

# A INCORPORAÇÃO DE PÓ DE EXAUSTÃO EM MASSA CERÂMICA ATOMIZADA TIPO SEMIGRÊS

W. R. Knop<sup>1</sup>, L. Dalla. Valentina<sup>2</sup>, M. V. Folgueiras<sup>3</sup>, S.C.Semptikovski<sup>4</sup>  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Centro de Ciências  
Tecnológicas – CCT Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/SOCIESC  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM  
Campus universitário Avelino Marcante s/n Bairro Bom Retiro – Joinville – SC  
wrknop@yahoo.com.br

## Resumo

*Dentro do contexto de busca de alternativas para a utilização de subprodutos industriais como matéria-prima para a indústria cerâmica, este trabalho procurou avaliar a possibilidade do emprego de pó de exaustão proveniente do processo de fundição. Este material foi caracterizado por MEV-EDX, DRX, ATD e TG constatando-se que se trata de um pó com alto teor de finos e composição compatível com a de massas cerâmicas. Foram desenvolvidas formulações com diferentes teores de pó de exaustão. Os materiais sinterizados entre 1000 e 1200°C foram caracterizados quanto a propriedades tecnológicas como a absorção de água, retração linear, densidade aparente porosidade aparente. A análise microestrutural foi realizada utilizando DRX e MEV. Os resultados mostraram a viabilidade da utilização do subproduto. Observou-se que o subproduto aumentava o processo de sinterização, e com elevados teores de subproduto aumentam a formação de porosidade e intensificam a cor do novo material.*

*Palavras-chave: Pó de exaustão, fundição, materiais cerâmicos.*

## INTRODUÇÃO

A partir do século XVIII com a Revolução Industrial aliado ao desenvolvimento tecnológico, deu origem a geração de resíduos e conseqüente poluição ambiental. Principalmente, em função das novas atividades produtivas, consumirem uma variedade de matérias-primas, as quais são fatores preponderantes na degradação do meio ambiente. Somente na década de 90 a preocupação com a política ambiental teve destaque no Brasil, fato que contribui para conscientização sobre o

problema da poluição. E fundamentalmente, de que muitos materiais descartados (resíduos) pelas indústrias podem ser considerados como subprodutos passíveis de serem reutilizados. O que possibilita menor quantidade de resíduo disposto no meio ambiente e poderá também reduzir o custo do produto final (1-2-3). Sendo assim é necessário o conhecimento tecnológico e científico para o desenvolvimento de novos substitutos das matérias-primas minimizando a exploração de recursos naturais e tecnologias para diminuir a geração de poluição e resíduos (3).

Os processos das indústrias de fundição são grandes geradores de resíduos sólidos e consumidores de matérias-primas, aproximadamente 25% de cada tonelada de ferro fundido produzido são resíduos (4). Portanto, existe uma grande necessidade de desenvolver aplicações ou destinação dos subprodutos gerados neste tipo de indústria. Os subprodutos gerados pela fundição são provenientes dos processos de moldagem ou de outros relacionados ao mesmo, como por exemplo, escória de fundição, areia de machos e moldes, sucata de ferro, material particulado, pós de exaustão e vapores tóxicos dos fornos, resíduos líquidos (5). O pó de exaustão que é um dos resíduos formados no processo de fundição será o objeto deste estudo, que foi disponibilizado por uma indústria de fundição de Joinville. O pó de exaustão é originado no processo de fabricação dos moldes de areia, quando é misturado a bentonita, carvão vegetal e areia silicosa na confecção de areia verde para a produção de peças metálicas. Esta mistura gera pós finos que tem de ser retirados, pois dificultam a saída dos gases devido a seu elevado teor de finos acarretando bolhas nas peças fundidas (3).

Por outro lado as formulações de massas cerâmicas permitem o emprego de uma vasta gama de matérias primas diferentes entre si, por isso este material pode ser uma alternativa viável de absorver os subprodutos originados industrialmente como, por exemplo, os subprodutos da fundição. Como as matérias-primas utilizadas na fabricação de materiais cerâmicos são de origem natural, se torna importante a utilização de matérias-primas alternativas diminuindo assim a demanda de elementos retirados da natureza. Uns dos setores de materiais cerâmicos mais utilizados para absorver resíduos sólidos são aqueles utilizados na construção civil como, por exemplo, tijolos, cimentos e revestimentos cerâmicos (6).

Neste contexto este trabalho propõe-se desenvolver um novo material incorporando o subproduto sólido pó de exaustão proveniente de uma fundição de Joinville como matéria-prima alternativa em cerâmica de revestimento. O que

possibilita reduzir os custos com as matérias-primas originais, pois parte delas poderá ser substituída pelo pó de exaustão sem prejuízos para as propriedades mecânicas e microestrutura.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Materiais

As matérias-primas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram uma massa atomizada tipo semigrês utilizada para fabricação de revestimento cerâmico proveniente de uma indústria de fabricação de revestimentos da região de Tijucas - SC e o subproduto pó de exaustão fornecido por uma indústria de fundição de Joinville, adicionada no intuito de incorporação na massa cerâmica.

### Procedimento Experimental

No desenvolvimento deste trabalho, adotou-se a seguinte seqüência para a obtenção dos corpos cerâmicos: caracterização das matérias-primas utilizando as principais técnicas que permitissem a avaliação das características e propriedades destes materiais (MEV-EDX, DRX, ATD e TG); formulação das massas cerâmicas misturados manualmente, com três formulações diferentes com as seguintes proporções: somente a massa atomizada e 15% e 30% de subproduto pó de exaustão incorporados na massa; conformação de corpos-de-prova, e sinterização a diferentes temperaturas. Os corpos cerâmicos foram caracterizados através de algumas propriedades tecnológicas como a absorção de água, retração linear, densidade aparente e porosidade aparente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A caracterização das amostras iniciou-se com a realização de análises térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (TG) tanto para a massa atomizada como para o subproduto e sua mistura. No caso do subproduto (figura 1) percebe-se que ocorre perda de massa quando o ensaio é realizado em atmosfera oxidante. Esta se acentua no intervalo de temperatura entre 350 e 550°C com perda de 18,15%, e está associada a um evento exotérmico. Na figura 2, que representa o mesmo ensaio realizado em atmosfera inerte, observa-se que esta perda de massa é muito pequena e não ocorreu em uma temperatura específica. Desta forma, podemos afirmar que esta perda de massa esta associada à decomposição de constituintes

do pó de exaustão, justificada pela sua composição (carvão + areia + bentonita) que apresenta grande quantidade de matéria orgânica.

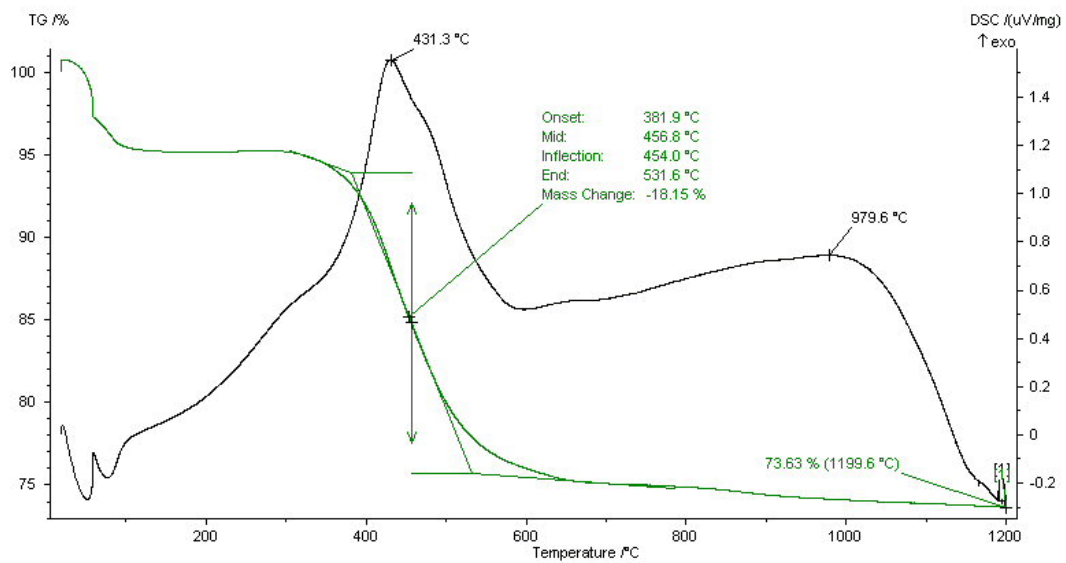


Figura 1: Análise térmica do subproduto (ar).

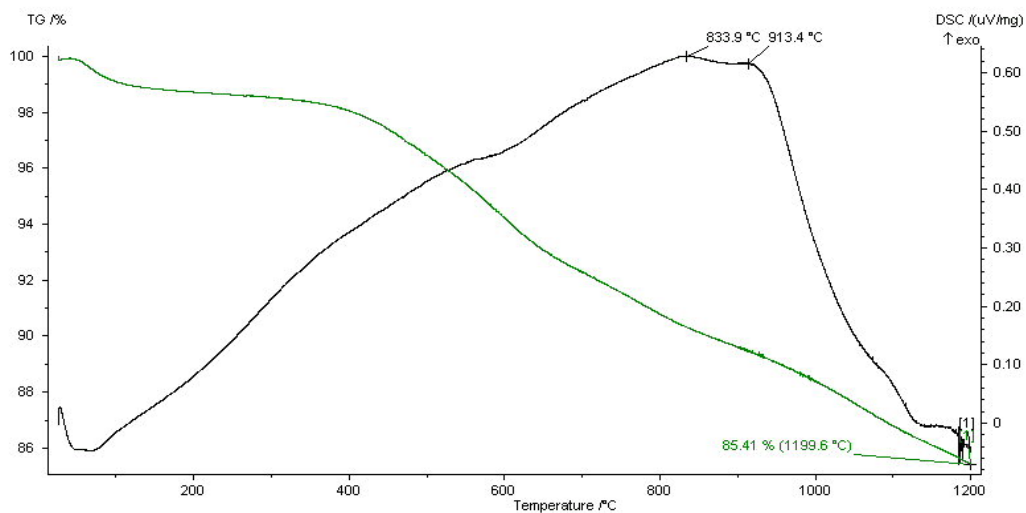


Figura 2: Análise térmica do subproduto (N2).

A curva de análise termogravimétrica da massa atomizada (Figura 3) apresenta três intervalos associados à perda de massa e é característico de massas argilosas de aplicação comercial. O primeiro está vinculado à perda de água livre, sendo que isto aconteceu próximo a 100°C, essa perda, da ordem de 1%, refere-se à umidade resultante de processamento e condições de armazenamento. Já entre 100°C e 500°C ocorrem às reações de oxidação da matéria orgânica. Entre o intervalo de 500°C e 800°C ocorrem às reações de decomposição dos Argilominerais, com uma perda de massa de aproximadamente 2,97%.

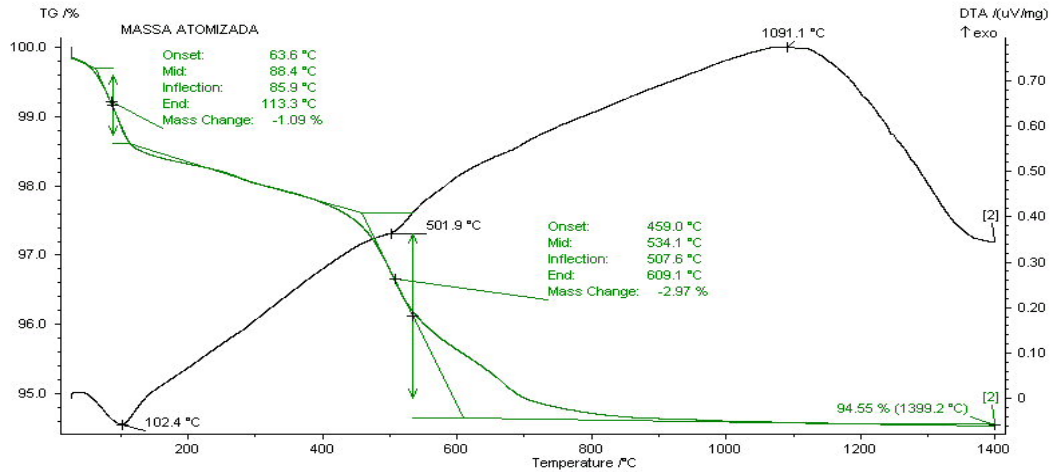


Figura 3: Análise térmica da massa atomizada.

Através da curva de análise termogravimétrica da combinação de pó de exaustão e massa atomizada da figura 4 é possível observar que a adição do subproduto aumentou a perda de massa em comparação com a massa sem o referido subproduto que pode estar associada à decomposição de constituintes do pó de exaustão. Pela curva de ATD observa-se que para a mistura existem dois pontos exotérmicos entre 500 e 600°C e no subproduto conforme figura 1 existe um ponto exotérmico que ocorre à 430°C indicando serem fenômenos diferentes, sendo possível observar que ocorreu uma interação entre a massa e o subproduto.

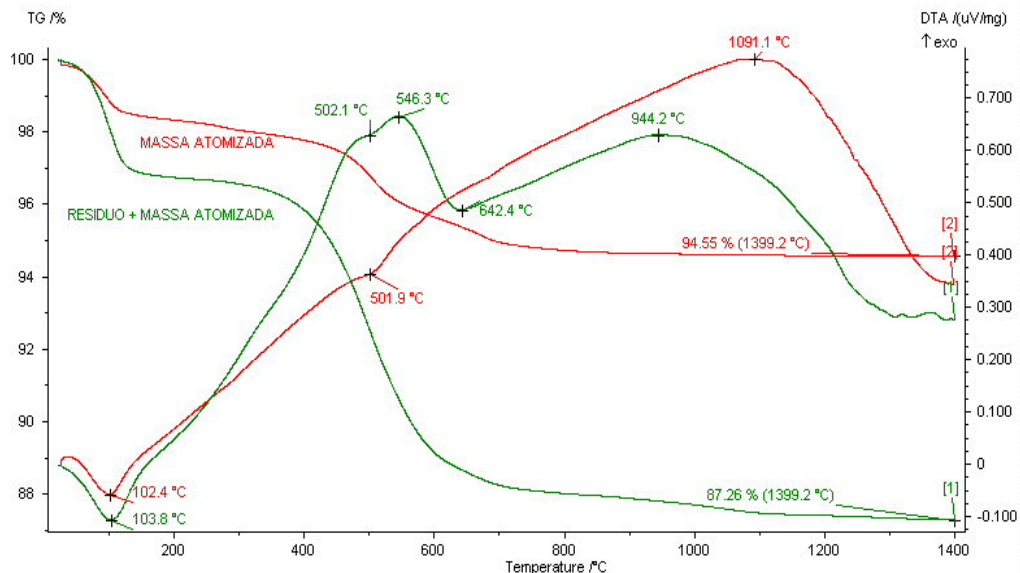


Figura 4: Análise térmica da massa atomizada e da combinação de 30% do subproduto pó de exaustão adicionado a esta massa.

A figura 5 apresenta as micrografias da superfície polida dos componentes cerâmicos obtidos sem e com adição de 15 e 30% do subproduto pó de exaustão

em massa, sinterizadas a 1000, 1100 e 1200°C. Verifica-se claramente a evolução da microestrutura das peças sendo que à medida que aumenta a temperatura de sinterização aumenta o contato entre as partículas formando uma matriz contínua onde a porosidade evolui de porosidade contínua e aberta até porosidade fechada e com poros arredondados.

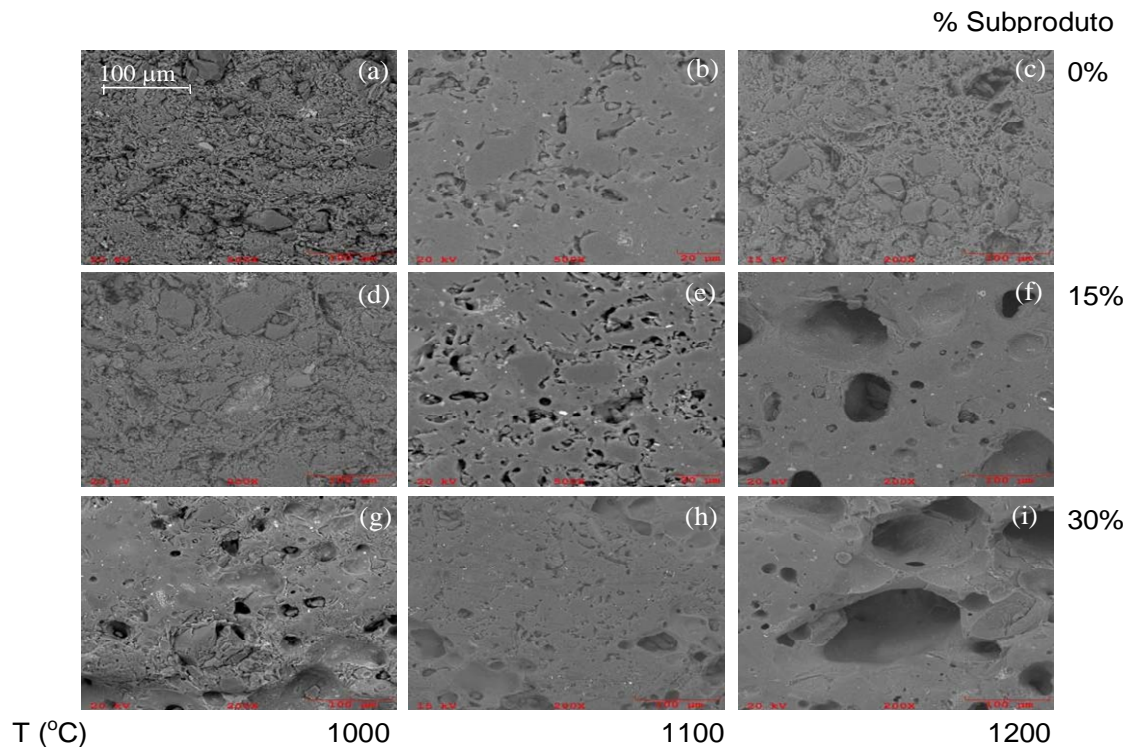


Figura 5: Variação da porosidade aparente dos corpos-de-prova nas três temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C.

A micrografia (a) apresenta uma superfície rugosa, isso é esperado para materiais argilosos sinterizados a essa temperatura, na qual a quantidade de fase líquida não foi suficiente para fechar a porosidade aberta. Na micrografia (c) observa-se maior formação de poros arredondados e isolados, sendo que o tamanho do poro aumenta com o aumento do teor de resíduo, (figuras f e i). Esta porosidade é resultante da emissão de gases formados em decorrência da decomposição de componentes presentes no resíduo. A evolução da porosidade com a incorporação de subproduto pode ser vista nas micrografias (c, f e i) da figura 5. A amostra com 15% de subproduto, apresentado na micrografia (d), sinterizados na temperatura de 1000°C apresentou maior efeito de sinterização, com a formação de uma matriz contínua. Observa-se que há diferença de morfologia de grãos e poros em relação à amostra com a adição do subproduto pó de exaustão.

Para a identificação das fases presentes nas amostras do subproduto pó de exaustão, massa atomizada e a sua mistura, foi utilizada a difratometria de raios-x. Para o subproduto foi realizada a caracterização in natura e com tratamento térmico de 600 e 1000°C. Pode-se observar que o subproduto é constituído por várias fases cristalinas como: Argilomineral do grupo da vermiculita, Argilomineral do grupo da Montmorilonita, Quartzo – SiO<sub>2</sub>, Cristobalita – SiO<sub>2</sub>, Hematita, Espinélio, Albita verificado pela figura 6. O aquecimento deste material favorece a formação de cristobalita e a identificação da presença de hematita.

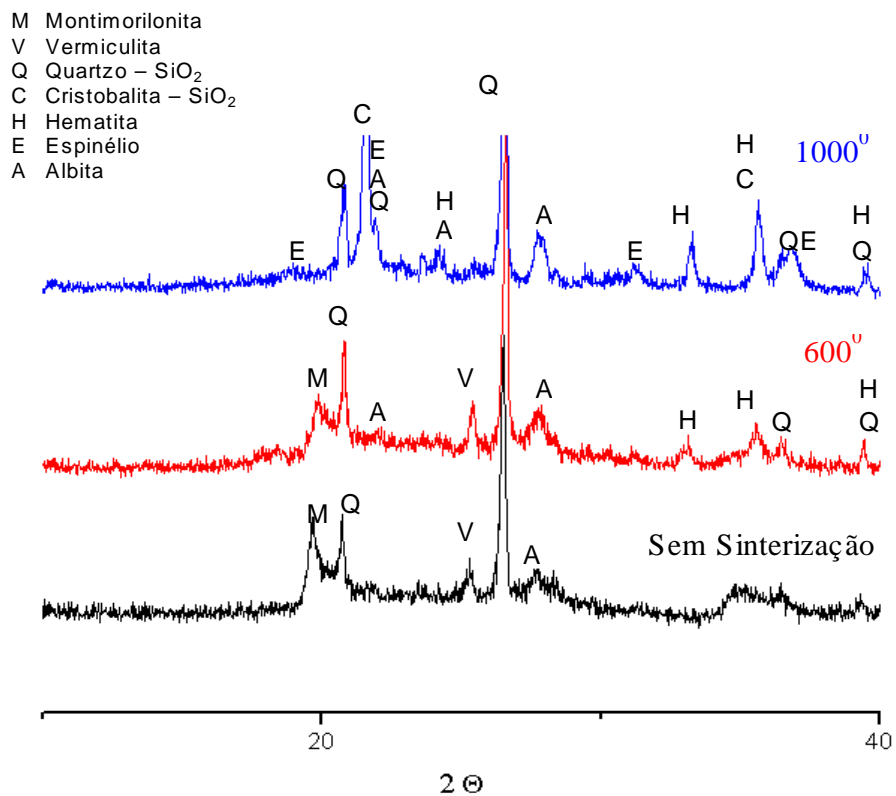


Figura 6: Difratograma do subproduto pó de exaustão.

A análise de difração de Raios-x da massa in natura, (ver figura 7), mostra que esta é constituída por quartzo, albita e mica (argilomineral). Por sua vez a figura 8 apresenta o difratograma da incorporação de 30% do subproduto em massa in natura e com tratamento térmico de 1000, 1100 e 1200°C, nas quais foram identificadas as fases Quartzo, Albita e Hematita.

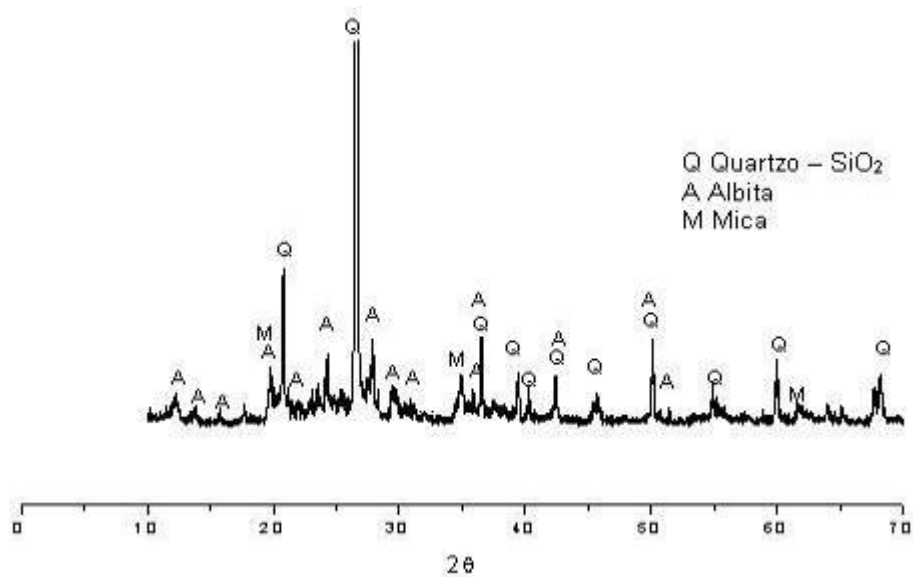


Figura 7: Difratoograma da massa atomizada in natura.

A partir da temperatura de 1000°C, ocorre a decomposição dos componentes argilosos, explicando a presença do halo amorfo e a redução da intensidade dos picos característicos da presença de fases cristalinas. Observa-se também que a identificação da presença da hematita, existente no subproduto, foi dificultada em função desta apresentar-se em menor teor por estar diluída no material. A partir de 1000°C é possível identificar a presença de mulita, sendo que a definição do pico em 16° é nítida para o material sinterizado a 1200°C.

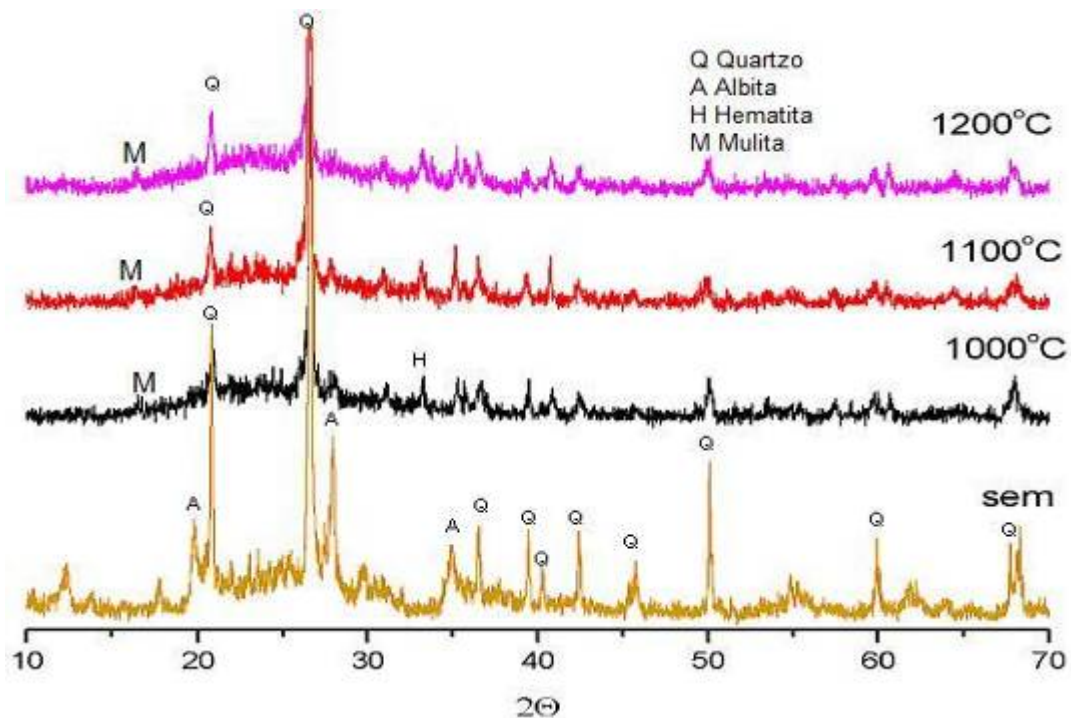


Figura 8: Difratoograma da mistura de 30% de subproduto em massa in natura e com tratamento térmico de 1000, 1100 e 1200°C.



As figuras 9 e 10 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e porosidade aparente dos corpos-de-prova sinterizados nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C. É possível verificar o aumento da temperatura de sinterização resulta na redução da absorção de água e da porosidade aparente. Entretanto, a absorção de água dos três materiais, tanto em valores como em tendência de comportamento em relação à temperatura de sinterização, pode ser considerada semelhante indicando que a introdução do subproduto não influi na formação de poros abertos. Na temperatura de 1100°C a absorção de água é da ordem de 5% e a 1200°C os valores alcançados são inferiores a 2%. Verificou-se também que a amostra com adição de 15% de subproduto apresentou porosidade aparente mais próxima ao da amostra de massa com 12,32 e 12,16% respectivamente.

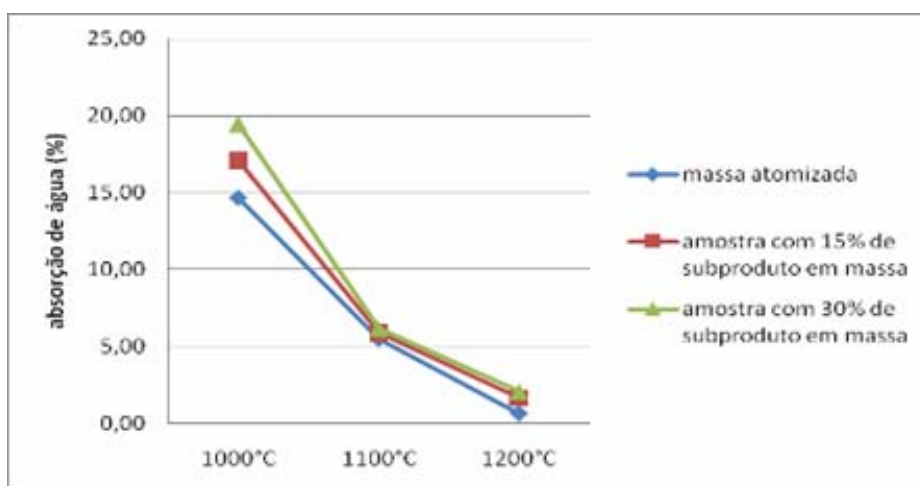


Figura 9: Variação de absorção de água dos corpos-de-prova nas três temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C.

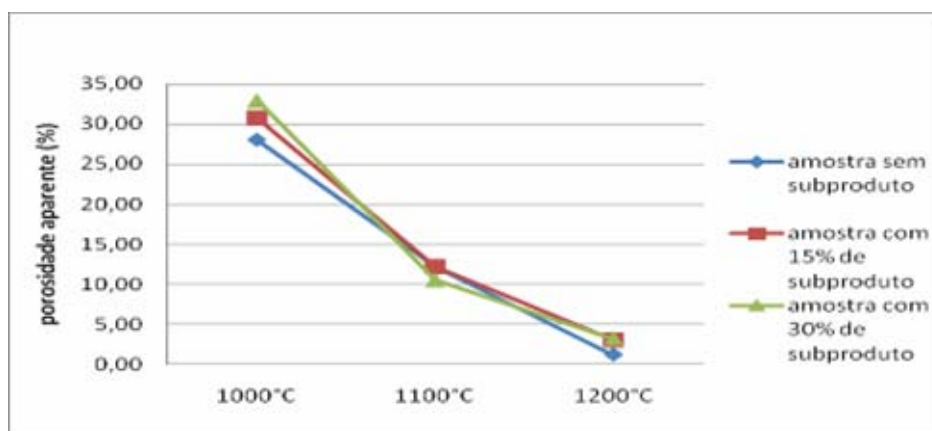


Figura 10: Variação da porosidade aparente dos corpos-de-prova nas três temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C.

Os valores de retração linear, apresentado na figura 11, mostram que existe uma diferença de comportamento entre os materiais obtidos. Existe, para algumas composições uma tendência de expansão para temperaturas de sinterização superiores a 1100°C. O processo de expansão em altas temperaturas pode estar associado à transformações de fase, formação de fase líquida ou decomposição acompanhada de formação de voláteis. Em todas as composições acredita-se que ocorreu a formação de fase líquida, em função da temperatura e principalmente em vista dos valores baixos de absorção de água observados. Para as composições contendo o subproduto sabe-se que esta expansão está associada à formação de poros no interior da peça, sendo este feito significativo para a composição contendo 30 % de subproduto.

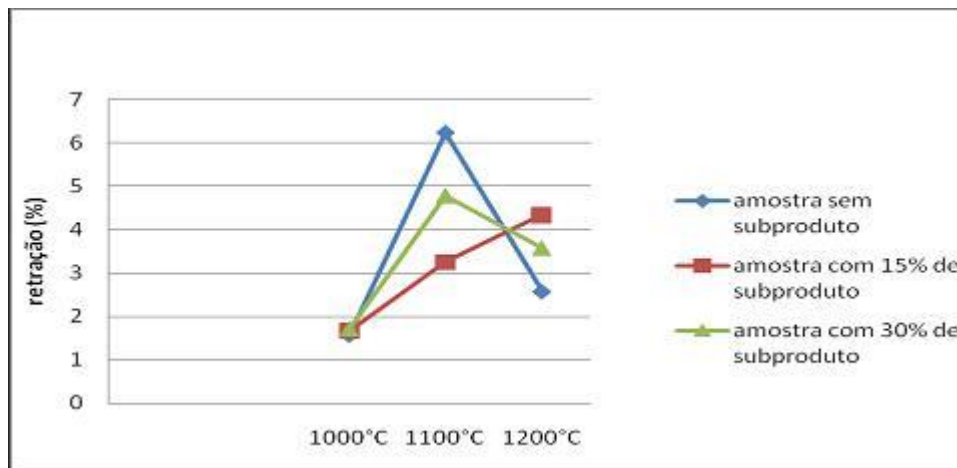


Figura 11: Variação da retração linear dos corpos-de-prova nas três temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C.

De acordo com o gráfico da figura 12 que apresenta os valores de densidade aparente das amostras com 15 e 30% de subproduto em massa e somente da massa em três temperaturas 1000, 1100 e 1200°C, é possível observar que, com o aumento do teor de subproduto diminui o valor de densidade aparente nas três temperaturas analisadas. A amostra contendo adição de 15% de subproduto em massa apresenta a menor alteração nos valores referentes à densidade aparente em relação aos valores respectivos a massa, comprovada pela figura 12. De uma forma geral, quanto maior o teor de subproduto adicionado menor a densidade aparente do material.

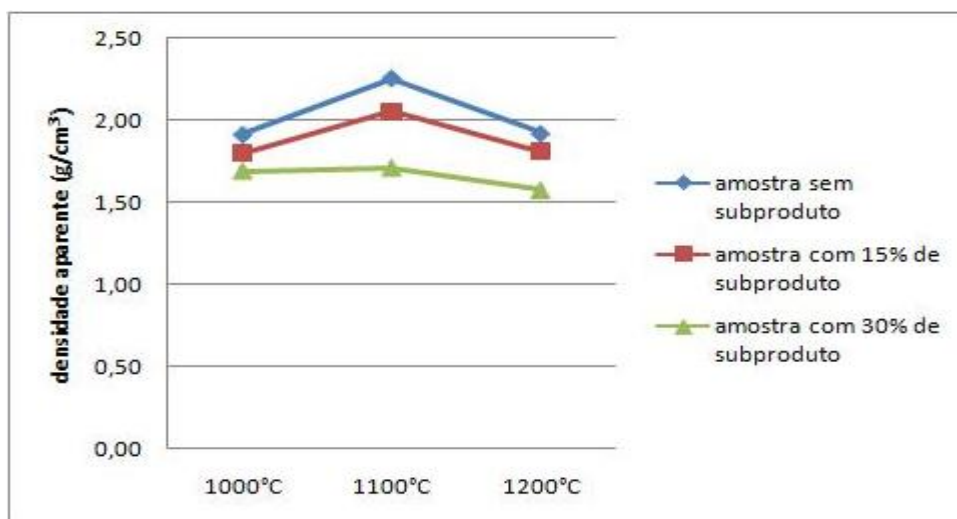


Figura 12: Variação da densidade aparente dos corpos-de-prova nas três temperaturas de 1000, 1100 e 1200°C.

## CONCLUSÕES

O estudo foi baseado na caracterização do subproduto pó de exaustão originário do processo de fundição. Através das análises de raios-x observou-se que a incorporação do subproduto na massa não favoreceu a formação de novas fases cristalinas. Em função das características morfológicas da microestrutura formada é possível afirmar que este subproduto aumentou a sinterabilidade do sistema, entretanto gerou também grande quantidade de poros de dimensões exageradas. De uma forma geral, quanto maior a quantidade de subproduto adicionada, maior a quantidade de porosidade formada. Outro efeito verificado para os materiais obtidos neste trabalho foi o efeito do subproduto no aumento da intensidade da cor do novo produto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Promop-UDESC e das empresas pelo fornecimento do subproduto e massa.

## REFERÊNCIAS

- (1) OKIDA, José Roberto. **Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Campus Ponta Grossa, da UTFPR - Ponta Grossa, PR.
- (2) PEREIRA, Raquel Luísa. **Resíduos sólidos industriais: uma fonte alternativa na elaboração de materiais cerâmicos de baixa densidade**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/SC, Joinville.

(3) RIBEIRO, Ricardo Augusto Cruz. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Paraná – UFPR/PR, Curitiba.

(4) ZANETTI, et.al. Foundry processes: the recovery of green moulding sands for core operations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 38, p. 243-254, 2002.

(5) CHEGATTI, Schirlene. **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC/SC, Florianópolis.

(6) MODESTO, et.al. Obtenção e Caracterização de Materiais Cerâmicos a partir de Resíduos Sólidos Industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 4, Julho/Agosto 2003.

(7) SANTOS, Persio de Souza. **Tecnologia de argilas aplicada as argilas brasileiras**. 1 ed. São Paulo: E. Blücher/EDUSP, 1975.

### **Abstract**

#### **The incorporation of exhauster powder mass in ceramics atomised**

*Inside the context of alternative search for the use of industrial waste as natural raw for the industrial ceramic, this work had the objective to evaluate the possibility of the use of exhauster powder generated in the foundry process. The characterization was performed by scanning electron microscopy, x-ray difratometry and thermal analysis (ATD, TG) noting that it is a powder with a high content of fine and compatible with the composition of ceramic bodies. Formulations were prepared with different exhauster powder content. The sintered materials at 1000, 1100 and 1200°C were characterized according technological properties as water absorption, linear shrinkage, bulk density and apparent density. Microstructural analysis was carried out by scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The results showed that it is possible to use the waste. It was observed that the waste increase the density in sintering process, and with high levels of waste occurs an increase of the porosity and intensification in the color of the new material.*

**Key-words:** *exhauster powder, foundry, ceramic material.*