uma série de cinco lixas, de modo a revelar os poros fechados do material. O tempo de permanência em cada lixa foi de 15 minutos, o que garantiu a obtenção de superfícies preparadas sobre as mesmas condições.<sup>12</sup> De maneira parecida, os corpos de prova da superfície das amostras também foram lixados e polidos, entretanto, foi realizada uma simulação do polimento industrial obtendo três situações distintas de desgaste, determinadas por variações do tempo de permanência em cada lixa utilizada: remoção da camada superficial igual a 0,5, 1,0 e 1,5 mm. Dessa forma, foram obtidas superfícies que simulam o intervalo de desgaste variável normalmente adotado no polimento industrial. O controle da espessura do material desgastado foi feito pelo uso de um paquímetro digital. Todos os corpos de prova polidos foram submetidos à limpeza em ultra-som pelo tempo de 20 minutos e secos a 110 °C por 24 horas.

A microestrutura porosa dos corpos de prova pôde ser observada em imagens digitais (micrografias) obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV, Leo Stereoscan 440). A metodologia de coleta das imagens foi diferenciada de acordo com a seção analisada. As imagens das superfícies polidas foram coletadas em regiões aleatórias enquanto que as imagens da transversal foram obtidas ordenadamente a partir de pontos localizados logo abaixo da superfície original (sem polimento) até atingir uma distância aproximada de 1,5 mm no sentido do centro da peça. Neste caso, a análise da seção transversal permitiu observar a porosidade do produto concentrada na região normalmente removida pelo polimento, ou seja, dentro de uma camada de 1,5 mm abaixo da superfície original. O aumento utilizado na captura das imagens foi o mesmo, o que padronizou a área do corpo de prova observada, permitindo assim a comparação direta entre as imagens de distintas regiões.

A análise das imagens digitais utilizando o software Image-Pro 4.5 plus possibilitou a determinação do percentual correspondente à área coberta pelos poros em relação à área total das imagens analisadas, a distribuição de seus diâmetros, e ainda, os aspectos morfológicos (razão de aspecto).

### 2.2.1. Análise da porosidade por perfilometria de contato mecânico

Paralelamente, foi realizado um estudo complementar com o objetivo de confirmar os resultados da caracterização da porosidade do porcelanato obtidos pelo método de análise de imagens. A técnica de perfilometria de contato mecânico foi escolhida para medir a rugosidade superficial ( $R_a$ ) e avaliar indiretamente o perfil dos poros do produto, tendo em vista sua magnitude. O equipamento denominado perfilômetro de contato utiliza um apalpador de ponta cônica fina de dimensão de 2  $\mu\text{m}$  posicionado sobre a amostra e

um motor elétrico que provoca o deslocamento horizontal deste apalpador sobre a superfície. Os movimentos verticais do apalpador são convertidos em sinais elétricos e utilizados posteriormente para a quantificação da rugosidade.<sup>2,13</sup> A rugosidade média ( $R_a$ ) é o parâmetro mais utilizado como indicador da rugosidade de uma superfície, podendo ser calculada através da média aritmética dos valores absolutos das alturas dos pontos que compõem o perfil, em relação à linha média (LM), conforme ilustra a Figura 1a. A linha média é uma linha de referência que divide o perfil de rugosidade, de forma que a soma das áreas superiores seja igual à soma das áreas inferiores. O aumento da rugosidade média superficial é acompanhado pelo incremento dos valores de  $R_a$ .

Na análise de um revestimento cerâmico esmaltado, tanto os picos quanto os vales contribuem para o cálculo de  $R_a$  (Figura 1a). Porém, considerando que as amostras em estudo são polidas, somente os vales determinam o seu valor (Figura 1b). Neste trabalho os vales foram associados aos poros da superfície polida. Dessa forma, o diâmetro de cada poro foi relacionado à distância percorrida horizontalmente pela ponta do apalpador durante a ocorrência de um movimento vertical (quando a ponta do apalpador percorre a superfície interna do poro). Tendo em vista as particularidades encontradas na determinação de  $R_a$  em revestimentos polidos, os valores encontrados foram associados à profundidade média dos poros superficiais.

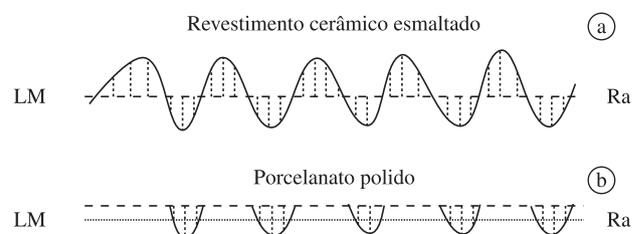
Para o estudo, os corpos de prova da superfície que sofreram desgaste superficial progressivo foram submetidos ao ensaio, utilizando comprimentos de amostragem de 10 mm com velocidade de deslocamento do apalpador de 1  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-3}$ . Foram realizadas cinco medidas por corpo de prova. De acordo com os resultados fornecidos pelo equipamento foi possível obter informações sobre o diâmetro e a profundidade dos poros superficiais da amostra, que por sua vez puderam ser relacionadas com o diâmetro médio dos poros da superfície e da seção transversal (determinados por análise de imagens), respectivamente.

### 2.3. Avaliação da resistência ao manchamento

Os corpos de prova das superfícies que sofreram desgaste progressivo foram submetidos ao ensaio de resistência ao manchamento, de acordo com os procedimentos da norma NBR 13818 – Anexo G.<sup>14</sup> Os agentes manchantes utilizados foram verde cromo (solução oleosa contendo 40 wt% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - recomendado pela norma) e terra (solução aquosa contendo 50wt% de terra vermelha - simulando as condições encontradas no dia-a-dia).

Os agentes manchantes foram aplicados na forma de gotas, de maneira a ocuparem uma área circular plana, permanecendo em contato com a superfície do revestimento durante 24 horas. Em seguida, os corpos de prova passaram sucessivamente pelos seguintes processos de limpeza:

- Lavagem da superfície com água morna.
- Limpeza manual com detergente neutro.
- Limpeza manual com pasta abrasiva alcalina.
- Imersão por 24 horas em ácido clorídrico (3% em volume).



**Figura 1.** Parâmetro de rugosidade média superficial ( $R_a$ ): a) revestimento cerâmico esmaltado, b) porcelanato polido.

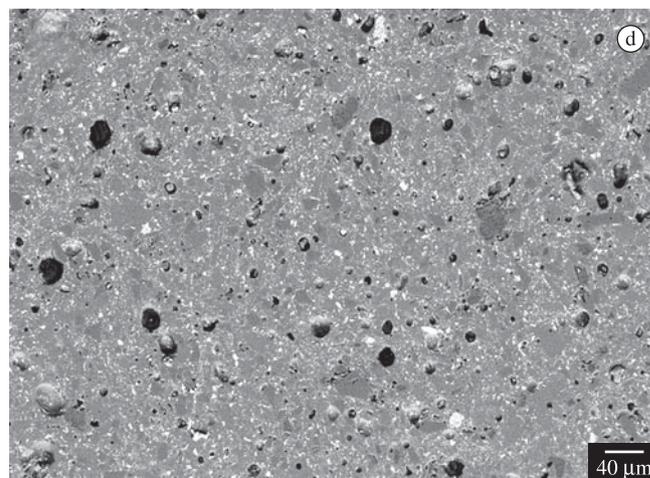
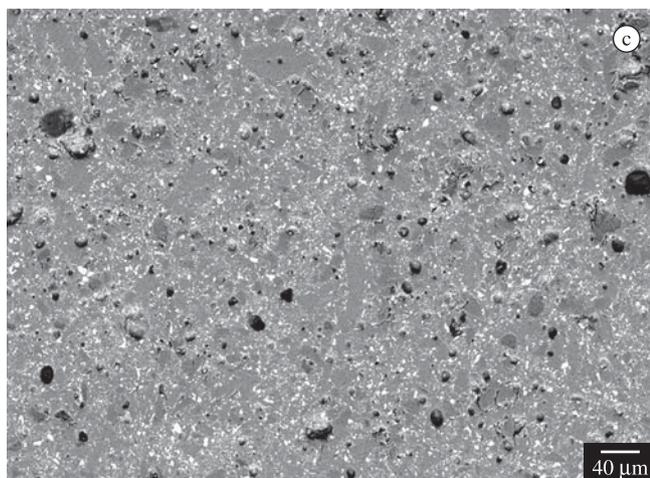
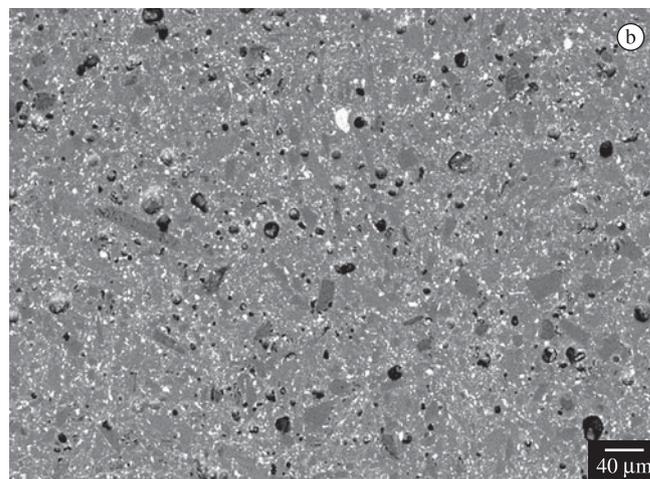
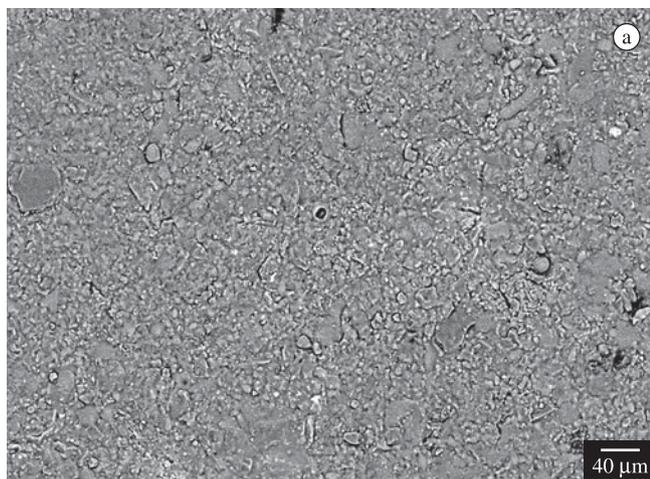
Após o primeiro processo de limpeza (a) foi realizado um exame visual e caso as manchas não tivessem sido removidas passava-se para os processos de limpeza seguintes (b-d), se necessário. De acordo com a facilidade de remoção das manchas e o teste de limpeza realizado os corpos de prova foram classificados segundo a limpabilidade, como segue:

1. Mancha irremovível.
2. Mancha removida com ácido clorídrico.
3. Mancha removida com pasta abrasiva alcalina.
4. Mancha removida com detergente de cozinha.
5. Mancha removida com água morna.

A intensidade das manchas foi avaliada pela diferença de coloração,  $\Delta E^*$ , entre a superfície antes do manchamento e após os processos de limpeza, na região onde os agentes manchantes haviam sido aplicados.<sup>14</sup> Os valores de  $\Delta E^*$  foram determinados por um espectrofotômetro de reflectância difusa (Konica Minolta CM – 2600d), utilizando um padrão observador de 10° e luz padrão D65 (equivalente à luz do dia), através da seguinte equação:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3)$$

onde  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$  e  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  são as coordenadas cromáticas das amostras antes do manchamento e após os processos de limpeza, respectivamente. Quanto maior o valor de  $\Delta E^*$  mais intensa é a mancha observada na superfície.



**Figura 2.** Micrografias obtidas no MEV da superfície de STD: a) superfície original sem polimento, b) desgaste de 0,5 mm, c) desgastes de 1,0 mm, d) desgaste de 1,5 mm.

A determinação da intensidade das manchas por espectrofotometria tem se mostrado bastante eficiente na avaliação da tendência ao manchamento em revestimentos cerâmicos, conforme observado em trabalhos recentes.<sup>4,15,16</sup>

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização física da porosidade de STD. Nota-se que embora os valores de  $A$  e  $\epsilon_A$  sejam baixos, a porosidade fechada  $\epsilon_F$  é elevada, o que pode comprometer algumas propriedades do produto polido.

#### 3.1. Desgaste superficial progressivo

O principal objetivo do desgaste superficial consistiu em verificar se a espessura da camada removida no polimento tinha relação com a tendência ao manchamento apresentada pelo produto. Os resultados apontaram para as mudanças causadas na microestrutura porosa de STD quando a espessura da camada removida pelo polimento variava.

A Figura 2 mostra as micrografias das superfícies antes do polimento e após o polimento de STD realizado no laboratório

**Tabela 1.** Caracterização da porosidade dos corpos de prova de STD.

| Amostra | $A$ (%)         | $\epsilon_A$ (%) | $\epsilon_F$ (%) | $\epsilon_a$ (%) |
|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| STD     | $0,03 \pm 0,02$ | $0,08 \pm 0,05$  | $10,60 \pm 0,08$ | $10,68 \pm 0,19$ |

<sup>a</sup> o valor de  $\rho_R$  obtido para o cálculo de  $\epsilon$  foi de  $2,750 \text{ g.cm}^{-3}$ .

(a) sem polimento; (b) camada removida de 0,5 mm; (c) camada removida de 1,0 mm; (d) camada removida de 1,5 mm). Quando se compara a micrografia da Figura 2a com as demais apresentadas na Figura 2, é possível notar a abertura dos poros fechados causada pelo polimento.

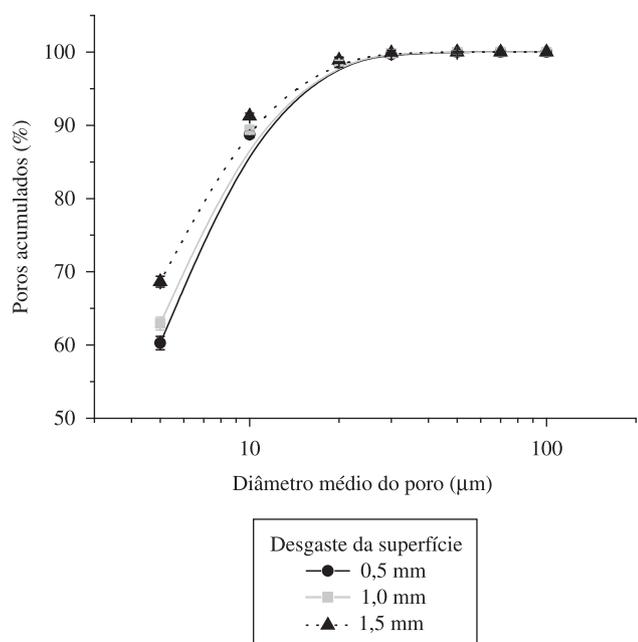
A análise das imagens (16 imagens em cada condição de desgaste) pelo software Image-Pro 4.5 plus revelou que a área ocupada pelos poros não varia significativamente com o aumento da espessura da camada removida pelo polimento, como mostram os dados da Tabela 2. Entretanto, conforme o desgaste avança no sentido do interior da peça, diminui a ocorrência de poros que apresentam diâmetros críticos ao manchamento, ou seja, entre 5 e 20  $\mu\text{m}$  (Figura 3).<sup>9</sup> A tendência ao formato esférico também aumenta com a evolução do grau de polimento, conforme mostra o gráfico da Figura 4.

### 3.2. Análise da seção transversal

A caracterização da porosidade do produto na seção transversal foi realizada com o objetivo de identificar a presença de gradientes de poros e coletar indícios de uma possível orientação dos mesmos. De acordo com a metodologia adotada na coleta das imagens no MEV (descrita no item 2.2), obteve-se uma espécie de “mapeamento” da porosidade de STD ao longo de sua seção transversal, partindo de regiões ligeiramente abaixo da superfície original (sem polimento) até regiões com aproximadamente 1,5 mm de profundidade. A Figura 5 apresenta algumas micrografias da seção transversal: (a) corresponde à região mais próxima à superfície original do produto sem polimento

**Tabela 2.** Área correspondente aos poros superficiais.

| Área de cobertura dos poros superficiais/<br>área total da imagem (%) |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|
| Desgaste de 0,5 mm  | Desgaste de 1,0 mm | Desgaste de 1,5 mm |
| 3,31 ± 0,23   | 3,34 ± 0,18        | 3,69 ± 0,34        |



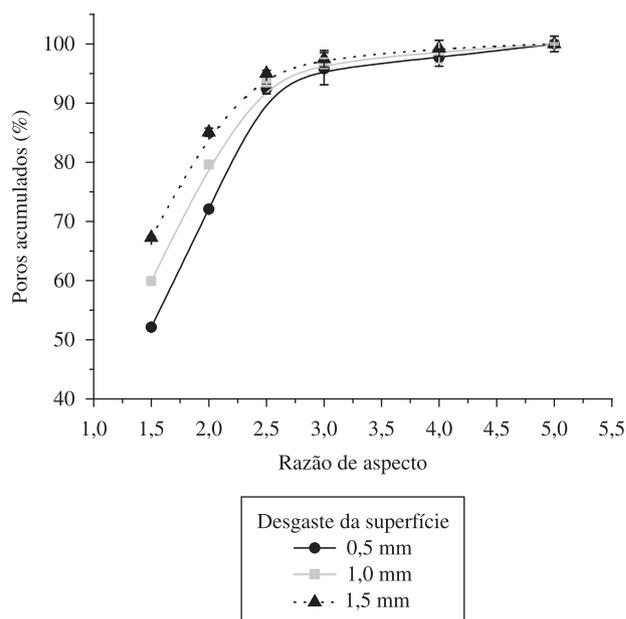
**Figura 3.** Distribuição de diâmetros dos poros superficiais de STD após o desgaste progressivo.

(< 0,5 mm); (b) encontra-se em uma região abaixo de (a) (0,5 - 1,0 mm); (c) localiza-se em uma região mais distante da superfície original, logo abaixo de (c) (1,0 - 1,5 mm). Nas Figuras 6 e 7 são encontrados os resultados que representam uma média obtida pela análise de 16 imagens de cada região, provenientes de diferentes corpos de provas.

Analisando a Figura 6, nota-se que existe um aumento do tamanho dos poros na seção transversal conforme se afasta da superfície original do produto (sem polimento). Este aumento é acompanhado pelo incremento da área ocupada pelos poros na direção do centro das peças (Tabela 3). Conforme se avança da superfície para o interior do corpo cerâmico a área ocupada pelos poros pode aumentar cerca de 70%, o que indica a existência de uma espécie de “gradiente de porosidade” ao longo da seção transversal. Outro fato importante é que a área de poros em regiões logo abaixo da superfície polida (transversal – região < 0,5 mm) é aproximadamente 25% menor do que a área de poros das superfícies polidas, como pode ser observado analisando os dados das Tabelas 3 e 2, respectivamente.

Existe ainda um aumento da tendência ao formato esférico quando se distancia da superfície de uso, havendo maior concentração de poros alongados em regiões próximas à superfície (Figura 7).

A discrepância entre os valores de área dos poros superficiais e transversais, e as variações morfológicas observadas, pode estar relacionada à orientação dos poros durante a etapa de compactação.<sup>8,16</sup> Neste caso, a prensagem do pó atomizado faz com que os poros superficiais sofram maior deformação e, tão logo, maior distorção de formato (achatamento) por estarem mais próximos das áreas de

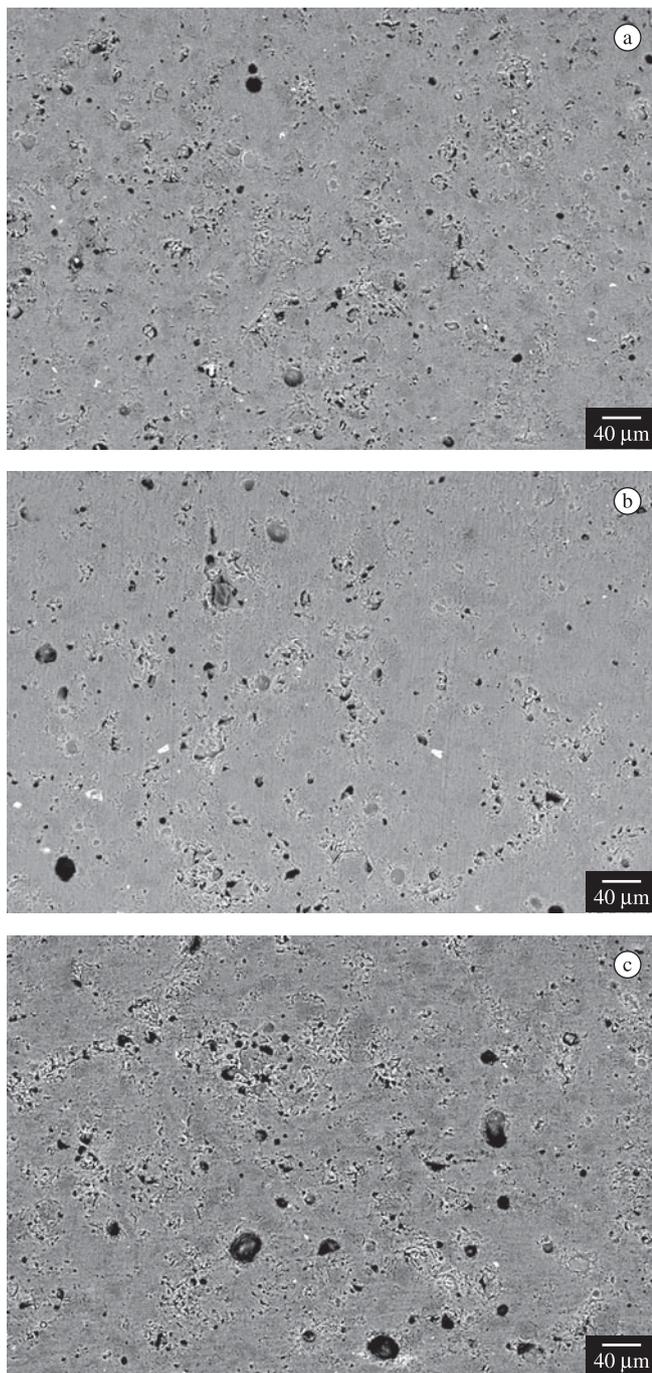


**Figura 4.** Distribuição da razão de aspecto dos poros superficiais de STD após o desgaste progressivo.

**Tabela 3.** Área correspondente aos poros da seção transversal.

| Área de cobertura dos poros da seção transversal/<br>área total da imagem (%) |   |  |
|---|---|--|
| Região próxima à<br>superfície original<br>(< 0,5 mm)                         | Região<br>intermediária<br>(0,5 - 1,0 mm) | Região mais distante<br>da superfície original<br>(1,0 - 1,5 mm) |
| 2,86 ± 0,21   | 3,30 ± 0,19                               | 4,26 ± 0,23  |

solicitação mecânica, causando um efeito amortecedor da pressão de compactação que não consegue atingir com tanta eficácia o centro da peça onde os poros são mantidos mais próximos do molde e tamanho que possuíam durante o preenchimento do molde. Isso explica o motivo pelo qual os poros mais distantes da superfície do produto apresentaram maior tendência à esfericidade, tanto na análise superficial (item 3.1) quanto na análise transversal. A orientação dos poros também justifica a variação dos seus tamanhos ao longo da peça, pois de acordo com os resultados os poros mais orientados (próximos à superfície) apresentam diâmetros maiores quando observados

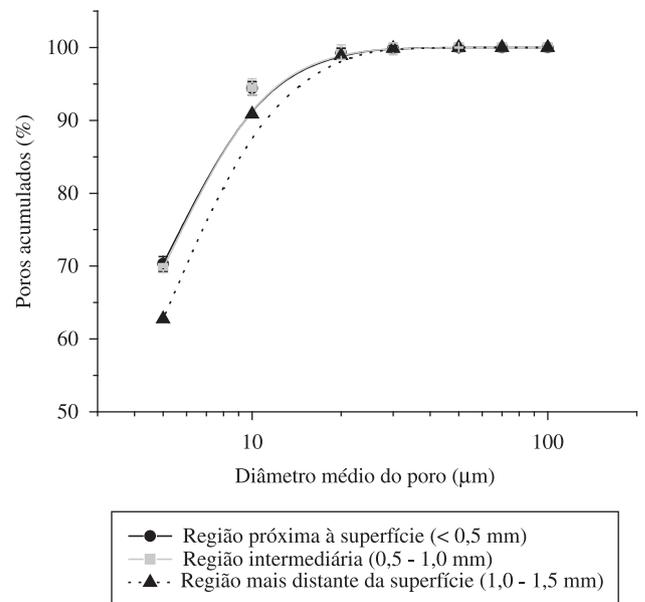


**Figura 5.** Micrografias obtidas no MEV da seção transversal de STD: a) representa uma região próxima à superfície original da peça sem polimento ( $< 0,5\text{ mm}$ ), b) representa uma região intermediária (0,5 - 1,0 mm), e c) representa uma região mais interna do produto, logo abaixo de b) (1,0 - 1,5 mm).

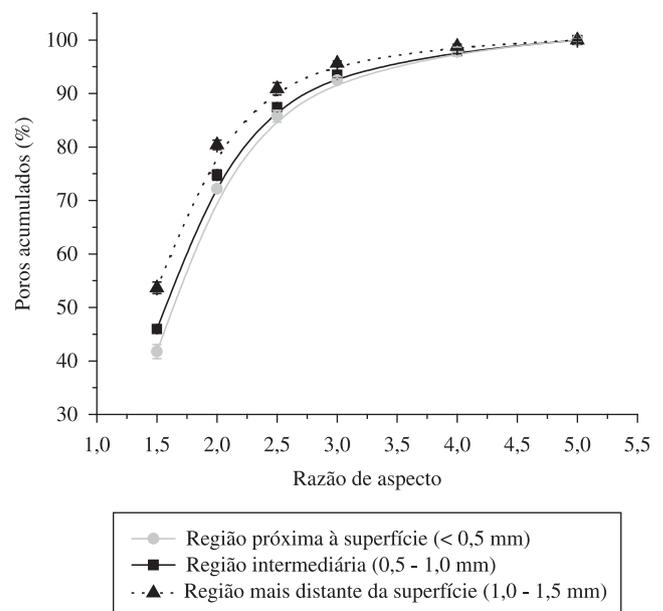
pela superfície (Figura 3) e menores quando observados pela seção transversal (Figura 6).

### 3.3. Determinação do perfil dos poros por medidas de rugosidade superficial

Conforme discutido no item 3.2, a caracterização da microestrutura porosa da superfície e da seção transversal apontou para uma orientação dos poros causada durante a etapa de prensagem. Como a hipótese levantada foi baseada somente nos resultados de análise de



**Figura 6.** Distribuição de diâmetros dos poros da seção transversal de STD.



**Figura 7.** Distribuição dos valores de razão de aspecto dos poros da seção transversal de STD.

**Tabela 4.** Rugosidade média (Ra) das superfícies de STD obtida em distintas condições de desgaste

| Desgaste superficial | Ra            |
|----------------------|---------------|
| 0,5 mm               | 0,246 ± 0,004 |
| 1,0 mm               | 0,286 ± 0,003 |
| 1,5 mm               | 0,375 ± 0,007 |

imagens, foi utilizada a técnica de perfilometria de contato mecânico de maneira complementar.

A Tabela 4 mostra os valores de Ra obtidos nas distintas condições de desgaste avaliadas. Com base nos resultados apresentados pela análise foram determinadas adicionalmente as distribuições de diâmetros dos poros superficiais, conforme pode ser visto na Figura 8.

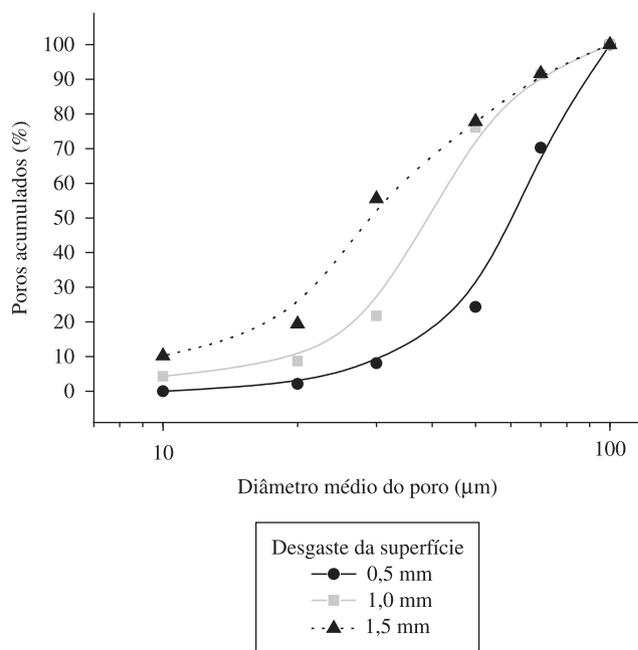
Os resultados apresentados revelam que o aumento da espessura da camada removida pelo polimento (desgaste progressivo) é acompanhado pelo aumento de Ra e pela diminuição do diâmetro médio dos poros. Isso significa que quanto mais próximo da superfície original da peça (sem polimento) menor é a profundidade média dos poros (menor Ra) e maior são os seus diâmetros, ou seja, existe uma maior orientação. Conforme se dirige para o centro da peça a profundidade média e o diâmetro dos poros diminui, uma vez que a orientação dos poros é menor.

Tais resultados estão de acordo com aqueles apresentados nos itens 3.1 e 3.2, e indicam que as técnicas de análise de imagens e perfilometria de contato mecânico podem ser utilizadas em conjunto para a caracterização da porosidade de revestimentos cerâmicos polidos.

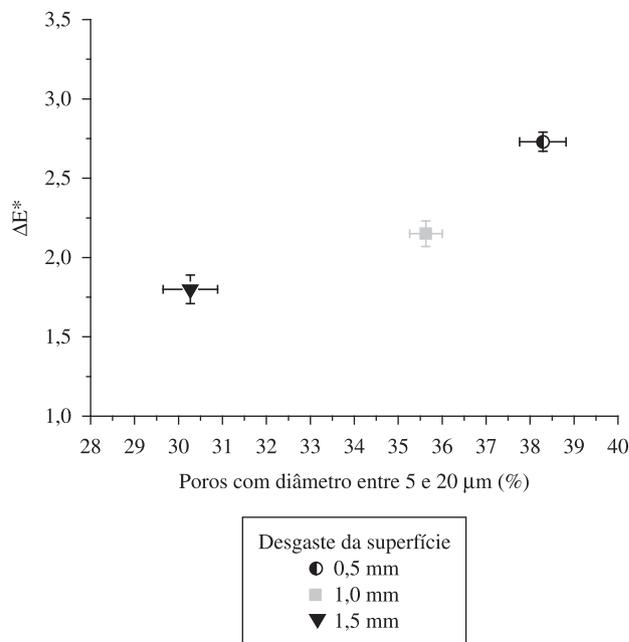
### 3.4. Tendência ao manchamento

Para confirmar os resultados observados os corpos de prova polidos foram submetidos ao ensaio de manchamento conforme os procedimentos descritos no item 2,3. Mesmo após todos os processos de limpeza realizados as manchas continuaram sendo observadas na superfície, caracterizando o produto como pertencente à classe de limpabilidade 1. As superfícies dos corpos de prova foram analisadas quanto à diferença de coloração  $\Delta E^*$  apresentada entre as regiões onde o agente manchante havia sido aplicado e regiões que não receberam a aplicação do agente manchante. Consequentemente, os maiores valores de  $\Delta E^*$  observados foram atribuídos à maior dificuldade de remoção da mancha (maior intensidade da mancha resultante). De acordo com a Figura 9 ocorre uma diminuição da intensidade da mancha (diminuição do valor de  $\Delta E^*$ ) conforme aumenta a espessura da camada removida no polimento, pois neste caso, há uma redução significativa do percentual de poros com diâmetro crítico ao manchamento, ou seja, entre 5-20  $\mu\text{m}$ .

Os resultados obtidos indicaram que a espessura da camada removida pelo polimento pode alterar a intensidade com que as manchas são visualizadas na superfície. Para o produto analisado, a remoção de 1,5 mm da camada superficial pelo polimento contribui mais para redução da intensidade das manchas do que a remoção de 0,5 mm. As variações de intensidade das manchas por sua vez se justificam pelas distintas distribuições de diâmetros dos poros e de razão de aspecto apresentadas pelas diferentes superfícies geradas após cada etapa do desgaste realizado. Neste caso, onde a área de poros permanece praticamente inalterável com o avanço do desgaste superficial, tal situação pode ser um indicativo da existência de uma espécie de orientação dos poros causada possivelmente por gradientes de deformação dos grânulos atomizados gerados na prensagem do pó.



**Figura 8.** Distribuição de diâmetros dos poros determinada por perfilometria de contato mecânico.



**Figura 9.** Variação da intensidade das manchas de acordo com o percentual de poros com diâmetro crítico ao manchamento, gerados em condições distintas de desgaste superficial.

## 4. Conclusões

Com base nos resultados foram obtidas as seguintes conclusões:

- A espessura da camada removida no polimento pode afetar a intensidade das manchas observadas na superfície do porcelanato, uma vez que a distribuição de tamanho dos poros e a morfologia são alteradas conforme se avança da superfície para o interior da peça. A melhor condição encontrada foi aquela na qual se observou o menor percentual de poros com diâmetro

entre 5 e 20  $\mu\text{m}$  e maior caráter esférico dos poros, ou seja, com remoção de 1,5 mm da camada superficial pelo polimento.

- O uso do espectrofotômetro para a avaliação da tendência ao manchamento foi considerado bastante promissor. Os valores de  $\Delta E^*$  obtidos mostraram uma boa correlação com a porosidade.
- Quanto à caracterização da porosidade na seção transversal das peças, os resultados obtidos fundamentam as seguintes premissas:
- Os poros mais próximos à superfície do produto sofrem orientação (achatamento), provavelmente causado pela etapa de prensagem. Neste caso, quanto menor a espessura da camada removida pelo polimento, maior será a intensidade das manchas visualizadas, uma vez que o percentual de poros com diâmetro crítico ao manchamento nesta região das peças é maior.
- Existe uma gradiente de porosidade ao longo da espessura do material, o que comprova a orientação dos poros causada pela etapa de prensagem. Quando observadas pela seção transversal (MEV), as regiões mais próximas ao centro das peças possuem maior área ocupada pelos poros do que as regiões mais próximas à superfície original do produto (sem polimento), o que se justifica pela diminuição da orientação dos poros quanto mais distante da superfície. Estes resultados foram confirmados pelo emprego da técnica de perfilometria de contato mecânico, que por sua vez se mostrou bastante útil na complementação da caracterização da porosidade.

## Referências

1. BITTENCOURT, E. L.; BENINCÁ, E. Aspectos superficiais do produto grês polido. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 4, p. 40-46, 2002.
2. WIGGERS, W. S.; SANTOS, R. A.; HOTZA, D. Evolução da superfície do porcelanato ao longo do processo de polimento. *Cerâmica Industrial*, v. 12, n. 1-2, p. 27-30, 2007.
3. HUTCHINGS, I. M. et al. Porcelain tile microstructure: implications for polishability. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 26, p. 1035-1042, 2006.
4. SÁNCHEZ, E. et al. Porcelain tile microstructure: implications for polished tile properties. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 26, p. 2533-2540, 2006.
5. JAZAYERI, S. H. et al. A kinetic study on the development of porosity in porcelain stoneware tile sintering. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, v. 46, n. 1, p. 1-6, 2007.
6. SOUZA, F. J. P. et al. Kinematics of a single abrasive particle during the industrial polishing process of porcelain stoneware tile. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 27, p. 3183-3190, 2007.
7. SOUZA, F. J. P. et al. Analytical determination of the distribution of polishing time over the surface of polished tiles. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 90, n. 11, p. 3468-3477, 2007.
8. ARANTES, F. J. S. et al. O manchamento e a porosidade fechada de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 3, p. 18-25, 2001.
9. ALVES, H. J. et al. Porosidade susceptível ao manchamento em porcelanato polido. *Cerâmica Industrial*, v. 14, n. 1, p. 21-26, 2009.
10. DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Stain resistance of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, v. 77, p. 82-89, 2008.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.818**. Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997b. (Anexo B).
12. HUTCHINGS, I. M. et al. Analysis and laboratory simulation of an industrial polishing process for porcelain ceramic tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 25, p. 3151-3156, 2005.
13. PARRA, B. S. et al. Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 11, n. 2, p. 15-18, 2006.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.818**. Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997a. (Anexo G).
15. DONDI, M. et al. The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 25, p. 357-365, 2005.
16. ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Effect of spray-dried powder granulometry on the porous microstructure of polished porcelain tile. *Journal of the European Ceramic Society*, n. 30, p. 1259-1265, 2010.