

Redução da Porosidade Aberta de Grês Porcelanato: Avaliação da Eficiência do Tratamento Superficial através de Técnicas de Microscopia e Análise de Imagens

Helton José Alves^{a}, Humberto Gracher Riella^{a,b},*

Anderson Rodrigo Marinho dos Santos^b, Thiago Fernandes de Aquino^b

^a*Departamento de Engenharia de Materiais*

^b*Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, UFSC*

Laboratório de Materiais e Corrosão – LabMac

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

**e-mail: helquimica@yahoo.com.br*

Resumo: Apesar de apresentar excelentes qualidades técnicas, o grês porcelanato é vulnerável ao manchamento, devido ao aumento causado pela etapa de polimento, da quantidade e tamanho de poros abertos na superfície do revestimento. O tratamento superficial realizado em uma peça de grês porcelanato, através da aplicação da suspensão de um aditivo mineral em uma etapa anterior à queima, mostrou-se eficaz no aumento da resistência ao manchamento apresentado pela mesma, quando comparado a uma peça comercial padrão. As técnicas de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e análise de imagens foram utilizadas neste trabalho com a finalidade de analisar a microestrutura da superfície do produto acabado, de modo que se avaliasse a eficiência do aditivo empregado no tratamento. Com base nos resultados pode-se dizer que a peça tratada apresentou uma porosidade superficial 24% menor do que a peça que não sofreu tratamento. Além disso, observou-se que o tratamento superficial diminuiu a ocorrência de poros abertos com diâmetro crítico ao manchamento, o que justifica a maior resistência ao manchamento apresentada pela peça tratada.

Palavras-chave: *porosidade, grês porcelanato, tratamento superficial, resistência ao manchamento, técnicas de caracterização, análise de imagens*

1. Introdução

O aumento da competitividade internacional no mercado de revestimentos cerâmicos cada vez mais vem exigindo das indústrias a busca de novas tecnologias e desenvolvimento de novos produtos. Dentro deste segmento, o grês porcelanato destaca-se por apresentar uma crescente participação, em razão de possuir propriedades adequadas às novas exigências, como baixa porosidade e qualidade estética superior aos demais tipos de revestimentos cerâmicos.

Devido ao alto nível de qualidade de suas matérias-primas, elevado grau de moagem, alto teor de fundentes e alta força de compactação, o processo de fabricação do grês-porcelanato resulta em peças com baixa porosidade e elevada performance técnica¹. Entretanto, é susceptível a problemas provenientes do manchamento. Essa susceptibilidade está intimamente relacionada com a presença de poros na superfície dos revestimentos, que é o principal fator responsável pela ação dos agentes manchantes.

A massa cerâmica pronta para ser prensada apresenta grânulos com características capazes de definir a estrutura dos poros que estarão presentes no corpo cerâmico após a compactação. Como as partículas que compõem um grânulo são unidas por ligações secundárias, existem vários poros no volume do grânulo, caracterizando a chamada **porosidade intragranular**. Quando os grânulos ocupam as cavidades do molde, por mais eficiente que seja o empacotamento, sempre se formam espaços entre os poros. Estes espaços são chamados de **porosidade intergranular**².

Em uma peça de grês porcelanato podem existir três tipos fundamentais de porosidade:

- **Aberta:** formada por espaços irregulares intercomunicados, que em geral aparecem como poros irregulares, normalmente com tamanhos inferiores a 5 μm ;

- **Fechada:** consiste em espaços de forma esférica cujo tamanho em seção é normalmente superior a 10 μm ; e
- **Interparticular:** tem aspecto irregular e se localiza nos contornos entre os grãos residuais e a matriz vítrea.

Grande parte da porosidade presente nas peças do produto acabado é fechada, sendo que as dimensões dos poros fechados, em geral, são maiores do que as dimensões dos poros abertos. Em função da preocupação do mercado com os aspectos estéticos do produto final, uma etapa de polimento está se tornando cada vez mais utilizada, e por conseguinte, fatores como brilho e porosidade são determinantes nas propriedades finais do produto. Sendo assim, podemos dizer que em revestimentos polidos, especificamente no grês porcelanato, a porosidade da superfície origina-se em grande parte durante a etapa de polimento, em razão da abertura dos poros que anteriormente estavam localizados no interior do revestimento. A fina camada superficial removida durante o polimento é suficiente para revelar uma nova superfície com maior volume de poros, e consequentemente, menor resistência ao manchamento³.

Para que o manchamento seja evitado, o ideal seria eliminar totalmente a porosidade presente na superfície dos revestimentos. Sabe-se, entretanto, que a vulnerabilidade ao fenômeno do manchamento depende, tanto da quantidade de poros superficiais por unidade de área, quanto do diâmetro destes poros (faixa crítica: de 15 a 60 μm)^{4,5}. Dessa forma, considerando que a eliminação total dos poros abertos é dificilmente alcançada, um objetivo diferencial para as indústrias do setor foi criado: a produção de peças que apresentem um número mínimo de poros abertos com diâmetro reduzido.

Uma alternativa para minimizar o problema do manchamento é submeter as peças a um tratamento superficial utilizando aditivos

minerais capazes de selar os poros abertos, o que se resume em uma tentativa de impermeabilizar a superfície⁶.

Sendo assim, este trabalho evidencia a eficiência do tratamento superficial, confrontando os resultados obtidos entre uma peça tratada e outra não-tratada (comercial), através da análise da microestrutura do produto acabado, utilizando as técnicas de microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de imagens.

2. Procedimento Experimental

Para a análise microestrutural foram utilizados dois tipos de peças de grês porcelanato, com formato de 40 x 40 cm, fabricadas por uma indústria cerâmica do estado de Santa Catarina. O primeiro tipo é uma peça comercial padrão (referência na resistência ao manchamento), denominada **A**, que foi fabricada sem a presença de aditivos. O outro tipo de peça, denominada **C**, sofreu tratamento superficial através da aplicação da suspensão de um aditivo de origem mineral, utilizando para isso, um sistema de pulverização chamado de cabine de aplicação, em uma etapa anterior à queima da peça. Este aditivo contém a rocha agalmatolito, nitrato de potássio e quartzo em sua composição. Ambos os tipos de peças foram analisados em microscopia antes e após a etapa de polimento. Em ensaios anteriores⁶, segundo a norma ISO 10545-14 (NBR 13818/1997), a peça **C** apresentou melhores resultados, se comparado à **A**, no que se refere a resistência ao manchamento.

Foi realizado também um “mapeamento” das peças do revestimento cerâmico, sendo retiradas amostras do centro e do canto das mesmas, a fim de efetuar a caracterização. A Figura 1 mostra os

fluxogramas com a codificação dos corpos de prova e os locais onde foram retiradas as amostras.

Os corpos de prova foram obtidos pelo corte preciso das peças de grês porcelanato utilizando um disco de corte diamantado. Em seguida, a superfície dos mesmos foi limpa e recoberta com ouro, possibilitando a condução de elétrons em função da metalização realizada, o que permite revelar as características superficiais das peças analisadas.

A análise microestrutural das peças foi realizada utilizando um microscópio ótico Leica, modelo DM 4000M e um microscópio eletrônico de varredura Philips, modelo XL 30 com filamento de tungstênio. A análise de imagens digitais, obtidas por microscopia eletrônica, foi realizada pelo uso do *software* Imago 2.2.

3. Resultados e Discussão

3.1. Microscopia ótica

A técnica de microscopia ótica foi utilizada para a obtenção de imagens das peças não-polidas. As micrografias dispostas na Figura 2 são referentes aos corpos de prova A2 (a) e C2 (b), e revelam: a) presença de poros abertos de diversos tamanhos na superfície do revestimento não-tratado; e b) ausência de poros abertos na superfície do revestimento tratado.

Dessa forma, foi possível visualizar através das micrografias da Figura 2 que o aditivo aplicado no tratamento superficial das placas do revestimento realmente forma uma camada que cobre a superfície do revestimento selando os poros abertos.

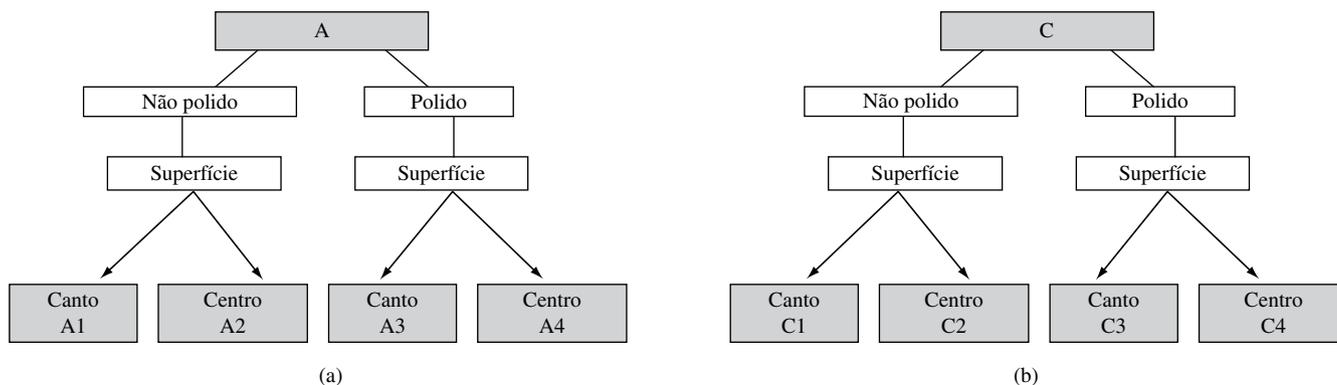
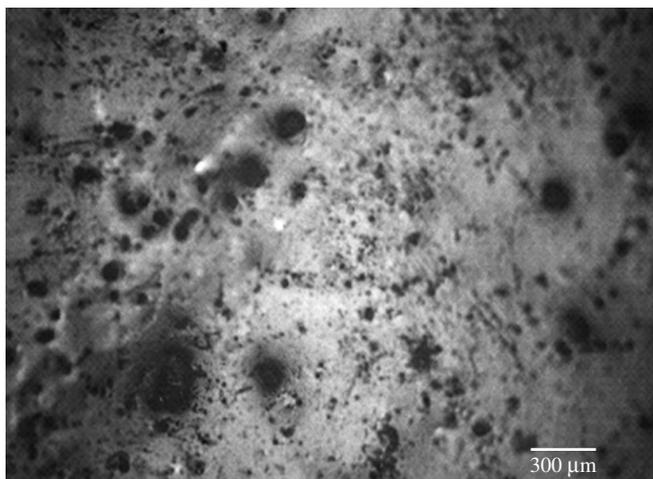


Figura 1. Fluxogramas dos corpos de prova das peças A e C analisadas pelas técnicas de microscopia.



(a)



(b)

Figura 2. Micrografias obtidas em MO dos corpos de prova não-polidos A2 (a) e C2 (b) com ampliação de 100x.

3.2. Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias dos corpos de prova A1 e A2 (Figura 3a e Figura 3c, respectivamente) revelaram a porosidade característica das superfícies dos revestimentos não polidos, como já havia sido observado anteriormente na microscopia ótica (Figura 2). Apesar da discreta porosidade observada nas imagens dos corpos de prova A1 e A2, utilizando um aumento de 200x, nota-se que os poros presentes

apresentam diâmetros superiores a 28 μm . A Figura 3b e a Figura 3d mostram as superfícies dos corpos de prova C1 e C2, respectivamente, que foram cobertas pelas partículas de formatos irregulares do aditivo solidificado. Como pode ser visto nestas figuras, não há poros abertos, uma vez que a camada do aditivo conseguiu cobrir totalmente os mesmos.

Quanto às imagens dos corpos de prova referentes aos revestimentos polidos (Figura 4), pôde-se observar que a etapa de polimento

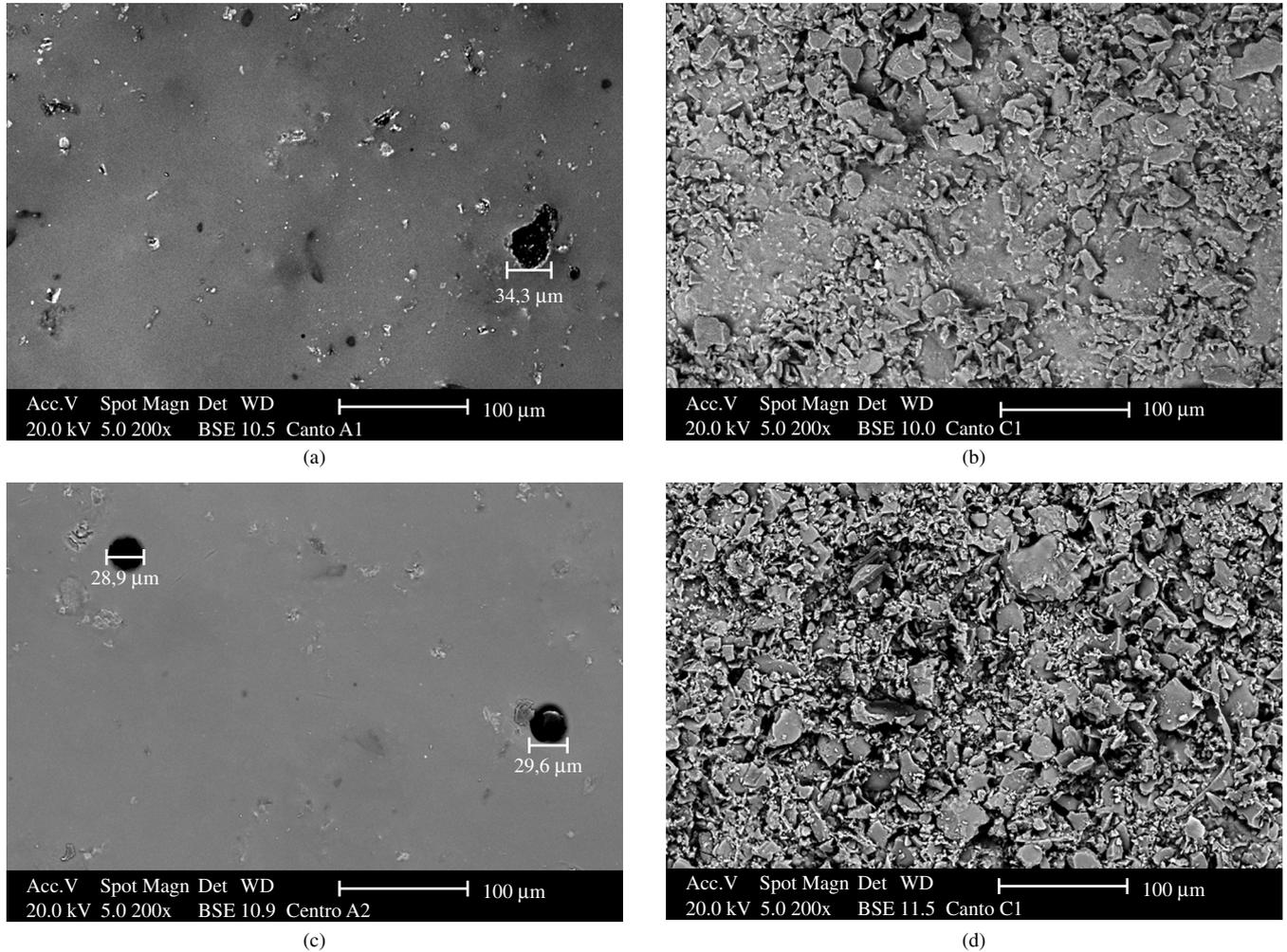


Figura 3. Micrografias obtidas em MEV dos corpos de prova: a) A1; b) C1; c) A2; e d) C2, utilizando um aumento de 200x.

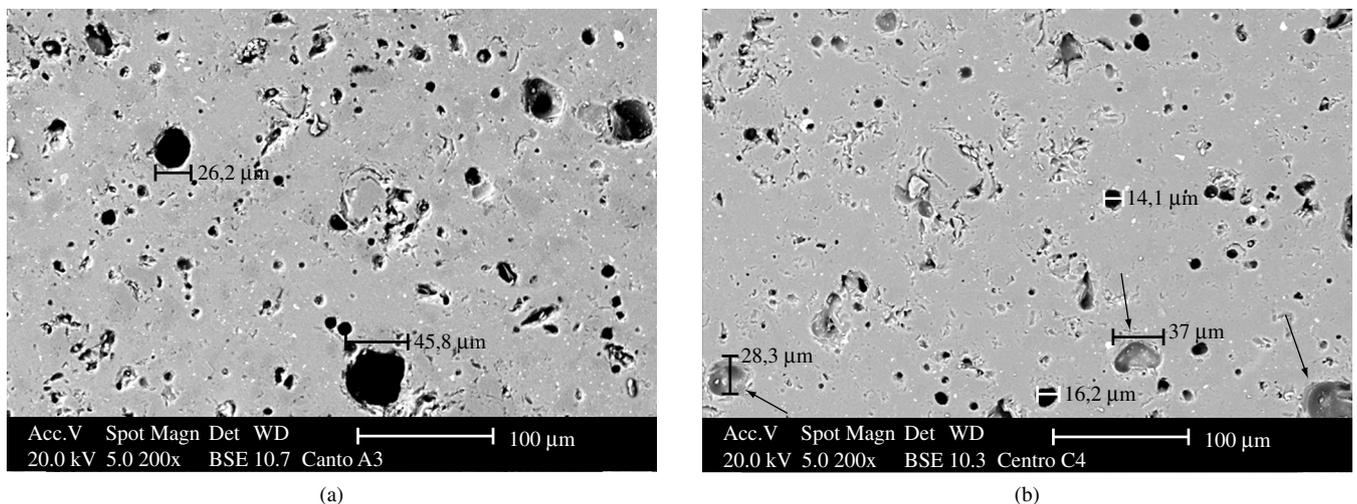


Figura 4. Micrografias obtidas em MEV dos corpos de prova polidos: a) A3; b) e C4, utilizando um aumento de 200x^o.

realmente provocou o aumento da quantidade de irregularidades na superfície. A Figura 4a mostra a superfície polida do corpo de prova A3 contendo vários poros abertos com diâmetros superiores a 20 µm, o que implicou na menor resistência ao manchamento apresentada pela peça A.

No caso do corpo de prova C4, que recebeu tratamento com o aditivo, a imagem obtida (Figura 4b) revelou uma menor quantidade de poros abertos quando comparada ao observado na Figura 4a. Também foi possível notar na Figura 4b a existência de “cavidades” que provavelmente correspondem aos poros fechados, presentes no interior do revestimento antes do polimento, e que foram preenchidos pelo aditivo⁶.

3.3. Análise de imagens

Para que se pudesse quantificar a redução da porosidade aberta na peça C (tratada com o aditivo) em relação à peça A (sem tratamento), foi feita a análise das imagens dos corpos de prova polidos A3, A4, C3 e C4. A análise destas imagens também permitiu a comparação entre os diferentes pontos das peças (canto e centro), no que se refere à ocorrência da porosidade aberta. As imagens analisadas pelo *software* Imago foram obtidas por MEV e estão presentes na Figura 5.

Os resultados da quantificação da porosidade superficial, presente por área total da imagem, estão demonstrados na Tabela 1.

Fazendo-se uma média dos percentuais de poros presentes nos corpos de prova correspondentes ao revestimento não tratado (A3 e

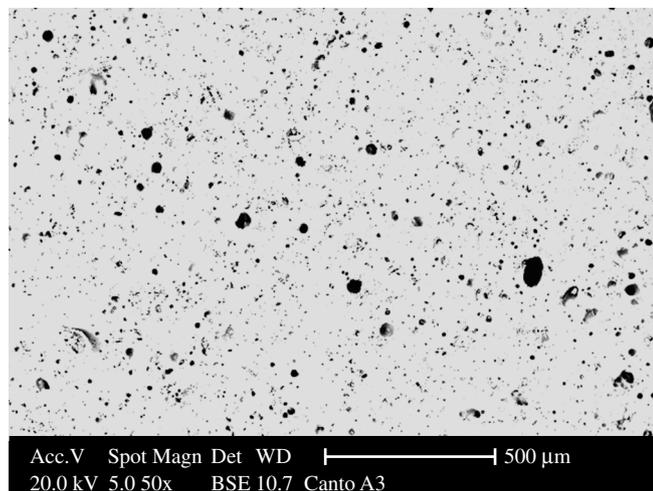
A4) e tratado (C3 e C4) com o aditivo, obtiveram-se respectivamente os resultados 4,11% e 3,12%. Dessa forma, pode-se dizer que a peça C, tratada superficialmente com o aditivo, apresentou uma porosidade de 24% menor do que a peça A, que não recebeu tratamento, o que implica em uma redução da porosidade superficial obtida pela ação do aditivo utilizado. Observa-se também que os percentuais de poros presentes nas distintas regiões (canto e centro) de ambas as peças são parecidos, indicando assim uma distribuição uniforme dos poros ao longo das peças.

Além de ter quantificado a porosidade, o *software* Imago forneceu dados sobre a distribuição do diâmetro dos poros, identificados de acordo com as imagens analisadas. Estes dados foram organizados em gráficos conforme mostra a Figura 6.

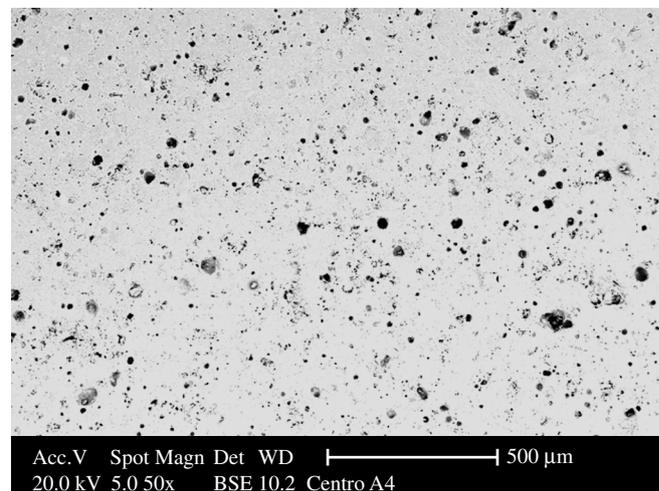
Conforme visto anteriormente, os diâmetros dos poros superiores a 15 µm são responsáveis por provocar o manchamento de

Tabela 1. Percentuais de poros presentes nas superfícies dos corpos de prova analisados.

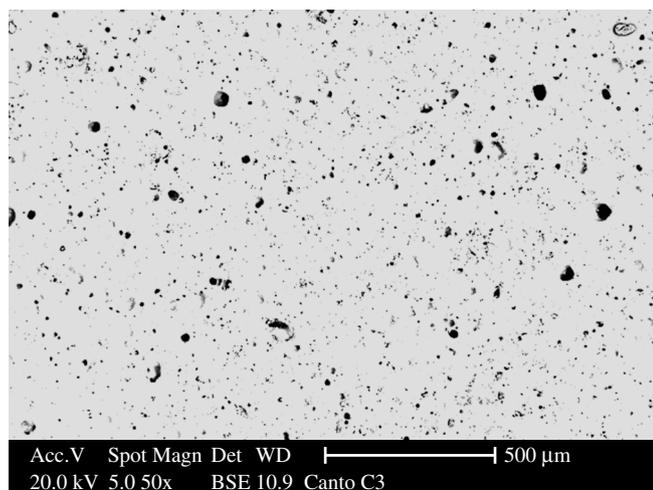
Corpos de prova	Poros (%)
A3	4,16
A4	4,06
C3	3,09
C4	3,15



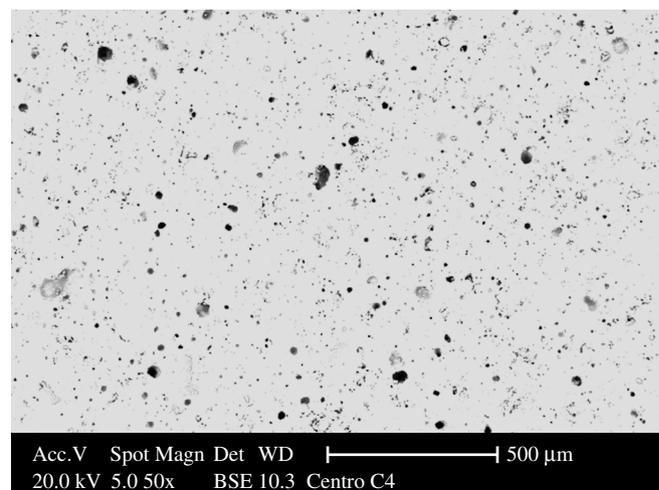
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5. Micrografias obtidas em MEV dos corpos de prova polidos: a) A3; b) A4; c) C3; e d) C4, utilizando um aumento de 50x.

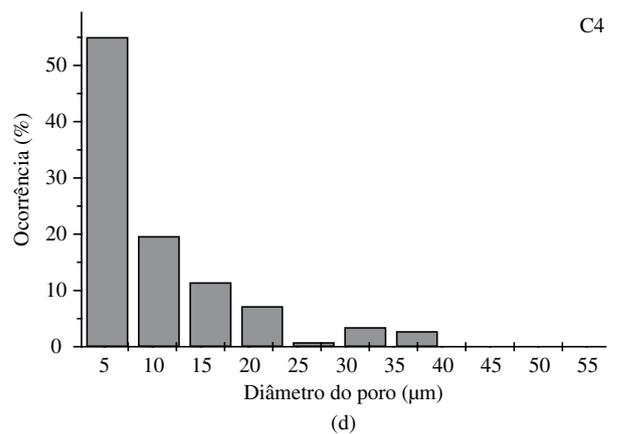
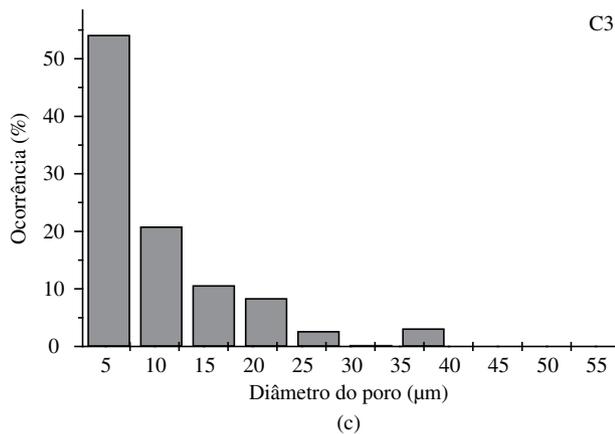
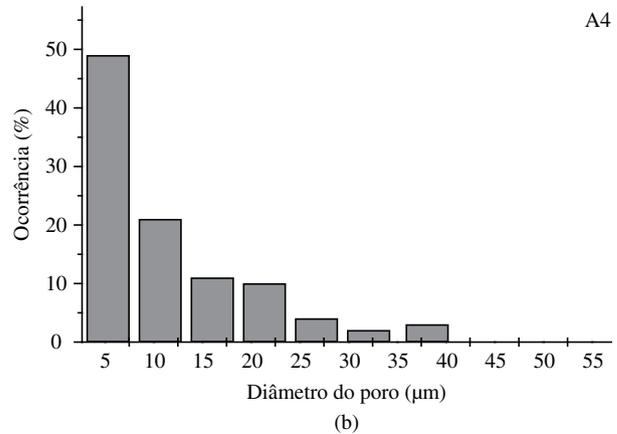
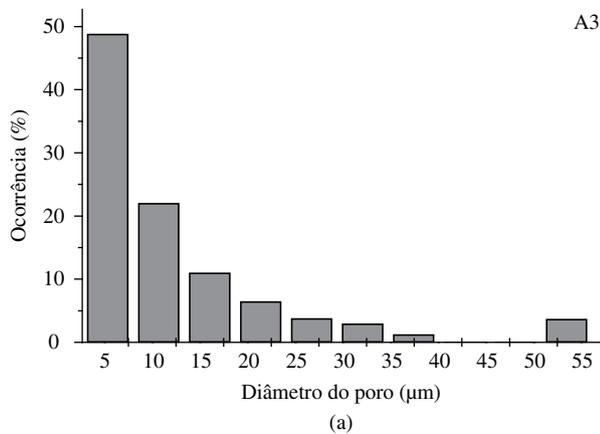


Figura 6. Percentual de ocorrência dos poros, de acordo com os seus diâmetros, nos corpos de prova A3 (a), A4 (b), C3 (c) e C4 (d).

revestimentos cerâmicos. Em geral, observou-se que nos corpos de prova A3 e A4 a ocorrência destes poros com diâmetros superiores a 15 μm foi maior do que em C3 e C4. Para os corpos de prova A3 e A4, correspondentes à peça não tratada (A), obteve-se os valores de 31,2% e 30,0%, respectivamente. Já nos corpos de prova C3 e C4 estes números foram 25,1% e 25,4%. O maior percentual de poros, com diâmetro acima de 15 μm, observado na peça não tratada, está relacionado com a menor resistência ao manchamento apresentada por A. Dessa forma, a peça C resiste mais ao manchamento porque além de apresentar uma porosidade reduzida, também possui um menor percentual de poros com diâmetro acima de 15 μm.

4. Conclusões

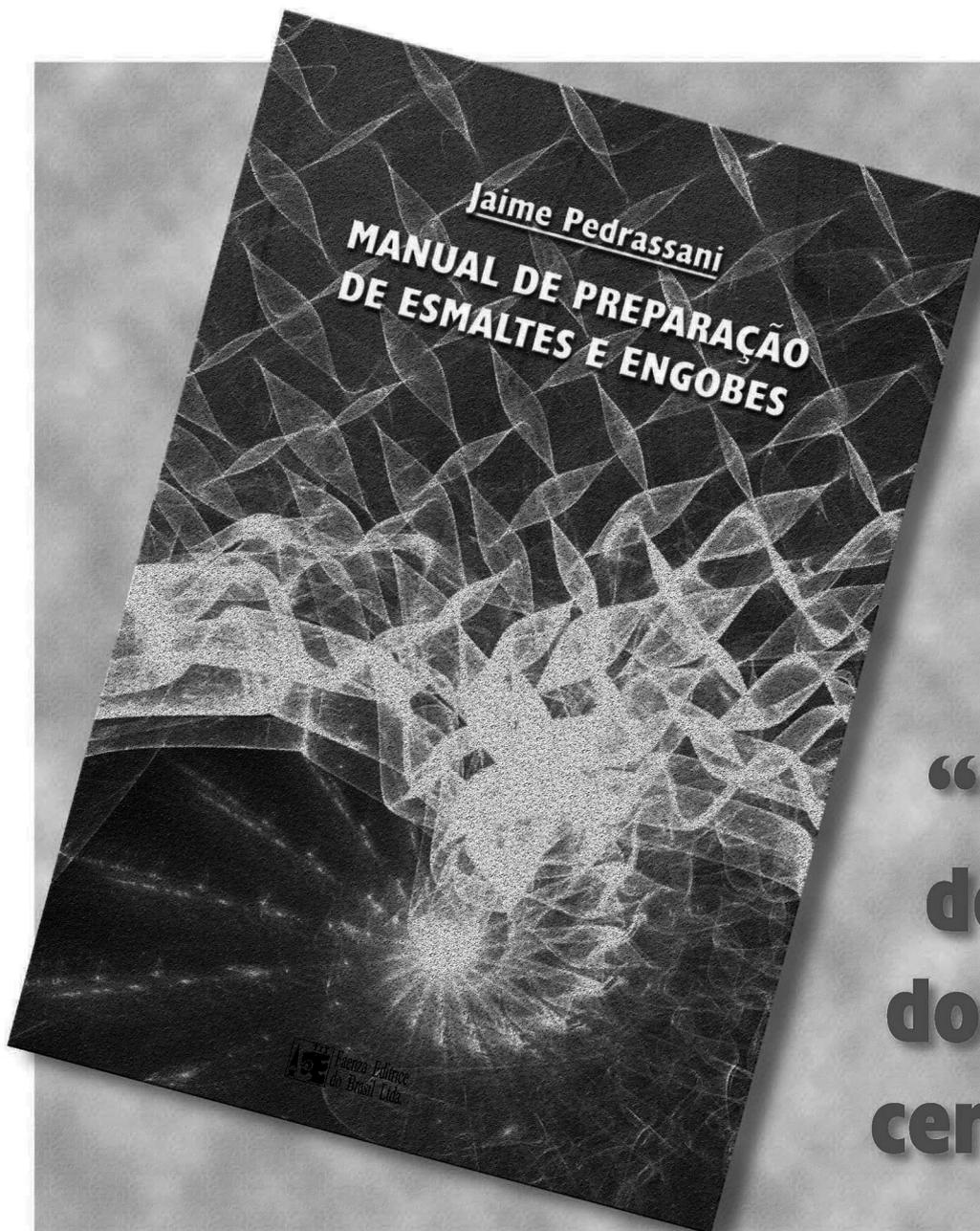
Através do uso das técnicas de microscopia e análise de imagens, foi possível notar que o tratamento superficial realizado reduziu o percentual de poros abertos da peça C após o polimento (cerca de 24% menor, em relação à peça A comercial) e também diminuiu a ocorrência de poros com diâmetro crítico ao manchamento.

De acordo com a pesquisa realizada, pôde-se comprovar que o tratamento das superfícies de revestimentos cerâmicos, pelo uso de

aditivos minerais, é uma boa alternativa para o aumento da resistência ao manchamento das peças, o que possibilita elevar ainda mais o valor agregado do grês porcelanato no mercado de revestimentos.

Referências

- Menegazzo, A. P. M. et al. Grês porcelanato. Parte I: Uma abordagem mercadológica. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 5, n. 5, p. 7-10, 2000.
- Arantes, F. J. S. et al. O manchamento e a porosidade fechada de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 18-25, 2001.
- Oliveira, A. P. N. Grês porcelanato: Aspectos mercadológicos e tecnológicos. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 34-41, 1998.
- Beltrán, V. et al. 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 porcelánico. In: QUALICER 1996, 10 à 13 de março de 1996, Castellón. *Proceedings...* 1996. p. 137-152.
- Heck, C. Grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 1, n. 4-5, p. 21-24, 1996.
- Alves, H. J.; Riella, H. G.; Silveira, R. Utilização da rocha agalmatolito na formulação de aditivos para o tratamento superficial de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 10, n. 5, p. 28-32, 2005.



**“O livro
de mesa
do técnico
ceramista”**



Faenza Editrice
do Brasil Ltda.

Faenza Editrice do Brasil Ltda.

Tel. 55 19 3533.5047 / Fax. 55 19 3532.1389

Av. Visconde de Rio Claro nº 1.082 - Centro - Rio Claro-SP - CEP. 13500-580