

## Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular

**Adriano Michael Bernardin<sup>a,b</sup>, Diana de Souza Felisberto<sup>a</sup>,  
Maise Topanotti Daros<sup>a</sup>, Humberto Gracher Riella<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Avenida Universitária 1.105, 88.806-000 Criciúma - SC, Brasil

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário,  
88040-900 Florianópolis - SC, Brasil

\*e-mail: [adriano@unesc.net](mailto:adriano@unesc.net)

**Resumo:** Na indústria cerâmica é gerada uma grande quantidade de resíduos, normalmente depositados em aterros. A cada três anos um hectare é poluído por eles. Assim, a recuperação e reciclagem de resíduos de valor econômico é uma solução atraente em relação a sua disposição devido à redução tanto do consumo de matérias-primas quanto da poluição ambiental. Neste contexto, este trabalho propõe o uso de resíduos de abrasivos à base de carbetos de silício para a promoção de expansão em corpos cerâmicos. Aproximadamente a 1.000 °C o SiC decompõe-se em CO<sub>2</sub> e SiO<sub>2</sub>. Adicionado a um vidro com baixo ponto de amolecimento (~800 °C) o SiC pode promover a expansão deste vidro. Neste trabalho resíduo de polimento e sobras de esmalte foram utilizados para fabricação de cerâmicas celulares. Ambos resíduos inicialmente foram desagregados (moinho excêntrico, 44 µm), o abrasivo foi adicionado ao vidro (1, 3, 6 e 12% em massa) e as misturas moldadas em esferas com 3 cm de diâmetro. As amostras foram então sinterizadas a 1.200 °C por 15 minutos. Finalmente, as amostras foram submetidas à microscopia, determinação de densidade e resistência mecânica à compressão. Todos resultados mostraram uma boa expansão com resistência mecânica adequada. Foi possível obter produtos com apenas 0,2 g/cm<sup>3</sup>. Este desenvolvimento encontra-se patenteado sob nº PI9902859-0.

**Palavras-chave:** *reciclagem, carbetos de silício, vidrados, cerâmica celular*

### 1. Introdução

Uma indústria cerâmica consome grande quantidade de matéria-prima; conseqüentemente, como em todas as indústrias, rejeitos também são gerados. Resíduos depositados em aterros de forma desordenada podem trazer inúmeros problemas, como contaminação do solo, contaminação do lençol freático, contaminação dos rios e lagos, surgimento de doenças e redução dos recursos naturais não-renováveis, além de influenciar negativamente o ciclo biológico da vegetação presente<sup>1,2</sup>.

A recuperação e a reciclagem de resíduos que apresentam valor econômico são formas mais atraentes para a solução dos problemas de tratamento e destino final, tanto na opinião dos industriais como do ponto de vista dos órgãos estaduais de proteção e fiscalização ambiental, principalmente por ser visto como um fator importante para a redução do consumo dos recursos naturais e uma maneira de reduzir a carga de poluentes lançados no meio ambiente<sup>2,3</sup>.

O resíduo resultante no processo de fabricação de um cerâmico é denominado “quebra”. São produtos acabados que apresentam algum tipo de defeito e por isso são desclassificados no setor de escolha<sup>4</sup>. Outros tipos de resíduos sólidos são as cinzas de carvão mineral procedentes dos tanques de decantação de efluentes líquidos gerados nas fornalhas.

Há ainda os rejeitos das valas de decantação dos efluentes líquidos do setor de esmalte e tintas, como também o material decantado nas valas de captação de efluentes líquidos existentes no interior da fábrica, no setor de esmaltadoras, todos denominados “raspas” de esmaltes<sup>2</sup>. As cinzas geradas a partir da queima do carvão mineral são constituídas basicamente de sílica (SiO<sub>2</sub>) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que correspondem à cerca de 50 e 30% da sua massa, respectivamente. As cinzas do carvão mineral são resíduos sólidos potencialmente

poluidores, tanto devido ao pH da sua drenagem, quanto devido à solubilização dos elementos presentes na sua composição química, que reflete a composição do carvão suprindo-se os elementos voláteis<sup>1</sup>.

Os efluentes líquidos são compostos basicamente por substância inorgânicas e insolúveis. Os corantes contêm óxidos de Al, Co, Zr, Si, Cr, Zn, Ni, Ca e Sn; os esmaltes contêm SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O e PbO; as resinas sintéticas contêm compostos orgânicos; as tintas contêm Pb, Ca, Si, Al, Fe, Cr e Mn; além de haver sólidos finos em suspensão (argilas, restos de fritas, silicatos)<sup>1</sup>.

O material utilizado para o polimento das peças é a pedra abrasiva, objeto desta proposta de pesquisa, que pode ser à base de partículas de diamante ou de carbetos de silício. Como os revestimentos cerâmicos polidos, tanto porcelanato quanto grês polido, têm alto valor agregado, o consumo das pedras abrasivas está crescendo muito. Em 1996 a única empresa produzindo porcelanato no Brasil era a Eliane Revestimentos Cerâmicos. Hoje, além da empresa Eliane, Cecriisa, Ceusa, Itagrês e Portobello produzem tanto porcelanato quanto grês polido, gerando grande quantidade de resíduos e sobras de pedras abrasivas<sup>3,4</sup>.

Especificamente na indústria de revestimentos cerâmicos da região de Criciúma não há reciclagem dos resíduos sólidos. Os resíduos sólidos industriais são descartados diretamente em aterros<sup>4</sup>. As empresas cerâmicas vêm descartando as sobras de produtos de esmaltamento e de polimento (pedras abrasivas) há muito tempo, sem critério algum. Os resíduos de esmaltamento, também chamados de “raspas”, são as sobras do processo de aplicação do esmalte a úmido, captadas, armazenadas e filtradas para eliminar a água residual. O produto do processo de filtração, a chamada torta, é então aterrada<sup>1,4</sup>. As pedras abrasivas, por sua parte, são compostas ou por partículas de

diamante, aglomeradas por cimentos à base de cloretos magnesianos, ou por partículas de carbetto de silício aglomeradas pelo mesmo tipo de cimento.

Estas sobras de pedras abrasivas não têm outro destino a não ser os aterros, como é comum a todos resíduos gerados pela indústria cerâmica no Brasil. Porém, há outra possível destinação para as sobras<sup>5-7</sup>. Nos anos 1970 Espanha e Itália enfrentavam o mesmo problema com relação às sobras de pedras para polimento. Várias soluções foram encontradas, sendo uma das mais efetivas o uso das pedras contendo carbetto de silício em sua composição como agentes promotores de expansão em produtos cerâmicos. Esta solução também não é inteiramente nova, havendo patente registrada no Brasil para algumas aplicações<sup>8</sup>.

O carbetto de silício a partir de 1.150 °C decompõe-se em atmosfera oxidante gerando CO<sub>2</sub> e uma fina camada de SiO<sub>2</sub><sup>9</sup>. Se adicionado a um cerâmico com ponto de amolecimento próximo à temperatura de decomposição do SiC, o produto resultante sofrerá uma expansão volumétrica devido à decomposição do SiC associada ao início do amolecimento do material cerâmico, cuja superfície será impermeável à passagem do gás resultante da decomposição para o exterior da peça. O produto resultante será o material cerâmico expandido. Sua aplicação varia desde um componente para preenchimento de lajes nas construções, até a fabricação de divisórias com excelentes propriedades térmicas.

Pelo volume gerado, tanto de sobras de pedras abrasivas quanto de resíduos de produtos de esmaltação, percebe-se o alcance desta pesquisa; a produção de cerâmicos celulares a partir de resíduos da indústria cerâmica pode ser uma solução para um sério problema ambiental devido ao aterro destes produtos, havendo também a possibilidade de se criar novos produtos a partir de resíduos sólidos industriais.

Deste modo, este projeto de pesquisa visou uma alternativa ao descarte de resíduos sólidos gerados pela indústria cerâmica (resíduos de esmaltação e sobras de pedras abrasivas), pela utilização destes resíduos em novos produtos<sup>5-7</sup>, com bom valor agregado, como é o caso de produtos cerâmicos celulares. Estes produtos têm utilidade na indústria de construção civil, tanto como componentes de lajes, substituindo polímeros expandidos (poliestireno), como divisórias internas, substituindo madeira e papel. Deve-se ressaltar que estes produtos têm boas características de conforto térmico, ainda não adequadamente medidas, apenas qualitativamente comparadas.

## 2. Procedimento Experimental

As duas matérias-primas utilizadas foram: “raspas” de esmaltes e sobras de pedras abrasivas de carbetto de silício. As raspas de esmalte são obtidas como resíduos filtrados do processo de esmaltação de revestimentos cerâmicos; tais resíduos são uma mistura de vários tipos de esmaltes cerâmicos (ou vidrados cerâmicos), normalmente aplicados em revestimentos de monoqueima.

Os esmaltes para monoqueima têm como características uma composição química à base de sílica, alumina e óxido de cálcio; têm temperatura de amolecimento acima de 800 °C e recebem muitas vezes como aditivos óxidos opalescentes, caso da zircônia (ZrO<sub>2</sub>), ou para matização, caso do óxido de zinco (ZnO). Dependendo das trocas de produtos nas linhas e da variação dos produtos sendo fabricados na fábrica, a composição química das raspas pode ser mais ou menos estável, resultando em uma matéria-prima com boas características, e não apenas um resíduo.

A pedra abrasiva é composta por partículas de carbetto de silício aglomeradas por um cimento cloro-magnesiano. Vem envolta por um polímero de alta resistência e é presa por este envoltório às máquinas de polimento. As bases de fixação envoltas pelo polímero contêm parte da pedra abrasiva, não sendo assim consumidas no processo de polimento, gerando as sobras.

Deste modo, o primeiro passo é o desprendimento da pedra do envoltório polimérico, etapa realizada utilizando-se um moinho de mandíbulas; o envoltório separa-se facilmente da pedra durante fragmentação. As pedras fragmentadas foram secas em estufa a 150 °C por 48 horas. Após a primeira separação, as pedras fragmentadas foram pesadas e então moídas em moinho excêntrico abaixo de 75 µm (peneira malha 200 ABNT).

O mesmo procedimento foi utilizado para os resíduos vítreos (“raspas” de esmaltes). Deve-se esclarecer neste ponto que não há uma moagem tanto das pedras abrasivas quanto dos resíduos de esmalte no sentido de diminuir o tamanho de partícula. A pedra é moída para liberar as partículas de carbetto da matriz de cimento cloro-magnesiano e o resíduo vítreo é na verdade desagregado, pois em fábrica já sofreu uma etapa de moagem como preparação para aplicação em suspensão cerâmica.

Após a preparação das amostras, o resíduo de pedra foi adicionado ao resíduo de esmalte, a úmido, em proporções de 1, 3, 6 e 12%, massa seca, para verificar o efeito expansivo do carbetto. A mistura foi conduzida nos mesmos moinhos excêntricos de jarros. As pastas resultantes foram então novamente secas a 150 °C, 48 horas, umedecidas e então manualmente conformadas em esferas de aproximadamente 3 cm de diâmetro.

Finalmente, as amostras secas foram sinterizadas em forno de laboratório a 1.200 °C por 15 minutos, sendo então medidas para cada formulação sua densidade (método de imersão em mercúrio), determinada sua resistência à compressão diametral (EMIC DL10, 10 mm/min) e observada sua microestrutura (estereoscópio, aumento de 20x).

## 3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 indica os principais resultados obtidos no trabalho. Pode-se perceber como todas amostras apresentam baixa densidade e uma resistência mecânica à compressão adequada, quando comparada à apresentada por materiais similares, como poliestireno expandido. Todos valores referem-se a uma média de cinco amostras ensaiadas.

Com relação ao comportamento mecânico, as amostras com maior percentual de abrasivo adicionado apresentam menor tensão de ruptura na compressão, 10,0 kgf/cm<sup>2</sup> para 12% de abrasivo adicionado em comparação a 52,6 kgf/cm<sup>2</sup> para 1% de adição, Figura 1. A deformação linear na ruptura é de 2,9% para 1% de abrasivo adicionado, aumentando até 10,0% linear para 12% de adição. Deve ser observado que cinco amostras foram medidas para cada caso, havendo também uma grande dispersão de valores (variância de 15% para deformação na ruptura).

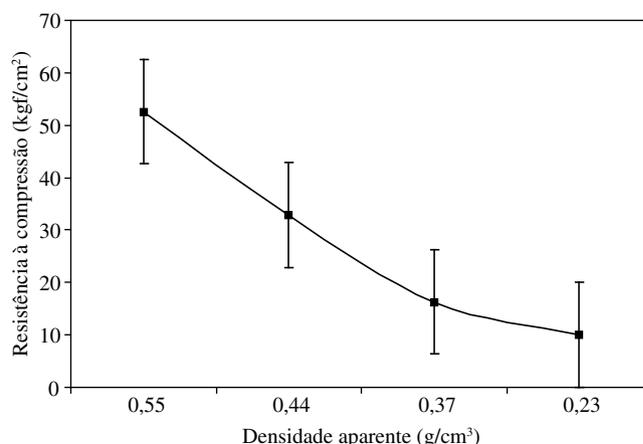


Figura 1. Resistência mecânica das amostras em função da densidade aparente apresentada.

A Figura 2 mostra a microestrutura das composições expandidas, revelando a porosidade fechada responsável pela baixa densidade das amostras. Percebe-se como todas amostras vitrificaram, com uma grande quantidade de poros fechados, totalmente esféricos, o que explica a expansão obtida.

É visível a influência do percentual de adição de abrasivo na porosidade fechada das amostras, causando a expansão característica, resultando na baixa densidade das amostras. Com 1% de adição as amostras apresentam em média densidade de 0,55 g/cm<sup>3</sup>; com 12% de adição, a densidade é de 0,23 g/cm<sup>3</sup>.

As propriedades térmicas e acústicas não foram medidas, sugerindo-se a continuidade deste projeto. Especula-se que sejam muito

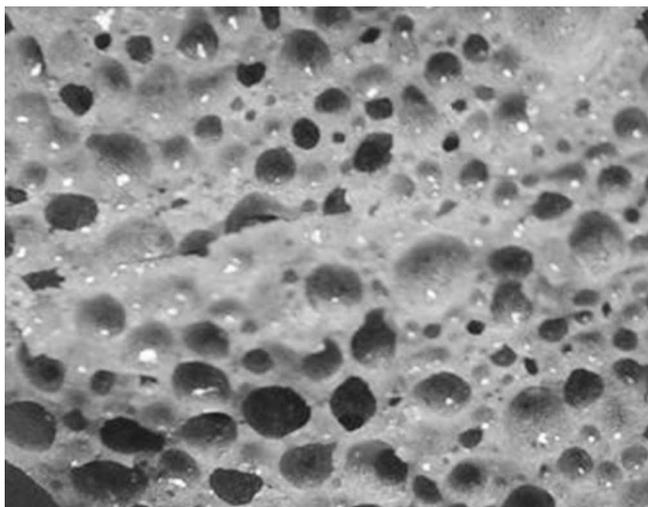
boas, com grande isolamento, devido à porosidade fechada apresentada e às características da matriz vítrea.

#### 4. Conclusão

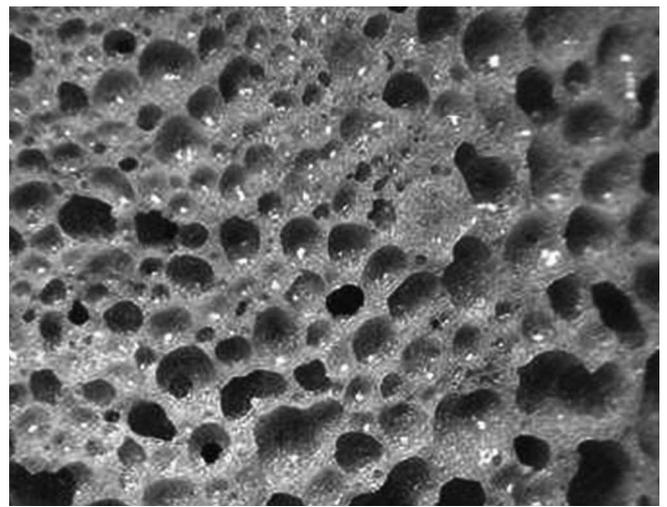
Os resíduos de esmaltação são formados em sua maior parte por esmaltes de monoqueima, com temperatura de amolecimento próxima aos 800 °C. Quando as sobras de pedras, adequadamente moídas, são misturadas aos resíduos de esmaltação e submetidas a um tratamento térmico (~1.200 °C), percebe-se a formação de um vidro (resíduos de esmalte) impermeável, que se expande devido à presença em seu interior do agente de expansão (os gases CO ou CO<sub>2</sub> derivados da oxidação do carbetto de silício contido nas sobras de pedras).

**Tabela 1.** Densidade, resistência mecânica e deformação na ruptura para amostras expandidas com adição de 1, 3, 6 e 12% de resíduo de abrasivo.

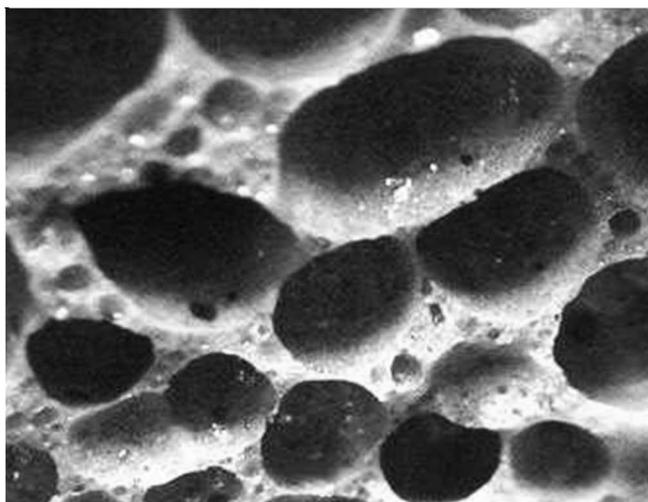
Composição (% em massa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência mecânica à compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Deformação na ruptura (%)
1% abrasivo	0,55	52,6	2,9
3% abrasivo	0,44	32,9	3,5
6% abrasivo	0,37	16,3	4,2
12% abrasivo	0,23	10,0	10,4



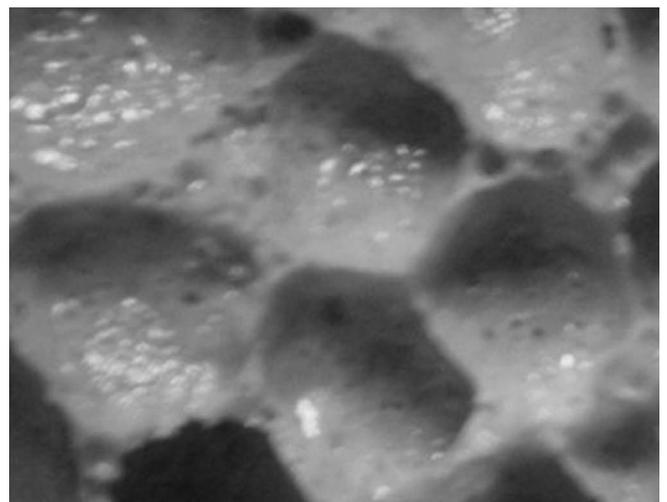
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 2.** Microestruturas das amostras expandidas com adição de (a) 1; (b) 3; (c) 6; e (d) 12% em massa de abrasivo de carbetto de silício.

Assim, são obtidos produtos cerâmicos celulares com baixa densidade e boa resistência mecânica à compressão quando comparados aos materiais expandidos tradicionalmente utilizados na construção civil. Para preenchimento de lajes é comum a utilização de poliestireno expandido, que devido sua baixa densidade diminui a carga da própria estrutura sobre as lajes. Porém, é um material muito inflamável. Para divisórias internas utiliza-se papelão e madeira. Se não forem utilizadas matérias-primas recicladas, o custo ambiental destas estruturas é alto. Também são materiais inflamáveis, e perdem muito de suas propriedades quando em contato com água. Deste modo, o uso de cerâmicos celulares é uma excelente alternativa aos expandidos ou divisórias tradicionais.

Deve-se ressaltar que novas pesquisas são necessárias. Nesta pesquisa preliminar não foi determinado o percentual de carbeto de silício necessário para provocar uma expansão controlada, pois foram utilizadas pedras abrasivas comerciais contendo SiC em diversos tamanhos de partículas. Também, é necessário um estudo de como a viscosidade e ponto de amolecimento dos resíduos vítreos, derivados da composição química destes, afetam a cinética de expansão do produto.

## 5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à empresa CEUSA Revestimentos Cerâmicos pela oferta dos resíduos e de infra-estrutura para

execução deste projeto, e à Fundação Educacional de Criciúma, FUCRI, pela bolsa de estudos oferecida.

## Referências

1. Medeiros, E. S. **Proposta para recuperação de áreas degradadas pelo depósito de resíduos sólidos gerados na indústria cerâmica. Especialização em Gestão ambiental.** Criciúma: UNESC, 1999. 57 p.
2. Bidone, F. R. A. **Reaproveitamento de materiais provenientes de coletas especiais.** Rio de Janeiro: RIMA, 2001. 218 p.
3. RESID'99. **Seminário sobre resíduos sólidos.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1999. 149 p.
4. Budni, A. **O surgimento e desenvolvimento da cerâmica.** Criciúma: FUCRI, 1988. 22p.
5. SENAI. **Manual de avaliação do potencial de sua empresa para reduzir e reciclar os resíduos.** Brasília: SENAI/DN, 2000. 10 p.
6. Vilhena, A; Politi, E. **Reduzindo, reutilizando, reciclando: a indústria ecoeficiente.** São Paulo: CEMPRE, 2000. 83 p.
7. Bonar, V. **Reciclar! Vidro.** São Paulo: Scipione, 1996. 32 p.
8. Riella, H. G., Silva, A.O. **Produtos cerâmicos de baixa densidade formulados com carbeto e nitreto.** Base de patentes do INPI. Registro nº PI9902859-0, 1999.
9. Rashed, A. H. **Properties and characteristics of silicon carbide.** De-catur: Poco Graphite Inc., 2002. 22 p.

# cd-rom Cerâmica Industrial



Todos os artigos completos já publicados pela revista Cerâmica Industrial de 1996 a 2005. O cd-rom da revista possibilita uma fácil busca pelos artigos através de palavras-chaves, títulos e autores e possui um prático índice de autores.

Preço de lançamento  
R\$ **32,00**  
+ frete

Adquira o seu através do site:

**[www.infocentral.com.br/loja/cerind](http://www.infocentral.com.br/loja/cerind)**