

REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO PROVENIENTE DO POLIMENTO DO PORCELANATO NA MELHORIA NO CONFORTO TÉRMICO DE NOVOS PISOS CERÂMICOS

N. C. G. Silveira*¹, L. C. O. Goulart¹, C.R Calado.²,

(1) Departamento de Engenharia de Materiais e (2) Departamento de Química, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas 5253, Nova Suíça, 30480-000, Belo Horizonte.

*nathalia_cgs@hotmail.com

RESUMO

A indústria cerâmica, e demais indústrias de fabricação e transformação de materiais produz, em maior ou menor grau, uma quantidade de resíduos que são reaproveitados ou têm um destino ecologicamente correto. Encontrar um manejo correto para estes rejeitos vem sendo um grande desafio para sociedade atualmente. Neste contexto, este trabalho propõe o uso de resíduos de abrasivos à base de carbetto de silício para a promoção de expansão em corpos cerâmicos com a finalidade de se obter cerâmicas de melhor conforto térmico. Desta forma, o resíduo do polimento do porcelanato foi adicionado ao pó atomizado da massa cerâmica em diferentes porcentagens de massa. Estes corpos de prova foram calcinados e os ensaios densidade absoluta e aparente, absorção de água, expansão linear, volumétrica e porosidade aparente, indicaram que com o aumento do teor de resíduo adicionado aumenta a porosidade, absorção de água e, reduzem conseqüentemente, as densidades aparente e absoluta.

Palavras-chave: pisos cerâmicos, conforto térmico, porosidade.

INTRODUÇÃO

O resíduo gerado no polimento do porcelanato tem causado uma grande preocupação social e ambiental, devido ao lançamento de resíduos sólidos em aterros e outros lugares. Com o intuito de reduzir a quantidade de resíduos que estão sendo dispostos de maneira inadequada, as indústrias estão pesquisando novas formas de reaproveitar este resíduo, como por exemplo, no desenvolvimento de cerâmicas porosas que melhorem a sensação térmica, além de propor uma melhoria na qualidade e na eficiência no seu processo de produção ⁽¹⁾.

A sensação térmica está relacionada com a temperatura da pele, neste caso, quando as superfícies dos pés estão em contacto com o piso ou qualquer outra superfície ⁽²⁾.

A efusividade térmica é a medida da temperatura de interface, quando se colocam dois sólidos em contato. Quanto menor é a efusividade térmica mais confortável é o piso cerâmico. A efusividade térmica é correlacionada directamente com a condutividade térmica e a densidade do material. Geralmente, a condutividade térmica de materiais cerâmicos diminui à medida que a porosidade aumenta ^(2,3).

Em relação ao comportamento mecânico, a presença de poros implica na diminuição da resistência. No entanto, a presença de uma porosidade controlada é essencial para materiais de construção com funções térmicas, garantindo o conforto térmico da edificação ⁽⁴⁾. Logo é necessário obter de cerâmicas porosas com elevada resistência mecânica e resistência química por combinar adequadamente as matérias-primas e técnicas de processamento ⁽⁵⁾.

Neste trabalho, serão obtidas cerâmicas porosas por meio da incorporação do resíduo proveniente do polimento do porcelanato a massa atomizada fornecida por uma empresa de revestimentos cerâmicos situada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. O resíduo será caracterizado para avaliar a possibilidade de reutilizá-lo na própria indústria cerâmica, diminuindo os custos com matéria prima, agregando valores e acabando com os importunos de destino final,

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o resíduo gerado no processo de polimento do porcelanato, conhecido como torta, e a massa atomizada.

Após a coleta da torta em uma empresa de revestimentos cerâmicos essa foi quarteada manualmente e determinado o teor de umidade da amostra.

A determinação da composição química do resíduo, da massa atomizada e do polidor foi realizada empregando-se a técnica de fluorescência de raios X e a determinação das fases presentes na torta e sua estrutura cristalina foi realizada pela técnica de difração de raios X. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Engenharia de Materiais, do CEFET-MG.

Após a caracterização da torta, foi avaliado o teor máximo de resíduo que pode ser adicionado à massa atomizada de porcelanato, preparando-se 8 amostras, identificadas de 1 a 7, com teores mássicos de resíduo de 20; 30, 40; 50, 60; 70 e 80 e a amostra 8 foi identificada como o branco. Foram produzidos corpos de prova com dimensões de 2,5 cm de diâmetro e 1,2 cm de espessura, prensados a 54 MPa. As pastilhas foram aquecidas a 115°C por 24 horas, em seguida foram levadas a uma mufla previamente aquecida a 400°C por 40 minutos e sinterizadas a 1.200°C por 40 minutos. O resfriamento das amostras foi lento, dentro da própria mufla.

Por meio do processo citado acima, obtivemos duas séries de amostras. A primeira foi gerada apenas na mistura das proporções das massas dos constituintes, enquanto na segunda, tal processo foi controlado, através de peneiramento e homogeneização do pó resultante.

Para as amostras cerâmicas sinterizadas foram realizados os seguintes ensaios: expansão linear na dimensão da altura, expansão linear na dimensão do diâmetro, expansão volumétrica, densidade aparente, densidade absoluta, porosidade aparente e absorção de água pela norma ISSO 10545-3

A avaliação da superfície e da quantidade de poros das amostras sinterizadas foi realizada empregando a técnica de microscopia óptica com ampliação de 10 e 50X e as imagens obtidas foram tratadas empregando-se o programa QUANTIKOV.

Foi realizado um estudo de caracterização da morfologia do pó atomizado e do resíduo do polimento de porcelanato utilizando a técnica de difração de raios X e de Espectrometria de fluorescência de raios X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade encontrado para o resíduo úmido determinado logo após o polimento foi de 30,6% em peso e quando seco e quarteado foi de 3,8% em peso.

Na Tab. 1 apresenta-se a composição química do porcelanato, do polidor e do resíduo de polimento obtidos pela técnica de fluorescência de raios X.

Tab. 1: Composição química (% em peso) da torta (resíduo do polimento do porcelanato), Branco (porcelanato) e da Amostra 1 (porcelanato c/ 20% em peso de resíduo).

| Composto | Torta | | Branco | | Amostra 1 | |
|--------------------------------|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|
| | %em peso | Desvio | %em peso | Desvio | %em peso | Desvio |
| SiO ₂ | 66,120 | 0,233 | 68,709 | | 66,814 | |
| Al ₂ O ₃ | 18,606 | 0,321 | 18,979 | | 19,075 | |
| ZrO ₂ | 1,273 | 0,007 | 0,408 | | 2,491 | |
| CaO | 2,286 | 0,008 | 4,349 | | 3,881 | |
| MgO | 3,819 | 0,008 | - | - | - | - |
| K ₂ O | 3,401 | 0,010 | 4,254 | | 3,895 | |
| Fe ₂ O ₃ | 1,408 | 0,008 | 1,986 | | 1,923 | |
| TiO ₂ | 0,694 | 0,015 | 0,969 | | 0,789 | |
| MnO | 0,102 | 0,004 | 0,065 | | 0,08 | |
| Rb ₂ O | 0,070 | 0,001 | 0,126 | | 0,123 | |
| Y ₂ O ₃ | 0,041 | 0,001 | 0,019 | | 0,031 | |
| SrO | 0,037 | 0,001 | 0,08 | | 0,076 | |
| CuO | - | - | - | - | 0,036 | |
| P2O5 | - | - | - | - | 0,539 | |
| ZnO | - | - | 0,057 | | - | - |
| BaO | - | - | - | - | 0,246 | |

As composições químicas do branco, em termos de seus óxidos constituintes, da amostra 1 e do resíduo gerado no polimento de porcelanato são semelhantes. De acordo com os dados contidos na Tab.1, pode-se observar que o resíduo apresenta elevada quantidade de sílica, alumina e óxido de magnésio e baixa quantidade de óxidos fundentes (CaO, SrO, Rb₂O e K₂O). Comparando os valores obtidos da composição química do branco e amostra 1 com a do resíduo, foi possível verificar que a composição química em termos de seus óxidos constituintes são semelhantes.

O resíduo é composto principalmente pela própria massa do porcelanato e pelo resíduo gerado pelo polidor, ambos na etapa de polimento ⁽⁶⁾, Tab. 1. A semelhança química indica a possibilidade de realizar o reaproveitamento do resíduo gerado no processo de produção do porcelanato dentro da própria indústria. Os óxidos constituintes são típicos de corpos cerâmicos utilizados na fabricação de peças cerâmicas para piso ^(2,3).

Na Fig.1 está ilustrado o difratograma da torta ou do resíduo obtido pelo polimento do porcelanato.

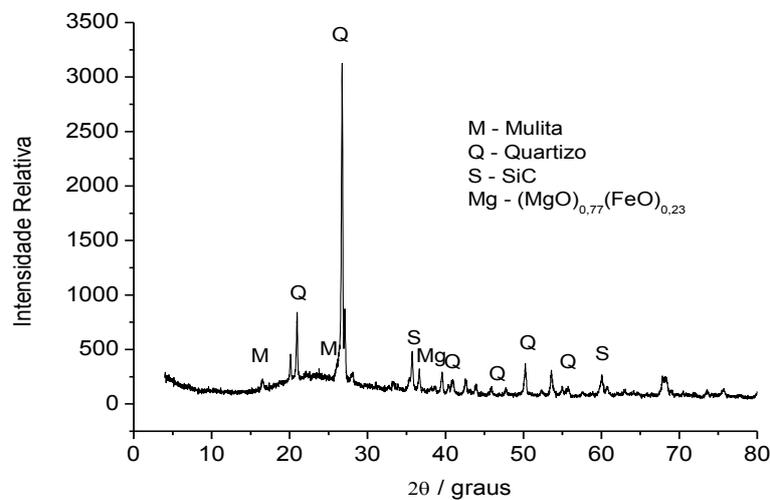


Fig. 1: Difratograma da torta (resíduo do polimento de porcelanato).

Analisando o difratograma acima, observa-se que o resíduo é formado por uma fase vítrea (amorfa), evidenciada pela existência de um alargamento na linha base entre os ângulos 15° e 35° em 2θ , e fases cristalinas que foram identificadas como sendo a mulita, quartzo, carbeto de silício e uma mistura entre os óxidos de magnésio e ferro. Quando o porcelanato é queimado a partir de 1200°C forma-se a fase mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) no material. De acordo com Marques ⁽⁷⁾, o porcelanato é um material constituído por uma grande quantidade de fase vítrea e fases cristalinas que podem ser detectadas por meio da técnica de difração de raios X. A fase vítrea conterá os óxidos fundentes presentes no porcelanato (Fe_2O_3 , Na_2O e K_2O) que em geral se concentram na fase vítrea após o processamento ⁽¹⁾.

Como o resíduo apresenta as mesmas fases do porcelanato, fase vítrea e fundentes, ele poderá ser usado como matéria prima na produção do porcelanato, pois fornecerá a densificação de revestimentos cerâmicos. Devido ao elevado teor de sílica existente no resíduo, será favorecida a formação de fases vítreas ricas em sílica, que possuem viscosidade mais elevada do que aquelas com menores teores de sílica, o que minimizará os efeitos de pirodeformação ⁽⁷⁾.

Empregando-se a curva termogravimétrica, baseando-se nos dados da quarta etapa do processo de decomposição do resíduo do polimento do porcelanato, o teor de carbeto de silício no resíduo é de 3,8% em peso.

Após a caracterização da torta, conclui-se que é possível reaproveitar o resíduo obtido misturando-o a massa atomizada do porcelanato, pois em termos da composição química, da existência de materiais plásticos e não plásticos, os dois apresentam semelhanças.

Os dados obtidos para as amostras sinterizadas empregando-se os ensaios de expansão linear na dimensão da altura, expansão linear na dimensão do diâmetro, expansão volumétrica, densidade aparente, densidade absoluta, porosidade aparente e absorção de água pela norma ISSO 10545-3 apresentam-se na tab.2.

Tab. 2: Resultados obtidos para os testes na primeira série de amostras.

| Amostra: | Densidade absoluta: (Kg/m ³) | Densidade aparente: (Kg/m ³) | Absorção de água: (%) | Expansão linear - dimensão altura: (%) | Expansão linear - dimensão diâmetro: (%) | Expansão volumétrica: (%) | Porosidade aparente: (%) |
|----------|--|--|-----------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 1560,0 | 1673,11 | 10,94 | 6,87 | 0,80 | 8,59 | 18,35 |
| 2 | 1270,0 | 1414,83 | 16,68 | 22,14 | 1,59 | 26,05 | 23,65 |
| 3 | 1020,0 | 1212,30 | 22,55 | 38,73 | 5,56 | 54,58 | 27,41 |
| 4 | 940,0 | 1129,63 | 29,35 | 40,56 | 8,76 | 66,28 | 33,24 |
| 5 | 830,0 | 892,93 | 42,85 | 43,15 | 12,35 | 80,69 | 38,36 |
| 6 | 730,0 | 849,59 | 45,68 | 46,98 | 15,87 | 97,34 | 38,90 |
| 7 | 650,0 | 723,04 | 64,87 | 49,34 | 18,73 | 110,51 | 47,02 |
| 8 | 2220,0 | 2381,60 | 0,43 | -6,87 | -8,37 | -21,80 | 1,03 |

Analisando os dados da tab. 2, pode-se perceber que à medida que o teor em peso de resíduo aumenta no corpo de prova, a densidade absoluta e a densidade aparente diminuem. Isso ocorre devido à formação dos poros, que proporciona um aumento no volume e também ao fato de que há redução de massa após o processo de sinterização.

À medida que se adiciona resíduo à massa cerâmica, aumenta a quantidade de poros no material obtido. Tais poros são responsáveis pelo aumento da absorção de água. Portanto, quanto maior o teor de resíduo, mais poros e, consequentemente, maior a absorção de água, o que pode ser comprovado analisando as porcentagens apresentadas na tabela 2.

Pelos dados de expansão linear da altura e do diâmetro, e a expansão volumétrica, vemos que ao aumentar a porcentagem de resíduo, a expansão aumenta para todas as amostras.

A porosidade aparente segue a tendência apresentada acima, à medida que o teor de resíduo na amostra aumenta é observado um aumento do seu valor. A redução nos valores de densidade aparente e densidade absoluta, e aumento da absorção de água, expansão linear, expansão volumétrica e porosidade aparente.

A Fig. 1 apresenta a densidade aparente e absoluta dos corpos de prova após o processo de sinterização. Observa-se que o aumento do teor em peso de resíduo provoca variação nos valores da densidade aparente e absoluta. Os valores de densidade aparente e absoluta decrescem com o aumento do teor de resíduo adicionado, esta tendência está relacionada ao aumento da porosidade nos corpos de prova. Esta redução nos valores de densidade está associada a queima do carvão de silício e a liberação do dióxido de carbono (CO_2), que leva a uma expansão do material e quanto maior a quantidade de carvão de silício, maior será a expansão.

A fig. 2 apresenta a porosidade aparente dos corpos de prova sinterizados em termo do teor em peso do resíduo adicionado.

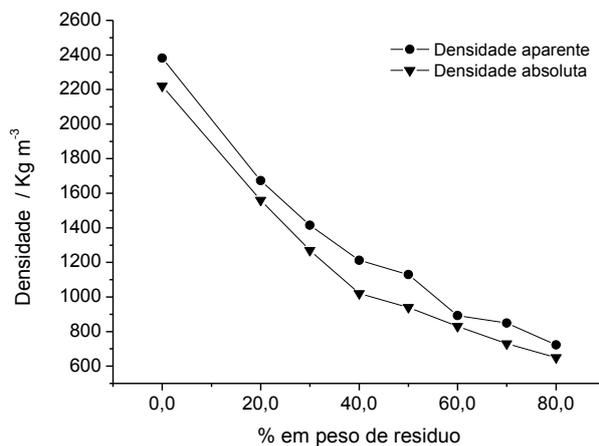


Figura 1: Densidade dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

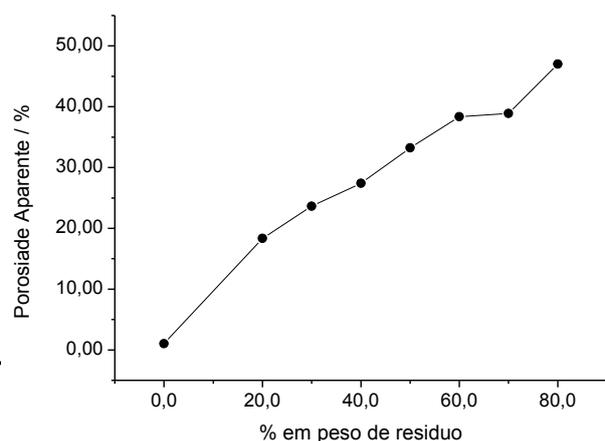


Figura 2: Porosidade aparente dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

Observa novamente uma tendência de comportamento contrária ao observado para a densidade aparente e absoluta. O aumento do teor em peso do resíduo aumenta proporcionalmente a porosidade, como é possível observar a existência visual de poros na superfície dos corpos de prova tem-se um aumento da

porosidade aberta e fechada. Estes resultados corroboram com os observados para as densidades aparente e absoluta, onde a redução dos valores de densidade está associada ao aumento da porosidade nos corpos de prova.

Na fig. 3 são apresentados os valores de absorção de água dos corpos de prova sinterizados em função do teor do resíduo adicionado. A absorção de água aumenta proporcionalmente com o aumento do teor de resíduo empregado. Somente a amostra 8, branco, apresentou valor de absorção de água inferior a 0,5%. O Corpo de prova identificado como 1 (20% em peso de resíduo), já absorve 10,94% e este teor vai aumentando até um limite de 64,85% observado para a amostra 7 (80% em peso de resíduo).

Os dados de expansão linear obtidos para as dimensões altura, diâmetro e volume dos corpos de prova em termos do teor em peso do resíduo para as amostras sinterizadas apresenta na fig.4.

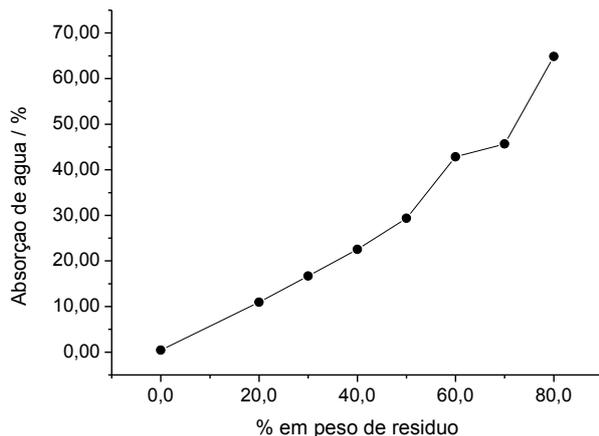


Figura 3: Absorção de água dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

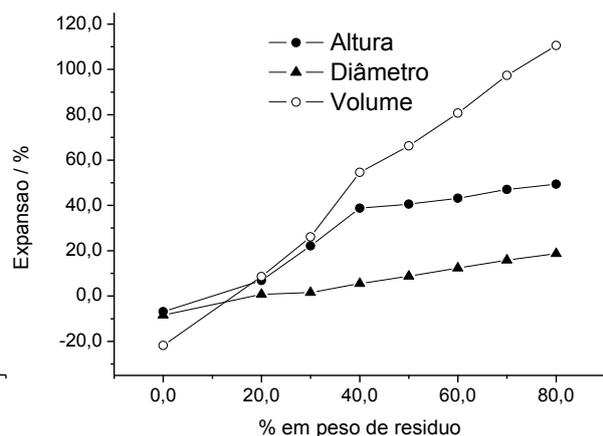


Figura 4: Expansão linear dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

A análise da figura 4 indica que a adição do resíduo do polimento do porcelanato, as dimensões do diâmetro, altura e o volume dos corpos de prova sofrem aumento. Nesta figura é observado que até um teor em peso de resíduo de 40% a altura e conseqüentemente o volume crescem em uma taxa mais acentuada do que o diâmetro. Entre a faixa de 40% a 80% em peso de resíduo, esta taxa de crescimento é menor. Neste caso a dimensão diâmetro, por crescer com o aumento do teor de resíduo a uma taxa menor, sofre menos com o efeito da adição do resíduo.

Ao analisar em conjunto as figuras 1, 2, 3 e 4 conclui-se que o comportamento das amostras apresentam comportamento similar e os resultados obtidos pelos ensaios de densidade aparente, densidade absoluta, porosidade aparente, absorção de água, expansão do diâmetro, da altura e do volume indicam um comportamento semelhante para as respectivas amostras.

Somente o corpo de prova identificado como 8, branco, apresenta alta densidade relativa, absorção de água inferior a 0,5% e baixa porosidade relativa, o que os caracterizam como porcelanatos de baixa absorção e resistência mecânica alta (Bla de 0 a 0,5%), as demais amostras apresentam absorção de água acima de 10,0%, podem ser classificadas como cerâmicas porosas de alta absorção e resistência mecânica baixa (BIII).

As figuras 5 e 6 representam as imagens obtidas pela microscopia ótica com aumento de 10X e 50X para os corpos de prova sinterizados.

As imagens das superfícies obtidas através da técnica de microscopia ótica com ampliação de 10X permitiram a comparação do aspecto visual da superfície de cada peça após a etapa de sinterização dos corpos de prova preparados com diversos teores de resíduo. As imagens obtidas indicam que o aumento do teor de resíduo até o valor de 80% em peso aumenta a quantidade de poros na superfície dos corpos de prova, a qual é denominada de porosidade aberta. A porosidade aberta é a que tem contato com a superfície externa do material.

Com o programa QUANTIKOV determinou-se o tamanho médio dos poros em cada amostra e a tendência de quanto maior é o teor de resíduo na amostra maior é a quantidade e tamanho do poro obtido, Tab 3.

Nos dados apresentados na Tabela 3 observa-se duas tendências, a primeira entre as amostras identificadas como 1, 2 e 3 onde o aumento do teor adicionado aumenta o diâmetro médio da porosidade aberta.

A partir da amostra 3 até a 7, o que se observa que o diâmetro médio dos poros flutua dentro de um ponto de equilíbrio, desta forma o aumento do teor de resíduo adicionado irá aumentar a quantidade de poros, mas não mais o seu diâmetro. A amostra 8 não apresentou porosidade aberta, pois esta é o branco, massa de porcelanato sem resíduo.

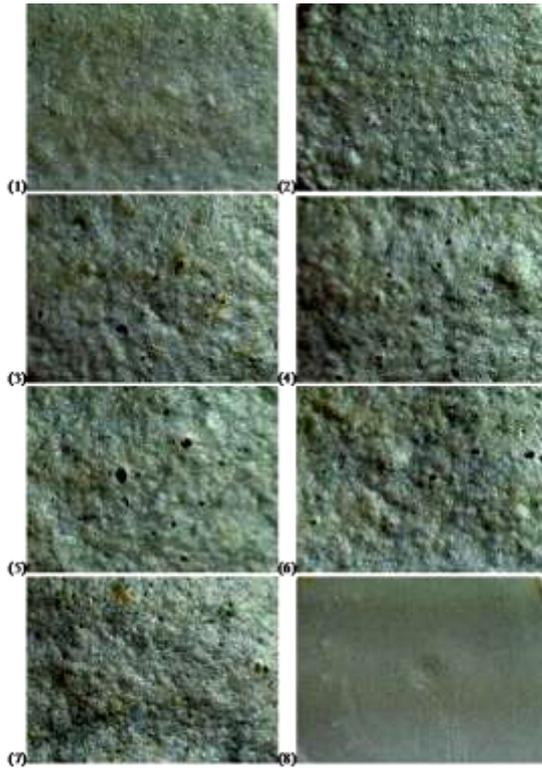


Fig.5: Imagens de microscopia ótica para as amostra: (1) com 20% em peso de resíduo, (2) com 30% em peso de resíduo, (3) com 40% em peso de resíduo, (4) com 50% em peso de resíduo, (5) com 60% em peso de resíduo, (6) com 70%, (7) com 80% em peso de resíduo e (8) Branco. Aumento: 10X.

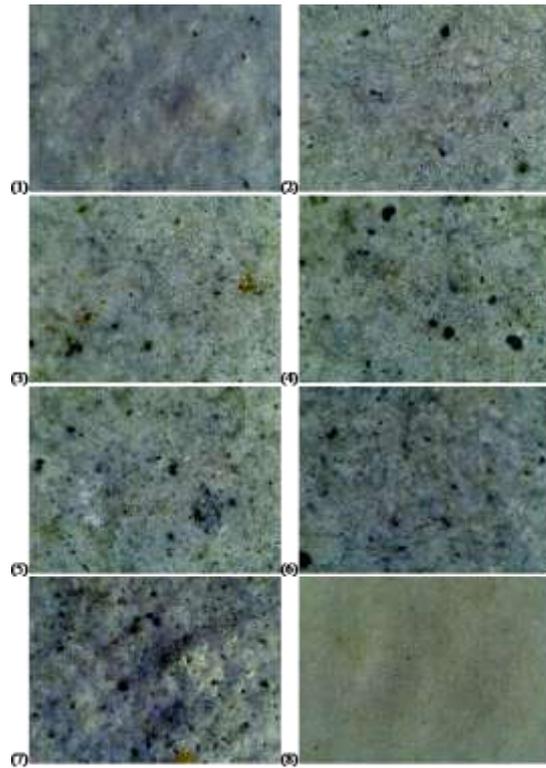


Fig.6: Imagens de microscopia ótica para as amostra: (1) com 20% em peso de resíduo, (2) com 30% em peso de resíduo, (3) com 40% em peso de resíduo, (4) com 50% em peso de resíduo, (5) com 60% em peso de resíduo, (6) com 70%, (7) com 80% em peso de resíduo e (8) Branco. Aumento: 50X.

Tab 3: Distribuição do tamanho médio dos poros nos corpos de prova

| Amostra | Menor diâmetro / mm | Maior diâmetro / mm | Diâmetro médio / mm |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0,291464 | 0,429527 | 0,356113 |
| 2 | 0,214763 | 0,575259 | 0,389258 |
| 3 | 0,276124 | 1,127507 | 0,448997 |
| 4 | 0,03068 | 1,234889 | 0,490887 |
| 5 | 0,928084 | 1,211878 | 0,446078 |
| 6 | 0,237774 | 0,751671 | 0,491314 |
| 7 | 0,276124 | 0,65196 | 0,445564 |
| 8 | - | - | - |

Nas imagens obtidas com ampliação de 50X fica mais evidente que o aumento do teor da torta adicionado à massa atomizada induz o aparecimento de

uma maior quantidade de poros na massa cerâmica sinterizada. É observado uma distribuição homogênea dos poros, este resultado indica que a mistura formada entre a massa atomizada e o resíduo estava homogênea.

Por inspeção visual das estruturas obtidas com ampliação de 10X e 50X, o teor máximo de resíduo adicionado à massa atomizada, 80%, produziu um corpo cerâmico com uma maior quantidade de poros. Abaixo deste valor o material apresenta uma quantidade menor em dimensão e em quantidade de poros. O aumento do número de poros modifica o aspecto visual da peça bem como reduz a densidade aparente da amostra e aumenta o teor de umidade absorvida.

CONCLUSÕES

A composição química da torta (resíduo) é semelhante à da massa atomizada (porcelanato), esta semelhança permite a mistura de ambos, por serem compatíveis, sem causar qualquer alteração no aspecto visual da peça final.

Os testes indicaram que à medida que se aumenta o teor do resíduo misturado a massa atomizada obtém-se um produto cerâmico, após a sinterização, com uma quantidade maior de poros, devido ao efeito expensor do gás carbônico gerado, durante o aquecimento da amostra, pela degradação térmica do carvão de silício. Este efeito expensor faz com que a amostra 1, que contém 20% em peso do resíduo, sofra uma expansão de 8,6% em volume e a amostra 7, com 80% em peso, apresente 110,5% de expansão. A questão é que o aumento da porosidade pode prejudicar na qualidade do material como resistência mecânica e tenacidade à fratura, mas reduz a sua condutividade térmica.

Como a gama de variáveis é muito grande, pode-se aperfeiçoar os processos a ponto de garantir melhores propriedades para cada finalidade do material, assim como, melhores técnicas de fabricação.

REFERÊNCIAS

1. MARQUES, L. N., et al. Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. V. 2, p. 34-42, 2007.
2. Carmeane Eftting, Marilena Valadares Folgueras, Saulo Güths, Orestes Estavam Alarcon. **Microstructural Characterization of Ceramic Floor Tiles with the Incorporation of Wastes from Ceramic Tile Industries**. *Materials Research*, v. 13, n. 3, 319-323, 2010.

3. Carneane Effting, Saulo Güths, Orestes Estavam Alarcon. **Evaluation of the Thermal Comfort of Ceramic Floor Tiles**. Materials Research, Vo. 10, No. 3, 301-307, 2007.
4. REED, J.S. Introduction to the principles of ceramic processing. John Wiley, New York, 1988.
5. SILVA, A. G. P. **Porosidade e densidade de materiais cerâmicos**. In Estrutura e propriedades de materiais cerâmicos. p. 172-178.
6. SOUZA, P. A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
7. MARQUES L. N., et al.. *Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica*. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.2, n. 2, p. 34 – 42, 2007.

REUSE OF RESIDUE OF THE POLISHING OF THE PORCELANATO OF IMPROVEMENT IN THE THERMAL COMFORT OF NEW CERAMIC FLOORS

ABSTRACT

The ceramic industry as well as other industries produces in a greater or lesser amount of waste, that almost never are recycled or has an eco-friendly destination. Finding a correct destination for these materials has been a big problem for society nowadays. Therefore, this work proposes the use of abrasive's waste of silicon carbide to promote expansion in ceramics in order to obtain ceramics with better thermal comfort. Thus, this material was incorporated with atomized powder of the ceramic mass in different mass percentages. These samples were calcined and tests absolute and apparent density, water absorption, linear, porosity and volumetric expansion, indicated that with the increase of amount of waste, the porosity, water absorption increases and consequently the densities apparent and absolute reduces.

Key-words: ceramic floor tiles, thermal comfort, porosity.