

## INSUMOS PARA CERÂMICA AVANÇADA

José Octavio Armani PASCHOAL<sup>(1)</sup>; Marcelo A. VEIGA<sup>(2)</sup>; Alexandre AFONSO<sup>(3)</sup>.

## RESUMO

A crescente demanda de cerâmicas especiais com funções elétricas, magnéticas, ópticas, mecânicas, nucleares, entre outras, alcança no país um mercado atual de cerca de 250 milhões de dólares.

As matérias primas e os processos de obtenção dos óxidos determinam as suas características de pureza, distribuição granulométrica, forma das partículas, porosidade, etc.

O trabalho relaciona os principais insumos (óxidos) para cerâmica avançada (p.ex.:  $Al_2O_3$ , baixo Na,  $ZrO_2$ ,  $BaCO_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $ZnO$ , etc.) suas especificações, preços e consumo nacional.

São discutidos os problemas de aplicação destes insumos principalmente no setor de cerâmicas eletrônicas e estruturais onde a participação de materiais importados ainda é relevante.

## ABSTRACT

Increasing demand for special ceramics with electrical, magnetic, optical, mechanical and nuclear application among others, has presently reached nationwide, a market value of approximately US\$ 250 million.

The raw materials and the processes to obtain the oxides determine its characteristics such as purity, grain size distribution, shape of the particles, porosity, etc.

This paper relates the main raw materials (oxides) for advanced ceramics (for example: low Na  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $BaCO_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $ZnO$ , etc.) their specifications, prices and national consumption.

The problems related to the application of these raw materials principally in the electronic and structural ceramics sectors where in the participation of imported material is still relevant, has also been discussed.

(1) IPEN-CNEN/SP

(2) Techmat Cons. Tecn. Materiais.

(3) Metal Leve.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de materiais com maior resistência mecânica, ao desgaste e à corrosão química em condições de uso tais como altas temperaturas e ambientes corrosivos, bem como a procura por materiais com melhores propriedades elétricas ou magnéticas tem despertado a atenção dos pesquisadores para o desenvolvimento de novos materiais cerâmicos.

O interesse por cerâmicas está relacionado com as propriedades apresentadas por estes materiais, tais como alto ponto de fusão, alta resistência ao desgaste, inércia química, propriedades elétricas.

O desenvolvimento destas cerâmicas deu origem a uma nova classe de materiais, designados, cerâmicas avançadas, que são divididas em duas categorias:

- a) óxidos cerâmicos e
- b) materiais cerâmicos não-óxidos.

A seguir são apresentadas as matérias-primas mais importantes da classe dos óxidos cerâmicos e dos não-óxidos.

## 2. MATÉRIAS PRIMAS

### 2.1. ÓXIDOS CERÂMICOS

Convencionou-se designar óxidos cerâmicos a um conjunto de óxidos que, por possuírem certas propriedades, são amplamente usados em diferentes ramos industriais. Estes materiais baseiam-se, na maioria dos casos, em óxidos de apenas um elemento metálico, como por exemplo  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{BeO}$ , etc. As propriedades destes óxidos são frequentemente melhoradas quando maior for o grau de pureza. Normalmente, adiciona-se, controladamente, aditivos, com o objetivo de otimizar o processo de fabricação e/ou melhorar as propriedades finais das peças sinterizadas. Em outros casos, somente com uma mistura de dois ou mais óxidos adquirem-se determinadas propriedades. Este caso refere-se aos óxidos cerâmicos usados na tecnologia elétrica/eletrônica.

Os óxidos cerâmicos mais comumente empregados na cerâmica avançada são:-

a) ALUMINA ( $Al_2O_3$ )

Alumina cerâmica calcinada é extensivamente aplicada em diferentes campos da tecnologia moderna. Este fato está ligado às várias propriedades deste óxido, tais como alta resistividade elétrica, alta resistência a abrasão e ao desgaste, resistência a altas temperaturas e o caráter inerte; associadas a grande disponibilidade e ao baixo custo do pó de  $Al_2O_3$ , e a relativa facilidade de processamento e sinterização de peças cerâmicas. Por ser um material muito empregado na alta tecnologia, a literatura já dispõe de muitas informações técnicas a respeito do processamento para obtenção do pó de  $Al_2O_3$ , do comportamento de sinterização e das propriedades das peças sinterizadas.

b) ZIRCÔNIA ( $ZrO_2$ )

A zircônia também é um importante material entre os óxidos cerâmicos. Ela apresenta polimorfismo, existindo em três formas alotrópicas:- monoclínica (estável até  $1100^\circ C$ ), tetragonal (estável entre  $1100$  e  $2370^\circ C$ ) e cúbica (estável acima de  $2370^\circ C$ ). Na transformação tetragonal - monoclínica (durante o resfriamento) ocorre uma expansão volumétrica de 3%, produzindo trincas no corpo cerâmico. Este problema pode ser evitado adicionando-se certos aditivos, como  $CaO$ ,  $MgO$  e  $Y_2O_3$ , que estabilizam a fase cúbica da zircônia. Dependendo da concentração dos aditivos, a estabilização pode ser completa (100% da fase cúbica) ou parcial (mistura da fase cúbica com tetragonal e/ou monoclínica).

A zircônia parcialmente estabilizada representa, atualmente, um material de grande importância tecnológica, devido às excelentes propriedades mecânicas. São os chamados "aços cerâmicos", tendo em vista a tenacidade observada neste material.

c) ÓXIDOS CERÂMICOS DO TIPO  $ABO_3$

Os óxidos cerâmicos do tipo  $ABO_3$ , são usados, principalmente, na tecnologia elétrica/eletrônica. Emprega-se estes materiais como:-

- Capacitores dielétricos, onde destacam-se os titanatos, niobatos e tantalatos. O titanato de bário ( $\text{Ba Ti O}_3$ ) é o mais usado devido suas propriedades e seu custo relativamente baixo. A adição de certos óxidos ( $\text{PbO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrO}$  e  $\text{SnO}_2$ ) conferem ao titanato de bário melhores propriedades elétricas. Outros aditivos ( $\text{CuO}$  e  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) são também usados para otimização de certas etapas do processo de fabricação, como sinterização.
- Cerâmica piezoelétrica, com grande destaque para o titanato e zirconato de chumbo - P Z T - ( $\text{Pb Zr Ti O}_3$ ).
- Cerâmica eletro-ótica, onde a mistura de óxidos ( $\text{Pb,La}$ )( $\text{Zr,Ti}$ ) $\text{O}_3$  tem grande potencial de aplicação industrial.
- Cerâmica supercondutora.

#### d) ÓXIDOS DE TERRAS RARAS

A importância dos óxidos de terras raras na moderna tecnologia pode ser avaliada na medida em que uma fração significativa dos novos materiais cerâmicos contém óxidos de terras raras como aditivos ou como elemento principal. O consumo de terras raras em cerâmicas avançadas cresceu nos últimos anos a uma taxa de 20%.

As terras raras são usadas como aditivo em cerâmica eletrônica nos sensores de gás à base de zircônia, em capacitores, varistores, termistores, super-condutores, etc. Igualmente, usa-se terras raras como aditivo em cerâmicas com alto desempenho mecânico, cerâmica nuclear, térmica entre outras.

#### e) MAGNÉSIA ( $\text{MgO}$ ) E TITÂNIA ( $\text{TiO}_2$ )

Aproximadamente 2/3 da produção de magnésia é consumida em refratários, usados, principalmente, na produção de aços.

A principal aplicação de  $\text{TiO}_2$  é em pigmentação de tintas, representando 50% do total, seguida da indústria de papel (26%), plástico (13%), borracha (2%) e outros (8%).

#### f) OUTROS ÓXIDOS

Os óxidos de zinco, manganês, níquel, ferro, cobre, bismuto, etc, encontram larga aplicação na cerâmica avançada, seja para fabricação de varistores ( $\text{ZnO}$ ), ou para ferrites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,

etc.) e outros componentes como termistores e capacitores.

## 2.2. MATERIAIS CERÂMICOS NÃO-ÓXIDOS

A característica predominante dos materiais cerâmicos não-óxidos é o tipo de ligação química, que é essencialmente do tipo covalente. As ligações covalentes proporcionam, a estes materiais, excelentes propriedades, tais como boa resistência mecânica em altas temperaturas, excelente resistência ao desgaste, baixas constantes dielétricas, alta condutibilidade térmica, ampla faixa de condutibilidade elétrica e alta resistência a corrosão.

Os materiais cerâmicos não-óxidos são constituídos principalmente por elementos de baixo número atômico, como boro, alumínio, silício, carbono e nitrogênio.

Os principais materiais cerâmicos não-óxidos são:-

### a) CARBETO DE SILÍCIO ( $\text{SiC}$ )

Apresenta dois estados polimórficos; fase alfa-hexagonal e beta-cúbica. A fase hexagonal é formada a partir da reação silício-carbono a elevadas temperaturas. A fase cúbica resulta de reações a partir de compostos contendo silício e carbono.

O carbetto de silício é usado como componente de motores a explosão, selos para bombas, bicos resistentes à abrasão, peças para a indústria química, trocadores de calor recuperadores, guias para perfuração, etc.

### b) NITRETO DE SILÍCIO ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

Também apresenta dois estados polimórficos ( $\alpha$  e  $\beta$ ). O nitreto de silício é normalmente formado pela reação de fase gasosa ou pela nitretação do silício metálico.

O  $\text{Si}_3\text{N}_4$  denso apresenta as seguintes propriedades: alta resistência mecânica e dureza até elevadas temperaturas, alta resistência ao impacto, boa resistência à fluência, excelente resistência ao choque térmico, boa estabilidade química e térmica, boa resistência ao desgaste e corrosão, e alta resistência dielétrica. Em função destas propriedades, o nitreto de silício apresenta um grande potencial para aplicações em turbinas de aviões, componentes e trocadores de calor.

## c) SIALON

A substituição do íon de nitrogênio no composto nitreto de silício pelo íon oxigênio ( $O^{2-}$ ) e, do mesmo modo, a substituição do íon silício ( $Si^{4+}$ ) pelo íon alumínio ( $Al^{3+}$ ) origina o composto (Si,Al) (O, N) , o qual foi denominado sialon.

Uma das vantagens do sialon sobre o nitreto de silício é que técnicas convencionais de processamento cerâmico, tais como extrusão, prensagem e colagem por barbotina, podem ser usadas na fabricação de peças a partir do sialon. Os valores de densidade alcançados para o sialon são próximos aos valores teóricos. A resistência a oxidação é melhor, provavelmente devido a uma camada de mulita formada.

## d) NITRETO DE ALUMÍNIO (AlN)

O nitreto de alumínio, por apresentar excelente condutibilidade térmica, bom coeficiente de dilatação térmica, ser isolante elétrico e atóxico, está sendo muito solicitado para aplicação na indústria eletrônica avançada.

A principal aplicação de AlN é como substrato de circuitos integrados, substituindo a alumina nesta aplicação. O AlN é visto também como o principal candidato para substituir o óxido de berílio, tanto na indústria eletrônica como em outras aplicações mecânicas e eletro-mecânicas.

## e) CARBETO E NITRETO DE BORO E DIAMANTE

Por apresentarem os maiores valores de dureza entre todos os materiais sintéticos ou naturais, o diamante (natural ou sintético), o nitreto cúbico de boro (CBN) e o carbeta de boro ( $B_4C$ ) são amplamente usados em ferramentas de corte, rebolos especiais e meios de polimento.

## 3. MERCADO DE CERÂMICAS AVANÇADAS

O mercado mundial de vendas de produtos contendo cerâmica é reportado por J.P.Sen no trabalho de Varela, 1988 onde o valor de US\$ 5,2 bilhões é apresentado para o ano de 1985. O mercado americano de produtos de cerâmica avançada em 1987 alcançou

US\$ 4,3 bilhões (Tabela 1). A primeira vista pode parecer que os EUA são os principais protagonistas deste mercado, contudo a participação japonesa (Souza Santos, 1986) em 1985 já atingia US\$ 2,7 bilhões. A falta de precisão dos números relatados ocorre particularmente na própria definição de cerâmicas avançadas para cada autor e nas cifras referentes ao que é o componente final e o que é a participação do material de cerâmica avançada neste componente.

O mercado brasileiro de componentes finais que utilizam cerâmicas avançadas foi recentemente levantado (Veiga et alii, 1989) e pode ser resumido na Tabela 2, onde verifica-se que os US\$ 250 milhões representam apenas 6% do mercado americano de 1987.

As matérias primas empregadas (Tabela 3) representam em valor, cerca de 8% do mercado de componentes finais, sendo marcante a participação do diamante sintético.

Sem dúvida as cerâmicas avançadas apresentam um mercado ainda incipiente, sendo suscetível ao investimento de empreendedores que acreditam que o Brasil acompanhará a tendência mundial. Por outro lado verifica-se que o mercado apresenta nichos interessantes para a participação de pequenos investidores onde a característica de verticalização matéria-prima - produto deve estar presente.

É possível notar a progressão de valores associados à matéria-prima cerâmica empregada na confecção de velas de ignição (principal segmento na função isolante):-

matéria prima	$\xrightarrow{3x}$	cerâmica	$\xrightarrow{4x}$	produto final
(alumina)		conformada		(vela completa)
baixo Na				

Se compararmos com a agregação de valor para os substratos de alumina para circuitos integrados, observamos substancial diferença, fruto das características de processamento:-

matéria prima	$\xrightarrow{82x}$	cerâmica conformada
(alumina)		(substrato)
baixo Na		

A pequena demanda e o baixo valor da matéria-prima cerâmica no custo do componente final, tem frequentemente desanimado os produtores de componentes a se verticalizarem, adotando a política

de importação. Por outro lado os produtores destes insumos, que já o fazem em países centrais escala maior, não veem atrativos no reduzido mercado nacional.

A descrição dos principais insumos com os respectivos comentários sobre produção e perspectivas, são a seguir apresentadas.

#### ALUMINA:

As aluminas utilizadas na produção de velas de ignição, substratos de circuitos integrados, corpos de resistores, guia-fios, selos mecânicos de bombas, tubos, cadinhos e outros componentes estruturais especiais apresentam uma classificação baseada na pureza química e granulometria.

ALUMINA TIPO	TEOR Na <sub>2</sub> O (ppm)	GRANULOMETRIA ( $\mu$ m) MÉDIA	CLASSIFICAÇÃO/USOS
I	1000 a 2000	1 a 5	Média Pureza/Velas
II	500 a 1000	0,5 a 1,0	Alta Pureza/Substratos

A Alcoa fabrica no Brasil as aluminas APC (2,0 $\mu$ m, 1000ppm Na<sub>2</sub>O) e APC 3017 (3,0 $\mu$ m, 1700ppm Na<sub>2</sub>O) desde o início de 1987 e atualmente em testes pelos fabricantes de velas NGK e Bosch. As aluminas importadas para aplicação em velas Al6 - Alcoa e C75 - Alcan são oferecidas a US\$ 1/Kg FOB no mercado internacional.

Em 1984 esboçou-se pela primeira vez no país uma tentativa de produção de aluminas de média e alta pureza através da Metal Leve S/A - São Paulo-SP, tradicional fabricante de pistões e bronzinas para a indústria automobilística.

A planta piloto operada pela Metal Leve em meados de 1985 com tecnologia desenvolvida em conjunto com a UFSCar, tinha capacidade para produção de 20t/ano de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> através de processo de purificação de alumina disponível no mercado interno por redução carbotérmica em regime de batelada.

A planta objetivava a produção de  $Al_2O_3$  tipos I e II além de um nível de extra alta pureza com residuais de 50 a 200ppm de  $Na_2O$  e granulometria média de 0,2 a 0,5 $\mu$ m.

Os resultados de experimentos realizados por consumidores e centros de pesquisa revelaram os elevados padrões de qualidade do produto, ainda não alcançados mesmo por aqueles atualmente disponíveis no mercado interno, como os oferecidos pela Alcoa (produção nacional).

Embora tivessem sido alcançadas as especificações referentes aos tipos I e II a Metal Leve julgou seu processo, na ocasião, antieconômico tendo em vista a demanda ainda incipiente no mercado nacional cerca de 1700 t/a, e os preços reduzidos do produto similar no mercado internacional ( $\approx$  US\$ 1,00 FOB/kg).

#### TITANATOS:

Os titanatos, principalmente o de bário, são responsáveis por cerca de 80% dos insumos que constituem os capacitadores cerâmicos (outros insumos: - zirconatos, óxidos e estanatos). Esta matéria prima representa cerca de 13% do custo de produção do componente final. No Brasil identifica-se como principais fabricantes a firma Rohm, de origem japonesa, detendo cerca de 50% do mercado e a Thomson, francesa com 41% do mercado de US\$ 15 milhões (produto final).

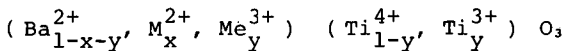
Como produtor nacional de  $BaTiO_3$ , identifica-se a firma paulista Certronic, utilizando o  $BaCO_3$ , grau técnico fabricado pela Química Geral do Nordeste e o  $TiO_2$ , fabricado pela Tibrás, como precursores.

O  $BaCO_3$  é produzido pela QGN (10000 t/a) com aplicações diversas, (cerâmica, vidros especiais, metalurgia), sendo a principal em cinescópios de televisores (27%). A matéria prima é a barita de Feira de Santana que é submetida a redução carbotérmica e posterior carbonatação com barrilha, obtendo o  $BaCO_3$  de pureza mínima 9,3% com preço de US\$ 1/kg. Este insumo participa ainda da fabricação de termistores e ferrites duras ( $Ba(Sr)Fe_{12}O_{19}$ ) cujo mercado nacional é de US\$ 7,5 milhões (produto final). Utiliza-se 83% de especularita moída (99,9%  $Fe_2O_3$ ) ou carepa de siderurgia como fonte de ferro e 17% de  $BaCO_3$ , ( $SrCO_3$ ) representando um consumo nacional de 650 t/a destes carbonatos.

O  $TiO_2$  é atualmente fabricado pela Tibrás, BA fundamentalmente para pigmentos. A rota de processo adotada parte da sulfatação do rutilo, atingindo óxido de titânio de alta pureza, com produção de cerca de 55000 t/a. A Dupont entrará em produção em 1994 utilizando o concentrado de anatásio de Tapira (CVRD) produzindo inicialmente 60000 t/a através do processo de cloração em leito fluidizado. O preço do  $TiO_2$  está em torno de US\$ 2,5 a 3/kg e sendo um insumo de alta demanda no mercado de pigmentos, justificou-se a importação de 17274t em 1987 (Abiquim, 1988).

Os fabricantes de capacitores consomem em parte o titanato nacional, contudo ainda utilizam produto importado, alegando maior pureza. Observa-se a tendência dos produtores de capacitores em verticalizarem, isto é, produzirem seu próprio titanato.

Os titanatos participam também da composição dos termistores tipo PTC, cujo mercado de produto final corresponde a US\$ 4 milhões, sendo suprido por importações. Os PTC apresentam composições complexas do tipo



onde:- M = Sr, Pb

Me = Y, La

contendo aditivos para sinterização =  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$ . As matérias primas utilizadas representam 35% do valor de venda dos PTC e são basicamente produzidas no país, exceto a ítria e lantânia.

Os componentes com função piezoelétricos, do tipo PZT ainda empregam titanato de chumbo além do zirconato e óxido de chumbo. Poucas informações se tem sobre a produção nacional de PZT, reconhecendo as firmas Thornton-Inpec e Eletroacústica como possíveis fabricantes.

#### ÓXIDO DE ZINCO:

O óxido de zinco é empregado na fabricação dos semicondutores cerâmicos, tipo varistores e nas ferrites moles. O  $ZnO$  é fabricado por 14 empresas no país, sendo a produção de 1987 equivalente a 33597t havendo importações de 3551t (Abiquim 1988). Nestas cifras estão incluídos os produtos destinados à agricultura (micronutriente),

e indústrias de borracha, cerâmica, tintas, etc. A empresa Uniroyal (capacidade 12200 t/a) é a protagonista desta oferta de produto sendo a fornecedora de óxido de zinco de alta pureza para o mercado de cerâmicas avançadas, cuja demanda não ultrapassa 1000 t/a.

Nos varistores, o óxido de zinco é dopado com óxido de bismuto (ppm), sendo a empresa VC Varistores detentora de 25% do mercado nacional de US\$ 12 milhões (produto) e a única produtora no país. A matéria-prima corresponde a 20% dos custos de produção dos varistores. Este componente, além da aplicação em pára-raios, pode experimentar expressivo aumento de consumo com a tendência de normalização de proteção contra picos de tensão em eletrodomésticos e em equipamentos de telefonia.

O óxido de zinco ainda participa da composição das ferrites moles do tipo  $(\text{Fe}_x^{3+} \text{Me}_{1-x}^{2+})(\text{Fe}_{2-x}^{3+} \text{Me}_x^{2+})\text{O}_4$ , onde Me = Zn, Mn, Ni, Cu, Co. As ferrites mais utilizadas são aquelas de Ni/Zn e Mn/Zn, presentes em osciladores de baixa frequência, indutores, filtros, divisores de frequência, transformadores de pulso, entre outros. As matérias primas (óxidos de zinco, níquel e manganês) representam 40% do custo de produção das ferrites moles. O mercado nacional é basicamente ocupado pela Philips, Thornton, Imox, Sontag e TDK dividindo cerca de US\$ 15 milhões (produto).

#### DIÓXIDO DE MANGANÊS

O  $\text{MnO}_2$  está presente principalmente nos termistores do tipo NTC e nas ferrites moles. Em ambos o valor das matérias primas empregadas representa cerca de 35% do custo de produção. No caso dos NTC (soluções sólidas de óxido de Ni, Mn, Cu e Co) apenas a empresa Engecer fabrica no país, não cobrindo o mercado de US\$ 1 milhão (produto).

A demanda de óxido de manganês obtido através de deposição eletrolítica é suprida pela Eletromanganês, MG, com capacidade de produção de 4400 t/a (Abiquim, 1988). A tentativa de utilização de  $\text{MnO}_2$  natural esbarrou na presença deletéria de sílica, segundo os principais fabricantes de ferrites moles.

O consumo de  $\text{MnO}_2$  eletrolítico para aplicação em termistores e ferrites moles não ultrapassa 500 t/a.

## ÓXIDO DE FERRO:

O óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) de alta pureza (99,9%) para as ferrites principalmente, é suprido pela moagem e classificação de es<sub>pecularita</sub> (firma Ferróxido) ou pelas siderúrgicas (carepas ou fly dust).

A demanda de óxido de ferro para este setor de cerâmicas corresponde a 6400 t/a.

## CERÂMICAS COVALENTES AVANÇADAS

Nesta classificação inclui-se normalmente os nitretos e carbetos. No Brasil o consumo destes produtos restringe-se a aplicação de diamante sintético e nitreto cúbico de boro (CBN) nas ferramentas de corte e abrasivos.

Esforços vêm sendo feitos para introdução do SiC(hexoloy) de alta pureza pela Carborundum como componente estrutural de alta resistência mecânica e química. Da mesma forma identifica-se interesses empresariais ainda modestos para o desenvolvimento de nitretos de silício e alumínio, utilizados tanto em ferramentas de corte como em aplicações estruturais.

Os pós de CBN e diamante sintético são importados pela General Electric e De Beers. O consumo anual de CBN para rebolos e insertos é da ordem de 44 kg/a a preço de US\$ 10/grama, equivalente a 55% dos gastos de produção das ferramentas.

O diamante sintético (US\$ 7,6/g) participa do mercado de rebolos e insertos, perfuratrizes e serras, que totaliza a nível de produto final US\$ 26 milhões, onde o superabrasivo corresponde a US\$ 7 milhões. A participação do diamante sintético, no mercado nacional de ferramentas de corte ainda é pequena se comparado com a utilização do diamante natural (65% natural, 35% sintético). Por exemplo, o Japão importou em 1986, cerca de 7,5t de diamante para uso industrial onde o sintético representou 96,5% (UNIDO, 1988).

## ÓXIDO DE ZIRCÔNIO:

A zircônia ( $\text{ZrO}_2$ ) ainda tem participação muito modesta no mercado nacional. O consumo de 1 a 1,5 t/a restringe-se aos capa-

citores e em algumas cerâmicas estruturais.

Em capacitores a zircônia (50 kg/a) é introduzida com função monolítica de formação do  $\text{CaZrO}_3$ . Também é utilizada como "setter powder" (300 kg/a), isto é, um meio inerte para a sustentação dos capacitores durante a sinterização.

A zircônia de maior pureza é importada a preço de US\$ 11/kg enquanto aquela de menor qualidade atinge US\$ 3/kg.

Consumo de  $\text{ZrO}_2$  para sensores de oxigênio é de 1 t/a (único fabricante Engecer).

#### 4. CONCLUSÕES

O mercado nacional de produtos que utilizam cerâmicas avançadas ainda é incipiente representando US\$ 250 milhões onde as matérias primas contemplam US\$ 19 milhões.

O reduzido mercado proporciona a necessidade de verticalização do produtor de insumo ou a importação do insumo pelo produtor de componente final.

As oportunidades encontram-se em firmas ágeis que acreditem no crescimento do mercado nacional a exemplo do mercado americano, europeu e japonês.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ANÔNIMO, Giants in Advanced Ceramics, *Cer. Industry*, p.21-7, Ang. 1988.
- [2] SOUSA SANTOS, P. Matérias-primas para cerâmica avançada. In: ENCONTRO NACIONAL DE CERÂMICA AVANÇADA, I, Anais, An. Bras. cerâmico out. 1986, 181p., p.6-43,9
- [3] UNIDO, *Advances in Materials Technology: Monitor Materials for Cutting Tools*, 12, 1988. 55p.
- [4] VEIGA, M.M; SOARES, P.S.M; SILVA, A.P; ALVARINHO, S.B. Estudo do Mercado Brasileiro de Cerâmicas Avançadas. In: ENCONTRO ESTADUAL SOBRE NOVOS MATERIAIS, II, Anais, Sec. Ciência e Tecn. RJ, 2-4 aog. 1989, 355p. p.133-167.

- [5] ABIQUIM, *Anuário da Indústria Química Brasileira*, Ass. Bras. Ind. Quim. Produtos Derivados, São Paulo, 1988, 256p.

TABELA I  
 ESTIMATIVA DE VENDA DE PRODUTOS CONTENDO  
 CERÂMICA AVANÇADA NOS EUA (1987)

PRODUTO	%	MUS\$
Porcelana de baixa voltagem (principalmente velas de ignição)	26,3	1100
Cerâmicas estruturais	22,3	981
Capacitores e "Packages"	20,3	890
Fibras óticas de cerâmicas avançadas	10,5	462
Ferriças	9,0	396
Outras cerâmicas elétricas e eletrônicas	8,1	356
Porcelana elétrica de alta voltagem	3,5	154
TOTAL	100	4339

FONTE:- Ceramic Industry Aug. 1988.

TABELA II  
 MERCADO BRASILEIRO DE PRODUTOS FINAIS SELECIONADOS  
 QUE UTILIZAM CERÂMICAS AVANÇADAS

ÁREA	FUNÇÃO/SEGMENTO	1989		1994		TAXA CRESCIMENTO % a.a
		US\$.10 <sup>6</sup>	%	US\$.10 <sup>6</sup>	%	
Cerâmicas Eletroeletrônicas	Isolantes	67,6	27,2	90,5	14,5	6
	Ferroelétricos	28	11,2	58,8	9,4	16
	Semicondutores	17	6,8	63,1	10,1	30
	Piezoeletrônicos	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
Cerâmicas Magnéticas	Ferrites duras	7,5	3,0	10	1,6	6
	Ferrites moles	15	6,0	26,4	4,2	12
Cerâmicas Ópticas	Fibras Ópticas	25	10,0	89,3	14,3	29
	Tubos Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> translúcida	8,5	3,4	19,4	3,1	18
	Outros*	10	4,0	14,7	2,3	8
Cerâmicas Mecânicas	Superabrasivos**	27,3	11,0	67,9	10,8	20
	Estruturais	20	8,0	22,1	3,5	2
Cerâmicas Nucleares	Elementos combustíveis	3,5	1,4	15,8	2,5	35
Outros componentes de cerâmicas avançadas	Catalisadores automotivos	-	-	110	17,6	-
	Outros***	20	8,0	38	6,1	14
TOTAL (Cerâmicas Avançadas)		249,4	100	626	100	14,2

BASE US\$ = NCz\$ (fev.89)

\* componentes para óptica avançada (equip. laser, etc.)

\*\* não foi considerado o mercado de nitretos de silício e sialons

\*\*\* valores estimados (catalisadores para ind. química, sensores, vitrocerâmica, etc.)

N.D. = Não detectado.

FONTE: Veiga et alii, 1989.

TABELA III

MERCADO BRASILEIRO DE ALGUMAS MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS (1989)

MATÉRIA-PRIMA	COMPONENTE	MATÉRIA-PRIMA (t/a)	US\$.10 <sup>6</sup> /a
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( < 2000ppm Na <sub>2</sub> O)	Velas	1.500	1,5
	Substratos	7,5	0,01
	Resistores e outros	300	0,3
	Estruturais	400	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( > 2000ppm Na <sub>2</sub> O)	Corpos moedores	1.300	0,7
BaTiO <sub>3</sub> (BaCO <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> )	Capacitores	160	1,2
BaCO <sub>3</sub> /SrCO <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> /Y,La,Pb	PTC	2,5	1,4
NiO/MnO <sub>2</sub> /CuO/CoO	NTC	5	0,35
ZnO/Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Varistores	24	0,6
BaCO <sub>3</sub> /SrCO <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferritas duras	3.800	0,8
MnO <sub>2</sub> /NiO/ZnO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferritas moles	5.000	1,5
Diamante sintético	Ferramentas	0,92	7
Nitreto cúbico de boro	Ferramentas	0,004	0,44
UO <sub>2</sub>	Combustível	6	3,5
ZrO <sub>2</sub>	Capacitores	0,05	0,002
	Estrutural	1	0,003
TOTAL			19,0