



CONTRATO Nº 48000.003155/2007-17: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME**

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM

### **BANCO MUNDIAL**

BANCO INTERNACIONAL PARA A RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO - BIRD

#### **PRODUTO 47**

**Cadeia de Abrasivos**

#### **Relatório Técnico 73**

**Perfil de Abrasivos**

#### **CONSULTORES**

Maurício Dompieri  
José Jaime Sznelwar  
Remo Scalabrin

#### **PROJETO ESTAL**

PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA

Setembro de 2009

**SUMÁRIO**

1. RESUMO INDICATIVO .....	3
2. RECOMENDAÇÕES .....	5
3. CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO PRODUTIVO.....	6
3.1. Produção.....	13
3.2. Preço de mercado por tipo de produto .....	17
3.3. Valor da Produção.....	18
3.4. Qualificação Empresarial .....	19
3.5. Recursos Humanos.....	21
3.6. Parque Produtivo.....	22
3.7. Produtividade .....	22
3.8. Consumo de matérias-primas minerais .....	22
3.9. Consumo Energético .....	23
3.10. Utilização de Água.....	25
3.11. Geração de Resíduos Sólidos.....	26
3.12. Custos Atuais de Investimento.....	26
4. USOS .....	27
5. CONSUMO.....	33
5.1. Panorama Mundial .....	33
5.2. Evolução do consumo interno.....	34
6. PRODUÇÃO.....	44
6.1. Panorama Mundial .....	44
6.2. Evolução da Produção Interna .....	46
6.3. Projeção (cenários) da produção até 2030 .....	48
6.4. Projeção dos Investimentos Requeridos .....	48
6.5. Tendências de Mercados e Perspectivas de Competitividade das Exportações Brasileiras ...	48
7. TECNOLOGIA .....	49
8. RECURSOS HUMANOS.....	52
9. INCENTIVOS.....	52
10. ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA.....	54
11. CONCLUSÕES GERAIS .....	56
12. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	58
13. SIGLAS UTILIZADAS .....	61
14. ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	62
15. AGRADECIMENTOS.....	64
16. EQUIPE DE TRABALHO .....	64

## 1. RESUMO INDICATIVO

O objetivo do presente relatório é caracterizar a cadeia de transformação mineral do segmento produtivo de abrasivos com base nos dados mais recentes disponíveis e analisá-lo considerando: dados do segmento, usos, consumo, produção, projeção de demanda, projeção de investimentos, projeção de necessidade de recursos humanos, tecnologia, capacitação, gargalos legais, acesso a financiamento, aspectos ambientais e logística.

No contexto da indústria de transformação mineral, são analisados produtos de transformação de bens minerais primários que alimentam estágios subsequentes de industrialização, não abrangendo produtos voltados especificamente para o consumidor final. Esse conceito exige alguma flexibilização no caso do nitreto de boro cúbico, produto de transformação do nitreto de boro hexagonal, este sim produto de transformação mineral do bórax, e da alumina eletrofundida branca, produto de transformação da alumina obtida pelo processo Bayer a partir da bauxita.

Dessa forma excluem-se do detalhamento do relatório:

1. Os abrasivos metálicos, como as granalhas e escórias, por resultarem de processos metalúrgicos ou siderúrgicos;
2. Os abrasivos de origem natural, mesmo que sofram processos de condicionamento para comercialização, por falta de expressividade econômica e índices de utilização cada vez menores;
3. O mercado de produtos acabados, como abrasivos revestidos (lixas, etc.), ligados (rebolos, etc.), e outros para consumo final.

O foco está nos quatro tipos de grãos abrasivos mais significativos economicamente, produtos de transformação mineral, listados abaixo com suas principais matérias primas:

- I. Carbetto de Silício → areia quartzosa, coque de petróleo
- II. Óxido de Alumínio → bauxita ou alumina (processo Bayer), calcinadas.
- III. Nitreto de Boro cúbico (c-BN) → nitreto de boro hexagonal (h-BN) → bórax
- IV. Diamante Sintético → diamante natural

Todos são produtos sintéticos, sendo os dois primeiros produtos de eletrofusão e os dois últimos produtos de processos de síntese em altíssimas temperaturas e pressões.

Há grande dificuldade em se gerar estatísticas no setor, parte por falta de disponibilização de informações pelas empresas, parte pela falta de controle na importação e comercialização de produtos acabados. A última iniciativa do Sindicato da Indústria de Abrasivos do Estado de São Paulo (SINAESP) para elaboração de estatísticas só conseguiu consolidar cerca de 1% do setor. Em função dessa dificuldade, particularmente encontrada no Brasil mas recorrente nessa indústria mesmo em âmbito global, muitas vezes é necessário usar variáveis proxy onde falta informação direta. Tais aproximações são convenientemente explicadas ao longo do relatório à medida que são utilizadas.

A produção mundial e os preços de carbetto de silício e alumina branca tem permanecido estáveis nos últimos anos.

Por outro lado, a produção de alumina marrom, capitaneada pela China, e de diamante sintético, liderado pelos Estados Unidos, e nitreto de boro cúbico vêm aumentando, em função do persistente decréscimo nos preços.

A indústria brasileira apresenta-se bem estruturada e qualificada, porém com uma grande concentração de produção e capital estrangeiro. A mão-de-obra qualificada é inexistente, sendo formada dentro da própria indústria.

O parque produtivo se encontra fortemente concentrado na região sudeste, devido à maior proximidade com os centros consumidores.

As matérias primas minerais necessárias à fabricação dos abrasivos convencionais, areia quartzosa, ferro, bauxita e coque de petróleo, são abundantes no país.

O consumo específico de energia elétrica no processo é alto, o que suscita preocupações na indústria a respeito do preço e da disponibilidade da mesma nos próximos anos, o que inclusive têm provocado o adiamento de investimentos no setor.

A tecnologia empregada na produção é convencional, utilizando fornos de Acheson para produção do carbetto de silício e de fornos de Higgins para produção da alumina eletrofundida. Os principais poluentes em ambos os processos são provenientes da queima do coque, constituindo-se de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e SO<sub>2</sub>.

A projeção de consumo diamante, nitreto de boro, carbetto de silício e alumina marrom indica crescimento, contrário ao da alumina branca, para a qual temos aumento de importação e diminuição da exportação, com redução no volume total.

A indústria está produzindo com altas taxas de utilização, chegando a 100% em alguns casos. Deve-se analisar mais detidamente se as altas demandas são sustentáveis ou se são apenas decorrentes de desvios da produção dos países industrializados onerados por altos custos ambientais, que poderão desaparecer no futuro face a substituição desses produtos.

Produtos acabados, principalmente os que utilizam superabrasivos, atualmente importados, poderiam ser produzidos aqui com alto valor sendo agregado aos mesmos.

Há que se destacar ainda a suma importância da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação na elevação do Brasil à liderança e excelência tecnológica nessa área, observando-se que, dentre as grandes economias emergentes, Rússia e China já dominam a tecnologia de fabricação de diamantes, sendo que a China vem recebendo investimentos externos e redirecionamento de produção vinda de parques produtivos mais onerados. A mesma prioridade no investimento em PD&I é demonstrada pelo domínio estadunidense no mercado de c-BN.

Palavras-chave: Cadeia de transformação mineral. Abrasivos. Diamante. Nitreto de boro cúbico Carbetto de silício. Óxido de alumínio.

## 2. RECOMENDAÇÕES

As seguintes ações são recomendadas, devendo ser conduzidas pelo Ministério das Minas e Energia envolvendo, quando necessário, participação de ministérios relacionados, como o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e o Ministério da Ciência e Tecnologia:

**2.1.** Criar mecanismos de geração de estatísticas de produção e preços para a indústria de transformação mineral, como os já existentes para a área extrativa, de modo que o setor disponha fontes de informação semelhantes aos Sumários, Anuários e Informes Minerais do DNPM.

**2.2.** Criar centros de formação e capacitação em tecnologia de abrasivos que supram a demanda da indústria e possam gerar polos desenvolvedores de avanços tecnológicos na área de fabricação e também aplicação de produtos abrasivos, colocando o país em posição tecnologicamente mais competitiva frente às ofertas do mercado mundial.

**2.3.** Intensificar a divulgação de mecanismos de financiamento de inovação tecnológica, como a Lei do Bem, de modo a fazer frente aos concorrentes internacionais em termos de produtos de melhor qualidade e custos adequados, atendendo ao mesmo tempo às crescentes exigências de controle ambiental.

**2.4.** Capacitar a indústria nacional para iniciar a produção em escala industrial de diamante sintético, para o qual já possuímos tecnologia de fabricação. Há apenas cinco anos apenas 15 países dominavam a tecnologia, hoje já são 31. O mercado aponta para um grande crescimento na demanda desse abrasivo.

**2.5.** Capacitar a indústria nacional para desenvolver a tecnologia e iniciar a produção em escala industrial de nitreto de boro cúbico, cuja tecnologia de fabricação é muito semelhante à do diamante sintético. Há, igualmente, indicações de grande crescimento no uso desse abrasivo.

**2.6.** Estimular a produção local dos produtos acabados, principalmente os que utilizam superabrasivos, devido ao grande valor agregado na industrialização dos mesmos.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO PRODUTIVO

Procuraremos mostrar inicialmente uma visão abrangente do universo de produtos abrasivos, para que o leitor compreenda onde exatamente se insere o segmento produtivo de transformação mineral de abrasivos no Brasil.

Os abrasivos são substâncias usadas para moer, polir, abradir, limpar, ou seja, remover material sólido por meio de fricção e também por impacto. Os abrasivos possuem papel fundamental no acabamento de uma gama diversa de produtos, sendo que sua utilização na fabricação de certos produtos e sua adição em outros, agrega valor aos mesmos.

As propriedades físicas mais importantes dos materiais classificados como abrasivos são dureza, rigidez, forma e tamanho de grãos, clivagem e pureza. Além disso, consideram-se também fatores econômicos como custo e disponibilidade.

A escolha do abrasivo será dependente de uma análise quantitativa e qualitativa do trabalho feito pelo abrasivo em relação ao custo por unidade. Abrasivos artificiais podem custar mais caro inicialmente, porém podem realizar um trabalho de melhor qualidade em menos tempo, sendo essa a principal razão do atual processo de substituição dos abrasivos naturais pelos artificiais.

#### **i. Tipos de Produtos Abrasivos**

- **Grãos Abrasivos**

Grãos abrasivos são produzidos a partir de uma grande variedade de materiais, para uso como grãos livres ou para serem incorporados em outros produtos. A grande importância dos grãos abrasivos é que estes são o ponto de partida para a fabricação de abrasivos aglomerados, revestidos, ferramentas abrasivas, polidores, limpadores, pastas abrasivas e outros compostos. Grãos de origem natural como granada, flint e chert, tem sido utilizados no jateamento de sob pressão, assim como areia e outros minerais naturais, como o coríndon.

Grãos sintéticos também são utilizados em uma ampla variedade de aplicações. Além da dureza, características como rigidez, forma e tamanho do grão, uniformidade e peso específico também são características importantes. Os grãos devem ser rígidos, de modo que não se desintegram com o impacto. As outras características vão depender de seu uso final.

Usa-se o jateamento para limpar pedras e concreto, metais, preparar superfícies para pintura e entalhar vidros e plásticos. Usa-se grãos de granada, quartzo, coríndon, esmeril, óxido de alumínio e carbetto de silício, de granulometria grosseira, para serrar pedras e desgastar vidro. Recentemente, bicarbonato de sódio tem sido visto como uma alternativa para a areia de sílica, uma vez que é biodegradável, solúvel e inofensivo para a maioria das superfícies.

Numa granulometria mais fina, são utilizados no desgaste de lentes, polimento de gemas e pedras ornamentais e polimento de superfícies de madeira.

Grãos muito finos na forma de pó são utilizados no polimento e acabamento de vidros, azulejos e pisos de pedra artificial, gemas, pedras semipreciosas e superfícies de madeira. Abrasivos finos incluem rouge, óxido de estanho, óxido de alumínio, óxido de cromo, pó de diamante, granada, diatomita e outros.

- Abrasivos aglomerados

Grãos abrasivos de tamanho uniforme podem ser aglomerados, prensados e moldados em uma série de produtos, tais como rebolos, pedras de amolar e corpos moedores. Os abrasivos naturais anteriormente utilizados, o coríndon e o esmeril, sofreram um grande declínio com a introdução dos abrasivos sintéticos (óxido de alumínio, carbetto de silício, nitreto de boro e diamante sintético).

Os cinco principais tipos de abrasivos aglomerados são os seguintes:

1. Discos vitrificados com liga de argila-feldspato, feita em fornos de cerâmica. Em função da sua rigidez e estabilidade dimensional, discos com liga vitrificada são preferidos em operações precisas de desbaste. Não são afetadas por água, ácidos, óleos e variações de temperatura comuns.
2. Discos de resina, com liga de resina sintética dura, são utilizadas em fundições e oficinas de soldagem ou em operações de corte e desbaste.
3. Discos emborrachados, com liga de borracha sintética ou natural. São elásticos e utilizados quando o acabamento for importante. Discos de corte com liga de borracha podem ser feitos bem finos.
4. Discos de laca, para obtenção de acabamentos de precisão elevada.
5. Ligas cerâmicas (silicatos) para aplicações onde o calor gerado no desgaste deva ser minimizado. Discos com ligas cerâmicas tem ação suave e são usados em todos os tipos de ferramenta de desgaste.

Os discos variam em pelo menos outras cinco características além de forma e tamanho:

1. Tipo de grão abrasivo (óxido de alumínio, carbetto de silício, diamante, etc.)
2. Grana (8 a 1.500 mesh)
3. Grau (tenacidade do aglomerante)
4. Estrutura (espaçamento entre os grãos)
5. Aglomerante (os cinco tipos descritos acima)

Além de discos, abrasivos com ligas são feitos na forma de blocos, tijolos e barras, usados como pedras de amolar e de polir.

- Abrasivos revestidos

Consistem de grãos abrasivos de tamanho adequado depositados em papel, tecido, filme de poliéster ou fibra vulcanizada. Os principais abrasivos para este fim são óxido de alumínio, carbetto de silício, alumina-zirconita, alumina Sol-Gel e granada em aplicações muito específicas.

É necessário que se faça um grande controle do tamanho dos grãos abrasivos, de modo a evitar a contaminação de cada granulometria. A britagem é feita por rolos, para evitar geração de material extremamente fino, seguindo-se a classificação granulométrica e a separação magnética, de modo que se retirem contaminantes.

O adesivo para os abrasivos revestidos pode ser cola ou resina sintética. Um revestimento inicial de cola ou resina é aplicado sobre a superfície, seguindo-se a eletrodeposição dos grãos. Esse processo eletrostático garante a distribuição uniforme e o posicionamento ótimo dos grãos. Aplica-se então uma segunda camada de resina de modo que os grãos fiquem fixados. O material é então curado e processado em diversos tipos de cintas, rolos e discos.

- Grãos e pós para sabão, limpadores e polidores

Muitos materiais diferentes, a maioria natural, são utilizados na fabricação de sabão, limpadores e polidores. Feldspato, pedra-pomes, areia, quartzo, trípoli, argila e madeira pulverizada são ingredientes de sabonetes e sabonetes abrasivos. Em geral se considera abrasivos de baixo custo para essas aplicações, porém certas características devem ser levadas em conta. Tomando-se como exemplo o caso de uma aplicação doméstica, o abrasivo não deve possuir dureza maior que a do vidro, uma vez que uma superfície desse material seria certamente danificada. Também não deve conter compostos de cal altamente reativos, uma vez que estes em contato com o sabão formam substâncias insolúveis muito difíceis de serem retiradas do vidro.

## ii. Classificação

Os abrasivos podem ser divididos em duas classes: naturais e sintéticos. Os naturais incluem todas as rochas e minerais usados para fins abrasivos que não tenham sido submetidos a processos químicos e físicos, com exceção de processos de cominuição, moldagem ou ligação. Abrasivos sintéticos são feitos por ação do calor ou química de metais ou outros minerais brutos. O quadro abaixo ilustra os abrasivos mais importantes, classificados por tipo e forma como são utilizados na indústria.

**Quadro 3.1 - Classificação de abrasivos**

Dureza Superior (>7,0 Mohs)	Abrasivos Naturais		Dureza Inferior (< 5,5 Mohs)	Abrasivos Sintéticos		Tipos de Produtos Abrasivos
	Dureza Intermediária					
	Abrasivos de Sílica	Outras Rochas/Minerais				
Diamante (10,0)	Calcedônia	Calcáreo argiloso	Apatita	Carbeto de boro	Negro-de fumo (tipo lamparina)	Grãos abrasivos e pós, livres
Corindon (9,0)	Chert	Basalto	Calcita	Nitreto de boro	Cal	Grãos abrasivos aglomerados em discos, blocos e formas especiais
Esmenil (7,0-9,0)	Flint	Feldspato	Giz	Carbonato de Cálcio Precipitado	Magnésia precipitada	Abrasivos revestidos; grãos com liga em papel e tecido
Granada (6,5-7,5)	Novaculita	Granito	Argila	Fosfato de cálcio	Dióxido de manganês	Grãos Abrasivos e pós; pastas; por meio de óleo ou água
Estaurólita (7,0-7,5)	Quartzo	Micaxisto	Diatomita	Óxido de cério	Periclásio artificial	Grãos Abrasivos e pós; forma de tijolo ou barra; ligas com graxa, cola ou cera
	Quartzito	Perlita	Dolomita	Óxido de cromo	Carbeto de silício	Rochas naturais moldadas em pedras de moagem
	Arenito	Pedra-pomes Conglomerado de Quartzo	Óxidos de Ferro	Argila calcinada à morte	Carbeto de tântalo	Rochas naturais moldadas em pedras de afiação
	Areia silicosa		Calcário	Diamante	Óxido de Estanho	Rochas naturais moldadas em pedras de polimento
			Piçarra	Alumina fundida	Carbeto de titânio	Rochas naturais moldadas em blocos para revestimento de moinhos
			Silte	Vidro	Carbeto de tungstênio	Seixos, naturais e manufaturados, para moinhos
			Talco	Óxidos de ferro	Óxido de Zircônio	
			Trípoli		Silicato de Zircônio	
			Carbonato de cálcio	Abrasivos metálicos, incluindo granelha esférica e angular, palhas de aço, latão e cobre		
				Bloco de porcelana para revestimentos de moinho e corpos moedores		

- Abrasivos Naturais

Os abrasivos naturais, incluindo o diamante industrial, tem perdido seu espaço frente aos sintéticos, em função de sua desvantagem em desempenho e no controle da produção, bem como, no caso dos abrasivos que contenham sílica livre, problemas relacionados à saúde do trabalhador. Trata-se atualmente de parcela economicamente pouco significativa, sendo apresentada a seguir a título de informação.

*Coríndon e Esmeril:*

O coríndon e o esmeril se tornaram relativamente pouco importantes. A maior parte do esmeril é utilizada em pisos de concreto que suportam trabalho pesado, e como material antideslizante em pontes. A concorrência de abrasivos artificiais eliminou a maior parte dos mercados para estes materiais, sendo alguns nichos de mercado específicos remanescentes (HARBEN, 2002).

O maior produtor mundial é a Turquia, com 14,5 Mt de esmeril produzidas em 2003 (MOBBS, 2003) e a Grécia produziu aproximadamente 8 Mt (NEWMAN, 2003).

*Diamante Industrial:*

O diamante industrial natural, atualmente substituído em grande parte pelo diamante sintético e até mesmo em alguns casos pelo nitreto de boro cúbico, foi um dos materiais mais importantes e essenciais da indústria de abrasivos.

Alguns dos usos mais importantes dos diamantes industriais:

- Bits para perfuração de rocha e concreto
- Moldes para extrusão de fios
- Pontas para ferramentas
- Dentes para serras
- Discos abrasivos
- Pó para corte de gemas.

Carbetos metálicos e outras ligas extremamente duras e rígidas podem ser cortadas e moldadas eficientemente com ferramentas diamantadas.

*Granada:*

O nome granada é dado a um grupo específico de ferro-alumino-silicatos que possuem semelhança em relação a características físicas, forma de cristais e fórmula química em geral.

Lixas e tecidos revestidos com granada são utilizados primariamente no lixamento de madeira, porém podem ser usados também no acabamento de couro, borrachas duras, plásticos, vidro e metais mais moles. Recentemente, abrasivos revestidos têm sido melhorados com a utilização de resinas na ligação ao invés de cola, e o revestimento eletrostático tem sido utilizado. A granada tem sido substituída em muitas dessas aplicações por abrasivos sintéticos, tais como carбето de silício e alumina fundida.

Pó de granada de alta qualidade é utilizado também para polimento e acabamento de telas de tubo de raio catódico (CRT), telas de cristal líquido (LCD), semicondutores e cerâmicas (WILLIS, 2003).

Um grande uso de granada na sua forma livre ocorre em jateamentos, como substituto da areia, e corte por jato d'água. Como a sílica não se encontra na forma livre na granada, não há o risco de se causar silicose. Porém, com o surgimento de bicos para jateamento em carбето de boro, mais resistente à abrasão que os anteriores de carбето de tungstênio, aqui também a granada vem perdendo mercado para o óxido de alumínio, mais eficaz que a granada nessa função.

### *Estaurolita:*

A estaurolita, um silicato alumino-ferroso complexo, possui dureza entre 7 e 7,5 na escala Mohs, sendo igual ou ligeiramente maior do que a dureza do quartzo. É utilizada primariamente em jateamentos.

### *Sílica:*

Em razão dos riscos de saúde associados à sílica cristalina livre, materiais que contenham esse componente tiveram sua utilização proibida no Brasil pela PORTARIA Nº 99, DE 19 DE OUTUBRO DE 2004, do Ministério do Trabalho e do Emprego. Granada, olivina, escória, e alumina fundida tem sido apresentadas como alternativas mais seguras. Portanto ficam proibidos para uso como abrasivo os seguintes materiais: areias silicosas, quartzo, abrasivos suaves silicosos em pó, diatomita, o trípoli, ou quaisquer outros que apresentem sílica livre.

### *Outros abrasivos suaves:*

*Feldspatos* - é utilizado em compostos de limpeza para produtos de limpeza para vidros

*Giz* - (carbonato de cálcio) é um calcário compacto, de granulação fina e mole, composto de restos de conchas marinhas microscópicas. Utilizado para polimento de níquel, ouro, prata e outros.

*Caulim* - O caulim e outras argilas têm sido utilizados com sucesso em pós de polimento.

- **Abrasivos Sintéticos**

Atualmente, os abrasivos sintéticos dominam o mercado e tendem a deslocar cada vez mais os naturais em função do desenvolvimento contínuo de novas formulações. Os abrasivos sintéticos, além de possuírem qualidade superior, possuem uniformidade e suas características abrasivas podem ser ajustadas de acordo com a necessidade. Estes abrasivos podem ser separados em três categorias:

### *Produtos de eletrofusão:*

Os abrasivos eletrofundidos incluem os carbeto de silício, o óxido de alumina fundida (alumina-titanita; alumina-óxido de cromo; alumina-zirconita; alumina-zirconita-titanita) e o carbeto de boro.

### *Carbeto de Silício:*

Comercialmente conhecido como Carborundum ou Crystolon, possui a fórmula química carbeto de silício. É produzida pela fusão de uma mistura de areia de alto teor de sílica e carbono em um forno elétrico. A forma mais indicada de carbono é o coque de petróleo, porém antracito ou coque de carvão com baixo teor de cinzas também podem ser utilizados. O carbeto de silício é sintetizado carregando-se o forno elétrico com areia e coque de petróleo, sendo que a combinação entre o silício e o carbono se dá a aproximadamente 2.200°C no núcleo.

O produto é tratado primeiramente em britadores de mandíbula, passando por uma sequência de moinhos, e tem as impurezas retiradas por um separador magnético. O produto resultante é então peneirado em malhas que variam de 8 a 240 mesh, sendo a fração mais fina classificada por processo gravimétrico a seco ou úmido.

### *Óxido de Alumínio Fundido:*

O óxido de alumínio fundido é produzido em fornos elétrico a arco, utilizando bauxita como matéria prima. A bauxita deve possuir tipicamente as seguintes características:

**Quadro 3.2 - Composição típica de bauxita para fusão**

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85,0 a 87,0%
TiO <sub>2</sub>	3,0% a 4,5%
SiO <sub>2</sub>	3,0% a 5,5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,0% a 10,3%
Perda por fogo	1,0% a 2,0%

O minério é britado e calcinado, e depois misturado com cavaco de ferro (15%) e coque (5%), sendo essa mistura carregada na fornalha. O coque reduz as impurezas, que se combinam com o ferro e depositam no fundo da fornalha.

Após a reação, a mistura é resfriada em condições controladas, de modo que se obtenha o tamanho desejado dos cristais. A massa resfriada é então britada, peneirada e limpa. Os grãos podem variar em rigidez, tipo de fratura, adesão a cola e diversas outras propriedades, dependendo da finalidade.

A adição de cromo ao abrasivo aumenta sua dureza sem que sua rigidez aumente significativamente. Essa característica é importante para aplicações onde seja desejada uma menor temperatura de operação. Outra mistura possível é a de alumina-zirconita, que possui extrema durabilidade, e é particularmente útil em fundições e condicionamento do aço.

Sua utilização se dá principalmente em abrasivos revestidos e com ligas. Na forma de pó, o óxido de alumínio é utilizado em aplicações eletrônicas e industriais que requeiram um acabamento fino da superfície.

#### *Carbeto de Boro:*

O carbeto de Boro (B<sub>4</sub>C), embora consideravelmente mais duro do que o Carbeto de Silício, fica muito aquém da dureza do diamante. É feito da redução de trióxido de boro (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pelo coque de petróleo em um forno a arco, onde a temperatura se encontra em torno de 2.600°C, ou em forno a grafite (com adição de magnésio) acima de 1.400°C. O produto obtido é britado de forma a se obter diversos tamanhos de grãos e pós.

Na forma de grão, é utilizado em operações de desgaste antes possíveis apenas com pó de diamante. O carbeto de boro pulverizado pode ser moldado sob altas temperaturas e pressão, formando produtos extremamente resistentes ao desgaste, tais como revestimentos de bicos de jateamento, machos e cossinetes, moldes de extrusão e vários tipos de calibres de precisão.

#### *Abrasivos sinterizado:*

Esse grupo possui um método de produção drasticamente diferente dos outros tipos de abrasivos fundidos. Os materiais são aquecidos em fornos até a temperatura de sinterização (1200°C a 1400°C), ao invés de serem aquecidos até o ponto de fusão. Embora outros materiais tenham sido utilizados, em geral a bauxita, com ou sem aditivos, é formada em grãos de tamanho e forma predeterminados, por extrusão ou outros métodos. Esses grãos são então sinterizados para se obter o grão abrasivo. Não se utiliza de processos posteriores de britagem, classificação e outros.

#### *Abrasivos Sol-Gel:*

São preparados pela gelatinização de uma forma de óxido de alumínio, conhecida como boehmita. Essa gelatinização é feita com a adição de diversos precursores para melhorar as propriedades do material e um agente de nucleação, evaporando a água do gel e produzindo um sólido muito duro. O produto é britado, classificado e queimado entre 1200°C e 1500°C. As patentes do processo são de propriedade da 3M e Saint Gobain.

Apesar possuírem performance muito superior em relação aos outros abrasivos, o alto preço (\$6 a 8/lb) devido aos custos de produção dos abrasivos de Sol-Gel ainda não permitiu uma expressiva participação no mercado.

*Diamante sintético:*

Os diamantes sintéticos são superiores aos diamantes naturais, pois suas características podem ser adaptadas para cada tipo de aplicação distinta e podem ser produzidos em grandes quantidades. A utilização de revestimentos de metal melhora a aderência ao abrasivo em discos de desbaste resinados.

Diamantes policristalinos (PCD) são formados em alta temperatura e pressão, resultando em milhares de microcristais aglomerados. São utilizados por exemplo em bits de perfuração, uma vez que possuem grande resistência ao desgaste, resistência ao impacto, boa estabilidade térmica e estrutura homogênea, além de propriedades de auto-afiação.

Outro método de formação de diamantes artificiais é por deposição de vapor químico (CVD), onde o carbono é transformado em plasma, que por sua vez é depositado em um substrato. Há um melhor controle de impurezas do que no método PCD e é utilizado em lâminas cirúrgicas resistentes à perda de corte.

*Nitreto de Boro Cúbico:*

É feito a temperatura e pressão comparáveis às requeridas na manufatura dos diamantes artificiais, porém sua estabilidade térmica é maior do que a apresentada pelo diamante, chegando a temperaturas maiores do que 1.371°C. Sua dureza Knoop é 7.800, bem superior à dureza de outros abrasivos, porém inferior à do diamante.

É utilizado em aplicações industriais no molde de ferramentas, uma vez que suporta temperaturas superiores a 2.000°C. Ferramentas de corte e componentes abrasivos tem sido desenvolvidos especialmente para uso com metais ferrosos com baixo teor de carbono, devido a sua baixa reatividade.

- **Abrasivos metálicos**

Esta categoria inclui aço britado, granalha de aço e palhas de aço, latão e cobre. Segundo Johnson e Schauble (JOHNSON, SCHAUBE, 1939) as descrições dos produtos são as seguintes:

O aço britado é feito de aço com alto teor de carbono, tratado para que seja mais friável. Esse aço é então britado e classificado em tamanhos que variam de 2 a 200 mesh. Esse produto é então tratado termicamente e novamente classificado. As frações em pó são utilizadas em concreto armado e em vários compostos químicos.

Granalha de aço é apenas ferro fundido resfriado. Insumos selecionados são derretidos e depois resfriados rapidamente, conferido friabilidade à granalha. Este é então tratado termicamente para que se torne duro e é classificado em quinze tamanhos que variam de 4 a 90 mesh. O material grosso é então britado e passa a ser chamado de granalha angular, em oposição à esférica da qual se origina, e é tratado termicamente para que se aumente sua rigidez e durabilidade. O material é classificado então em tamanhos que variam de 7 a 100 mesh.

A palha de aço, feita tanto de aço normal quanto aço inoxidável, é utilizada no acabamento de madeiras e metais moles, tais como o alumínio, além de limpeza. Palhas de latão e cobre são utilizadas primariamente em limpeza doméstica.

Hoje em dia, a maior parte dos abrasivos metálicos (75%) são utilizados como partículas livres em limpeza por jateamento ou na melhora das propriedades de superfícies metálicas. As indústrias que utilizam esses abrasivos incluem a automotiva, aeronáutica e fundições.

#### *Precipitados Químicos:*

Precipitados químicos, principalmente óxidos, têm um tamanho de grão muito fino e são usados como agentes de polimento finais.

#### *Óxidos de Ferro:*

O óxido de ferro, conhecido também como Rouge, tem seu maior uso em polimento de vidro, mas também muito usado em forma de pó, pasta e outras no polimento de metais preciosos, pedras, e outros materiais, de forma a obter brilho.

#### *Outros precipitados:*

*Óxido de cromo*, ou rouge verde, é usado primariamente para platinas e aço inox. Óxido de estanho é utilizado para o polimento de vidros e pedras preciosas. O óxido de cério é um agente polidor para o vidro e pode ser substituído pelo óxido de estanho em certas aplicações. A magnésia na forma precipitada é considerada um pó de polimento médio, já a sua variedade calcinada à morte, o periclásio artificial, também é usada como abrasivo. Carbonato de cálcio precipitado é também utilizado como abrasivo suave em pastas dentifrícias.

#### *Óxidos de Cálcio e Magnésio*

A cal, obtida pela calcinação do calcário, e a cal dolomítica (CaO.MgO), tem algumas aplicações como abrasivo, especialmente no polimento de latão, cobre, bronze, aço, pérolas, celuloide e materiais similares. O seu uso principal é na coloração do níquel após o folheamento, onde confere ao metal um tom de azul. Como a cal ataca o alumínio, não é utilizada para este metal.

- **Outros Abrasivos Sintéticos**

*Porcelana:* Usa-se em blocos e seixos para moinhos. Esse tipo de porcelana pode ser primariamente composto de óxidos de zircônio ou silicatos, ou de mulita convertida a partir de andaluzita, cianita ou dumortierita.

*Vidro:* Vidro britado e peneirado é usado como abrasivo em certos tipos de lixa.

*Negro-de-fumo* (do tipo lamparina)

*Fuligem fina* coletada da combustão incompleta de materiais carbonáceos. Utilizado para polir ossos e celuloide

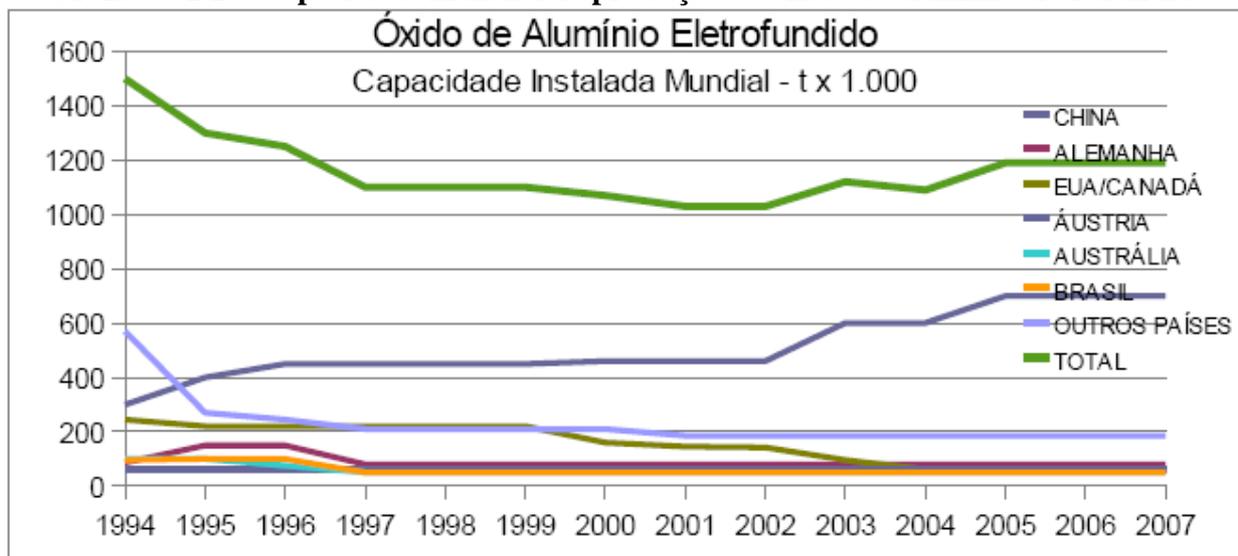
*Argila:* Queimada até um estado muito duro e pulverizada finamente, é utilizada como abrasivo para polir metais.

### **3.1. Produção**

Como citado anteriormente, não existem dados consolidados de produção para os abrasivos no Brasil. Dessa forma, utilizaremos dados do USGS sobre a capacidade industrial instalada como aproximação para a produção. Apresentamos a seguir nas ilustrações 3.1.1 a 3.1.6 as capacidades instaladas no Brasil frente às dos principais produtores mundiais para o óxido de alumínio eletrofundido e para o carbetto de silício. Deve-se ter em mente que a capacidade instalada não reflete necessariamente a produção real já que não leva em conta a ociosidade produtiva das instalações.

Apesar de termos tido sucesso na produção experimental, não existe ainda produção em escala industrial de diamantes sintéticos ou de nitreto de boro cúbico no Brasil. Todo o consumo nacional é suprido por importação. Apresentamos nas 3.1.7 a 3.1.9 apenas a título de informação, a produção mundial de diamantes sintéticos e seus principais players. Não foi possível encontrar quaisquer dados sobre a produção de nitreto de boro cúbico.

**Gráfico 3.1.1 – Capacidade mundial de produção de óxido de alumínio eletrofundido**



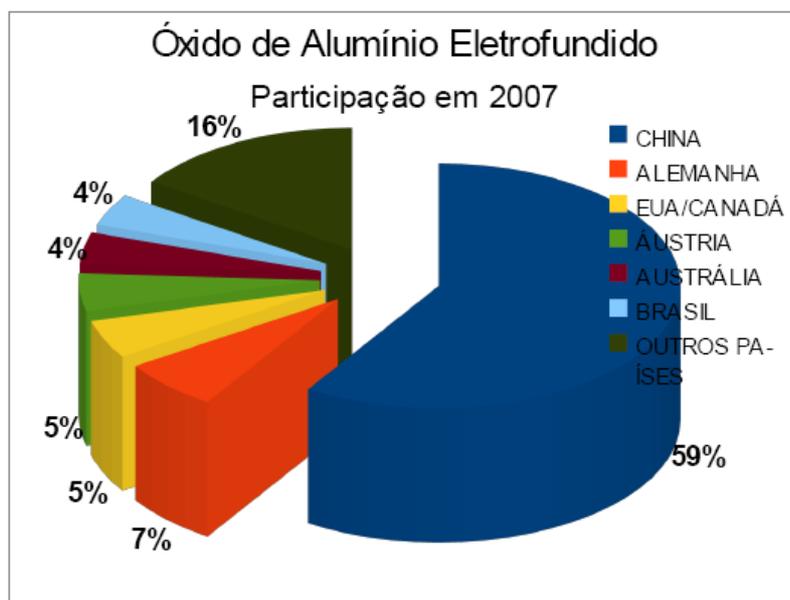
**Quadro 3.1.2 – Capacidade mundial de produção de óxido de alumínio eletrofundido**

Capacidade mundial de óxido de alumínio fundido em t x 10 <sup>3</sup>														
País	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CHINA	300	400	450	450	450	450	460	460	460	600	600	700	700	700
ALEMANHA	86	150	150	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
EUA/CANADÁ	245	220	220	220	220	220	160	145	142	96	60	60	60	60
ÁUSTRIA	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AUSTRÁLIA	100	100	75	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
BRASIL	96	100	100	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
OUTROS PAÍSES	570	270	245	210	210	210	210	185	185	185	185	185	185	185
<b>TOTAL</b>	<b>1.500</b>	<b>1.300</b>	<b>1.250</b>	<b>1.100</b>	<b>1.100</b>	<b>1.100</b>	<b>1.070</b>	<b>1.030</b>	<b>1.030</b>	<b>1.120</b>	<b>1.090</b>	<b>1.190</b>	<b>1.190</b>	<b>1.190</b>

Fonte: USGS (www.usgs.gov)

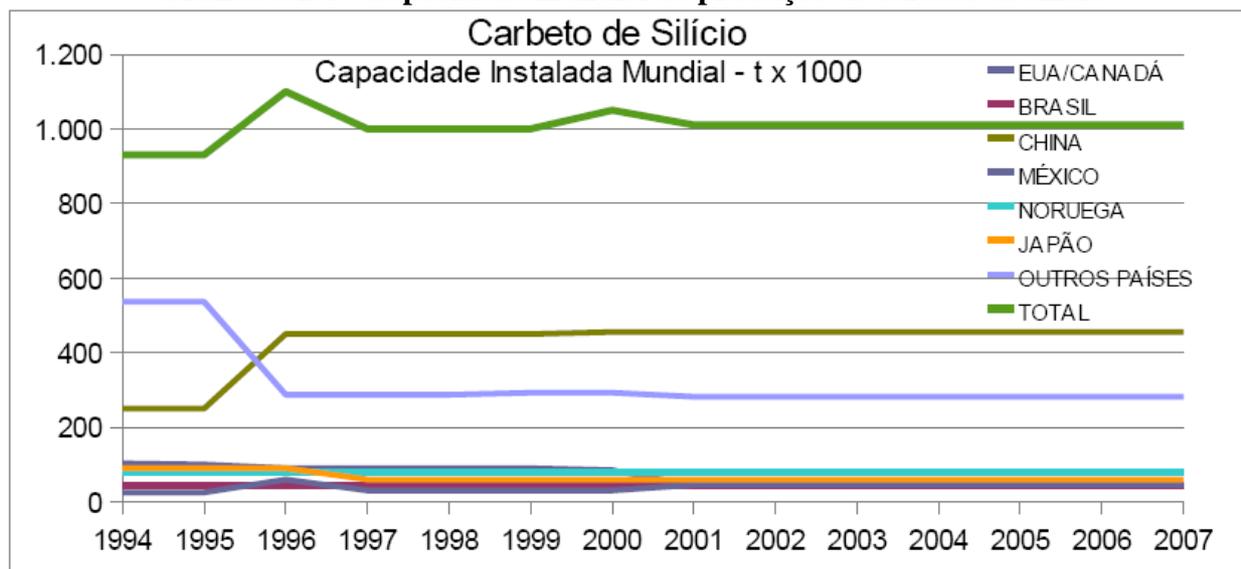
Data: 11/08/2009

**Figura 3.1.3 – Gráfico e Quadro de participação na produção mundial de alumínio eletrofundido**



País	óxido de alumínio t x 10 <sup>3</sup> (2007)
CHINA	700
ALEMANHA	80
EUA/CANADÁ	60
ÁUSTRIA	60
AUSTRÁLIA	50
BRASIL	50
OUTROS PAÍSES	185
<b>TOTAL</b>	<b>1.190</b>

**Gráfico 3.1.4 - Capacidade mundial de produção de carbeto de silício**



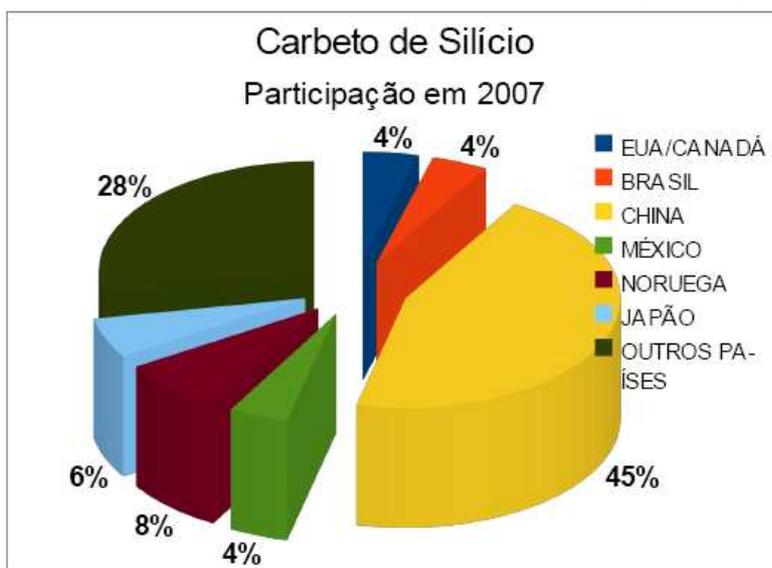
**Quadro 3.1.5 - Capacidade mundial de produção de óxido de carbeto de silício**

Capacidade de carbeto de silício em t x 103														
País	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
EUA/CANADÁ	103	100	90	90	90	90	85	43	43	47	43	43	43	43
BRASIL	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
CHINA	250	250	450	450	450	450	455	455	455	455	455	455	455	455
MÉXICO	25	25	60	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45
NORUEGA	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
JAPÃO	90	90	90	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
OUTROS PAÍSES	536	536	287	287	287	292	292	282	282	282	282	282	282	282
<b>TOTAL</b>	<b>930</b>	<b>930</b>	<b>1.100</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.050</b>	<b>1.010</b>						

Fonte: USGS (www.usgs.gov)

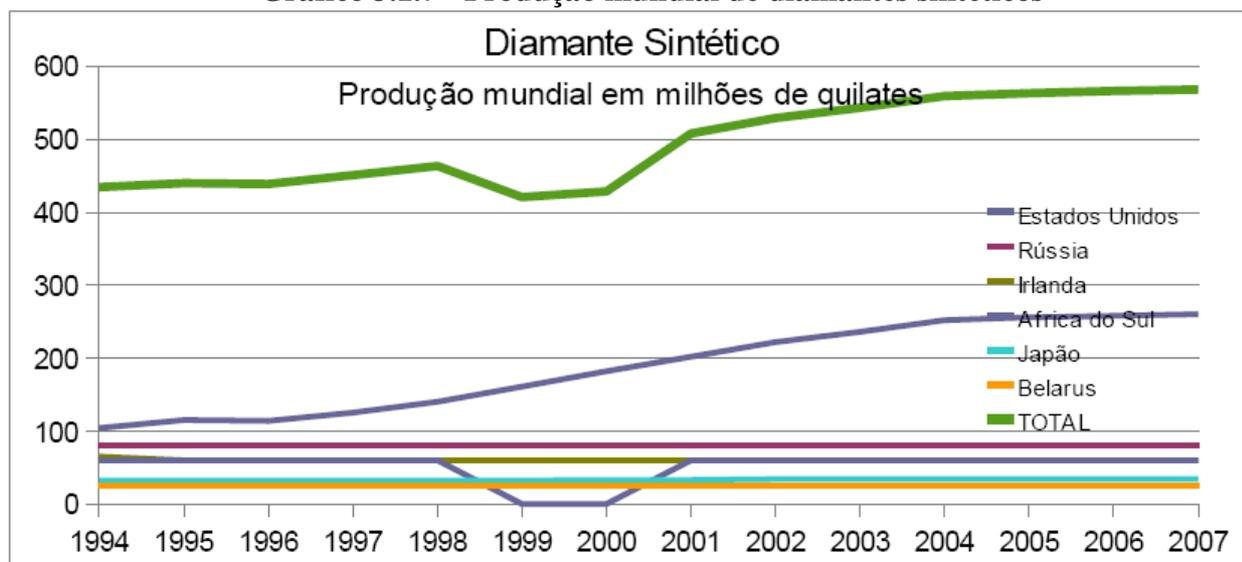
Data: 11/08/2009

**Figura 3.1.6 - Gráfico e Quadro de participação na produção mundial de carbeto de silício**



País	carbeto de silício t x 10 <sup>3</sup> (2007)
CHINA	455
NORUEGA	80
JAPÃO	60
MÉXICO	45
BRASIL	43
EUA/CANADÁ	43
OUTROS PAÍSES	282
<b>TOTAL</b>	<b>1.010</b>

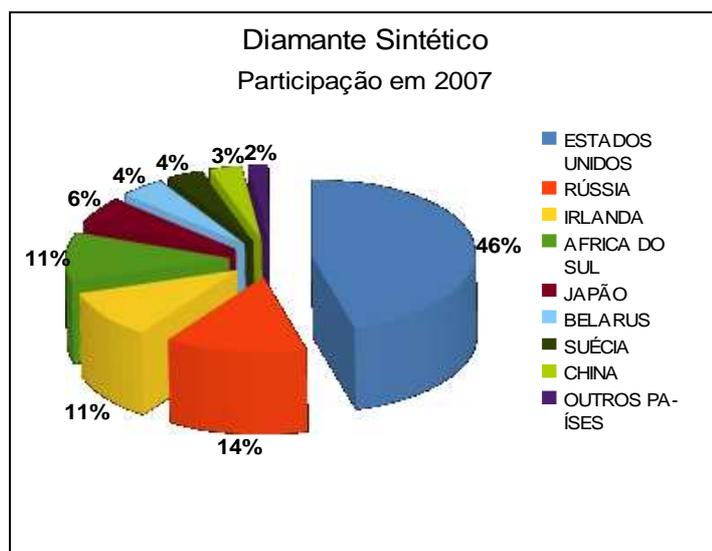
**Gráfico 3.1.7 - Produção mundial de diamantes sintéticos**



**Quadro 3.1.8 - Produção mundial de diamantes sintéticos**

Produção de diamante sintético em milhões de quilates														
País	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Estados Unidos	104	115	114	125	140	161	182	202	222	236	252	256	258	260
Rússia	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Irlanda	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
África do Sul	60	60	60	60	60	0	0	60	60	60	60	60	60	60
Japão	32	32	32	32	32	32	33	33	34	34	34	34	34	34
Belarus	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Suécia	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20
China	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18
Outros Países	28	27	27	28	25	21	12	11	11	11	11	11	11	11
<b>TOTAL</b>	<b>434</b>	<b>440</b>	<b>439</b>	<b>451</b>	<b>463</b>	<b>420</b>	<b>429</b>	<b>508</b>	<b>529</b>	<b>543</b>	<b>559</b>	<b>563</b>	<b>566</b>	<b>568</b>

**Figura 3.1.9 - Gráfico e Quadro de participação na produção mundial diamante sintético**

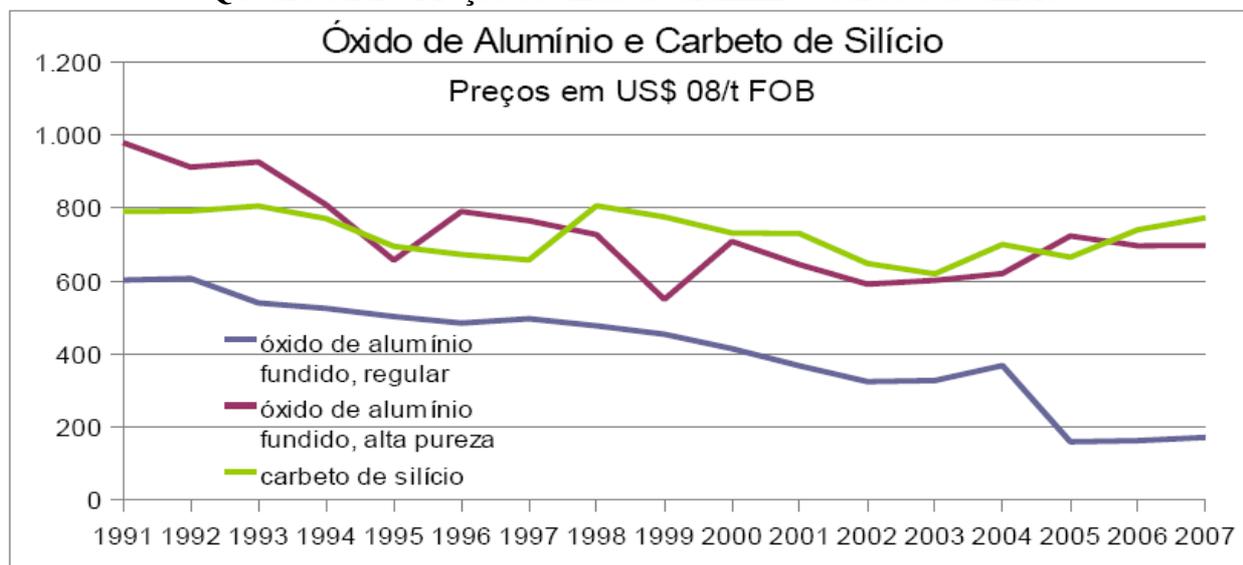


País	diamante sintético ct x 106 (2007)
ESTADOS UNIDOS	260
RÚSSIA	80
IRLANDA	60
ÁFRICA DO SUL	60
JAPÃO	34
BELARUS	25
SUÉCIA	20
CHINA	18
OUTROS PAÍSES	11
<b>TOTAL</b>	<b>568</b>

### 3.2. Preço de mercado por tipo de produto

Como referência de preço de mercado internacional usaremos novamente as informações dos *Mineral Yearbooks e Mineral Commodities Summaries* do USGS para “abrasivos” (óxido de alumínio e carbeto de silício) e diamante. No gráfico 3.2.1 e no quadro 3.2.2, os valores dos abrasivos representam o preço dos produtos no mercado estadunidense.

**Quadro 3.2.2 - Preços de óxido de alumínio e carbeto de silício**



*Gráfico 3.2.1 - Preços de óxido de alumínio e carbeto de silício*

Preço US\$ 08/t FOB																	
Abrasivo	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
óxido de alumínio fundido, regular	602	606	539	524	502	484	496	477	454	414	367	324	327	368	159	162	171
óxido de alumínio fundido, alta pureza	978	912	925	809	656	790	765	726	549	708	644	591	602	620	723	696	697
carbeto de silício	790	792	805	771	694	672	657	806	775	731	729	648	619	700	665	740	773

Fonte: USGS ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))

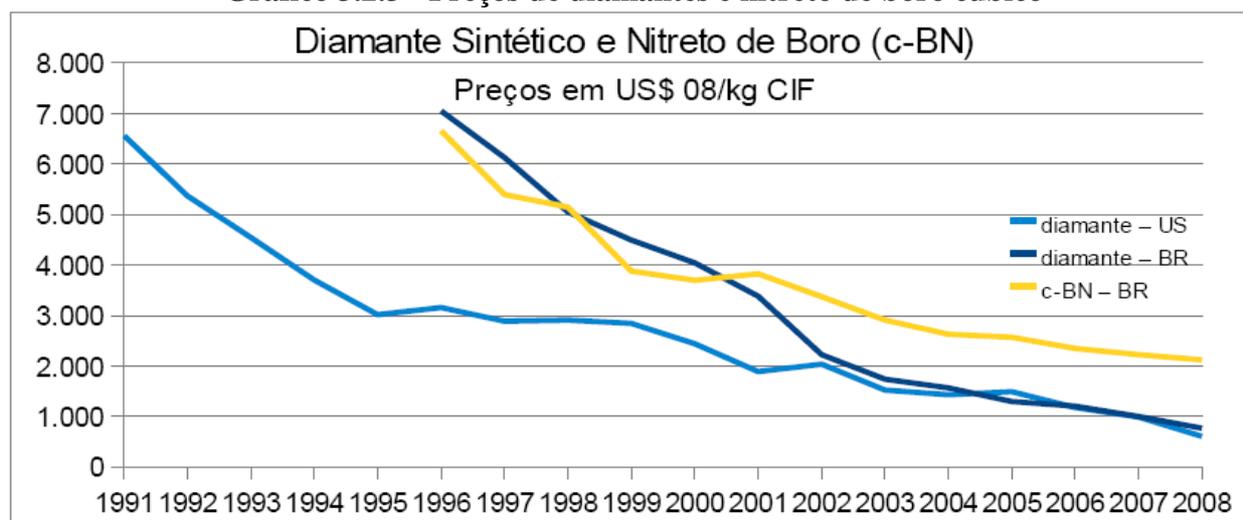
Data: 11/08/2009

No gráfico 3.2.3 e no quadro 3.2.4, apresentamos a evolução de preços dos superabrasivos. No caso do diamante, usaremos valores de importação de diamante granular ou em pó, na maior parte sintético, de duas fontes distintas mas com tendências convergentes:

- dos Estados Unidos (USGS)
- do Brasil (AliceWeb)

Para o nitreto de boro cúbico, usaremos os valores de importação do produto a partir da Irlanda obtidos no website Aliceweb. Infelizmente o NCM da mercadoria - 2850.00.10 - não distingue entre nitreto de boro cúbico e hexagonal, produtos com aplicação e preços completamente diferentes. Entendemos que a importação a partir da Irlanda é exclusivamente de nitreto de boro cúbico por ser este país um importante produtor do mesmo e do diamante sintético, produtos que usam tecnologia de produção semelhante.

**Gráfico 3.2.3 - Preços de diamantes e nitreto de boro cúbico**



**Quadro 3.2.4 - Preços de diamantes e nitreto de boro cúbico**

Preço US\$ 08/kg CIF																		
Abrasive	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
diamante - US	6.560	5.371	4.544	3.702	3.016	3.156	2.884	2.906	2.843	2.438	1.884	2.035	1.521	1.425	1.488	1.175	986	600
diamante - BR						7.053	6.129	5.050	4.493	4.037	3.379	2.221	1.734	1.565	1.292	1.201	997	765
c-BN - BR						6.656	5.393	5.147	3.879	3.694	3.826	3.371	2.909	2.625	2.566	2.345	2.223	2.117

Fonte: USGS (www.usgs.gov)

Data: 11/08/2009

O periódico Mineral Price Watch em sua edição de fevereiro de 2009 mostra os seguintes preços de mercado, em dólares americanos históricos, discrepantes com a tendência mostrada acima:

**Quadro 3.2.5 - Preços de alumina eletrofundida - MPW**

Alumina eletrofundida 94% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CIF em 02/2009		mín.	máx.
Marrom FEPA 8-220	Europa	700	900
Marrom FEPA 8-220	FOB China	740	770
Branca, sacos de 25 kg	Europa	1.021	1.277

**Quadro 3.2.6 - Preços de carvão de silício - MPW**

Carvão de Silício (FEPA 8-220)	02/2008		11/2008		02/2009	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Preto, aprox. 99% SiC, Grau 1	1.688	1.790	2.292	2.699	2.170	2.681
Preto, aprox. 99% SiC, Grau 2	1.365	1.585	2.037	2.419	1.915	2.170
Verde, acima de 99,5% SiC	2.010	2.230	2.928	3.310	2.553	2.936

### 3.3. Valor da Produção

Não foi possível encontrar informações sobre o valor produzido pelo setor.

### 3.4. Qualificação Empresarial

O SINAESP, Sindicato das Indústrias de Abrasivos do Estado de São Paulo agrega os principais produtores de abrasivos sejam grãos ou produtos acabados. As empresas sindicadas são:

- 3M do Brasil Ltda
- Abragol Abrasivos Goiás Ind Com Ltda
- Abrasipa Indústria de Abrasivos Ltda
- Alcar Abrasivos Ltda
- Amaril Indústria de Abrasivos Ltda
- Arbax Indústria e Comércio Ltda
- Bomcorte Ferramentas Ltda
- Corindon Abrasivos Especiais Ltda
- Dec Superabrasivos Ind e Com Ltda
- Diamantecno Ferramentas Diamantadas Ltda
- Difer Ferramentas Diamantadas Ltda
- Dinser Ferramentas Diamantadas Ltda
- Embras Empresa Brasileira de Abrasivos Ltda
- FSN Fieiras e Sinterizados Nacionais
- Icdcr Ind e Com de Discos e Rebolos Ltda
- Inabra Abrasivos e Ferramentas Ltda
- Ind e Com Gotthard Kaesemodel Ltda
- Kronos Indústria de Abrasivos Ltda
- Olga S/A Indústria e Comércio
- Pontabrás Abrasivos Industriais Ltda
- Race Abrasivos Indústria e Comércio Ltda
- Rei Indústria e Comércio de Abrasivos Ltda
- Rex Tools Importação Ltda
- Romão Gogolla & Cia Ltda
- Saint Gobain Abrasivos Ltda – divisão de lixas
- Saint Gobain Abrasivos Ltda – divisão de rebolos
- Saint Gobain Abrasivos Ltda – divisão discos corte e debaste
- Saint Gobain Abrasivos Ltda – divisão superabrasivos
- Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais para Construção Ltda
- sia Abrasivos Industriais Ltda (Robert Bosch)
- Sivat Indústria de Abrasivos Ltda
- Treibacher Schleifmittel Brasil Ltda (Grupo Imerys)
- Tyrolit do Brasil Ltda

Para o mercado de abrasivos revestidos, temos indicadores de concentração C2 da ordem de 80% e C4 da ordem de 90%, ou seja, as duas maiores empresas do setor detêm 80% do mercado e as quatro maiores 90%.

As três maiores tem sua produção verticalizada, produzindo grãos e produtos acabados.

As cinco maiores empresas são multinacionais com participação de capital estrangeiro, a saber:

- 3M do Brasil Ltda
- Saint Gobain Abrasivos Ltda
- sia Abrasivos Industriais Ltda (Robert Bosch)
- Treibacher Schleifmittel Brasil Ltda (Grupo Imerys)
- Tyrolit do Brasil Ltda

Essas empresas comercializam tanto produtos fabricados no Brasil como importados de suas outras fábricas no exterior. No caso da 3M e da Saint-Gobain, toda sua produção de grãos abrasivos é para consumo próprio.

Há indicações de aplicação da metodologia Seis-Sigma, pelo menos nas matrizes, nas seguintes empresas:

- 3M do Brasil Ltda
- Saint Gobain Abrasivos Ltda
- Treibacher Schleifmittel Brasil Ltda (Grupo Imerys)
- Tyrolit do Brasil Ltda

O grau de incidência de certificação nas séries ISO (9000, 14000, 18000) ou equivalentes e adesão a normas de qualidade do produto foi verificado nos websites das empresas e são mostrados no quadro 3.4.1.

Obs.: A Treibacher desistiu das certificações ISO alegando que seus processos de controle são mais rígidos que os da própria certificadora. A Kaesemodel adere ainda às normas ASTM e CENT/CT 143 (Alemanha).

Segundo o SINAESP, por inexistência de grupo específico para normatização de produtos abrasivos na ABNT, o grupo de discussão de normas é o CB04 da indústria mecânica (Sindimáquinas).

O PBAC – Plano Brasileiro de Avaliação e Certificação do INMETRO, para produtos com implicações em saúde, segurança e meio ambiente, atualmente não é obrigatório para a indústria de abrasivos. Caso fosse instituída sua obrigatoriedade, 90% dos produtos da indústria de abrasivos não estariam totalmente de acordo com as exigências, ainda de acordo com informações do SINAESP.

Devido à tecnologia envolvida e ao nível necessário de investimento, o nível de formalização dos empreendimentos é muito alto.

Os grandes centros de pesquisas existentes nas empresas multinacionais não estão localizados no Brasil (MORAIS, 2005).

**Quadro 3.4.1 - Certificações e adesão a normas da indústria**

Empresas	Certificações ISO			normas de qualidade		
	9001:2000	14.001:2004	18.001:1999	ABNT	ANSI	FEPA
3M do Brasil Ltda	X	X	X	X		
Abragol Abrasivos Goiás Ind Com Ltda						
Abrasipa Indústria de Abrasivos Ltda						
Alcar Abrasivos Ltda	X			X		
Amaril Indústria de Abrasivos Ltda						
Arbax Indústria e Comércio Ltda						
Bomcorte Ferramentas Ltda						
Corindon Abrasivos Especiais Ltda	X					
Dec Superabrasivos Ind e Com Ltda						
Diamantecno Ferramentas Diamantadas Ltda						
Difer Ferramentas Diamantadas Ltda	X					
Dinser Ferramentas Diamantadas Ltda	X					
Embras Empresa Brasileira de Abrasivos Ltda						
FSN Fieiras e Sinterizados Nacionais						
Icder Ind e Com de Discos e Rebolos Ltda	X					
Inabra Abrasivos e Ferramentas Ltda	X					
Ind e Com Gotthard Kaesemodel Ltda				X	X	X
Kronos Indústria de Abrasivos Ltda	X			X	X	DIN-EN 12413
Olga S/A Indústria e Comércio						
Pontabrás Abrasivos Industriais Ltda						
Race Abrasivos Indústria e Comércio Ltda						
Rei Indústria e Comércio de Abrasivos Ltda	X					
Rex Tools Importação Ltda						
Romão Gogolla & Cia Ltda						
Saint Gobain Abrasivos Ltda - divisão de lixas	X	X		X		
Saint Gobain Abrasivos Ltda - divisão de rebolos	X	X		X		
Saint Gobain Abrasivos Ltda - divisão discos corte e debaste	X	X		X		
Saint Gobain Abrasivos Ltda - divisão superabrasivos	X	X		X		
Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais para Construção Ltda	X	X		X		
sia Abrasivos Industriais Ltda (Robert Bosch)	X	X	X(2007)			
Sivat Indústria de Abrasivos Ltda	X					
Treibacher Schleifmittel Brasil Ltda (Grupo Imerys)	D	D	D		X	X
Tyrolit do Brasil Ltda	X	X				

### 3.5. Recursos Humanos

Não havendo estatísticas disponíveis da indústria como um todo, usaremos dados de uma empresa produtora de grãos abrasivos, a Treibacher, usando os processos tipicamente encontrados na indústria brasileira.

Foi informada em entrevista com um executivo dessa mesma empresa a seguinte composição da mão-de-obra:

Total de funcionários – 170

Com curso superior – (Eng.Materiais, Eng.Química, outros) - cerca de 25 (15%). Esses se distribuem 50% na área administrativa e 50% na área técnica (processos, aplicações e vendas).

Além disso, foi possível levantar a seguinte informação sobre o número de funcionários por empresa:

- SicBrás - 158 funcionários
- Elfusa - dos 800 funcionários que empregava, mais de 300 foram demitidos no início de 2009 (segundo o Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias de Abrasivos, Química, Farmacêutica, Material Plástico, Perfumaria e Artigos de Toucador e Resinas Sintéticas de São João e região).

### 3.6. Parque Produtivo

A seguir enumeramos os produtores de grãos abrasivos nacionais com suas capacidades, quando disponível. Os fornos são do tipo Higgins para óxido de alumínio (há um forno tilt and pour na Elfusa) e Acheson para carbetos de silício:

- A Elfusa (Grupo Curimbaba) produz óxido de alumínio. Capacidade de 120.000 t/ano usando 28 fornos. Localizada em São João da Boa Vista, SP.
- A Treibacher Schleifmittel (Grupo Imerys) produz óxido de alumínio e carbetos de silício. Capacidade total de 60.000 t/ano (10.000 t/ano de SiC). Localizada em Salto de Ituaçu, SP.
- A Casil (Grupo Saint Gobain) é a maior planta de carbetos de silício do mundo. Capacidade de 60.000 t/ano. Localizada em Barbacena, MG.
- A Saint Gobain produz ainda óxido de alumínio em outra planta, localizada em Vinhedo, SP.
- A Sicbrás, Carbetos de Silício do Brasil produz carbetos de silício. Capacidade de 7.000 t/ano. Localizada em Simões Filho, BA.

As indústrias se concentram na região sudeste, com apenas uma delas na região nordeste e nenhuma em outras regiões.

### 3.7. Produtividade

Novamente devido à ausência de estatísticas no setor, utilizamos os dados da Treibacher dos itens 3.5 e 3.6 para projetar uma produtividade para o setor de cerca de 350 t/homem/ano. Da mesma forma, refazendo-se o cálculo para a SicBrás, chegamos a 44 t/homem/ano. Recomendamos a adoção dos números da Treibacher como mais confiáveis por serem dados publicados por empresa com grande capacidade produtiva, diversidade de produtos e com grande tradição na indústria.

### 3.8. Consumo de matérias-primas minerais

Carbetos de Silício - Na produção do carbetos de silício, com o princípio de Acheson, parte-se em geral, de uma mistura de sílica de alta qualidade e coque, numa relação de 60,0% de quartzo e 40,0% de coque.

Para a produção de 190kg de carbetos de silício é preciso cerca de uma tonelada de matérias-primas (MORAIS, 2005).

Óxido de Alumínio eletrofundido - Na produção de óxido de alumínio eletrofundido em forno de Higgins, a proporção de matérias primas é de 80% de bauxita, 15% de cavaco de ferro e 5% de coque ou grafite.

Para a produção de 670kg de óxido de alumínio marrom é preciso cerca de uma tonelada de matérias-primas (vide cálculo no item 3.9 a seguir).

### 3.9. Consumo Energético

Listamos aqui valores encontrados na literatura por não haver informações disponíveis sobre a indústria nacional. Os valores incluem tão somente as operações específicas do processo de eletrofusão, não considerando as operações auxiliares que ocorrem na planta por representarem menos de 1% do total (EPA, 2009).

Tais valores devem representar uma boa aproximação do processo real já que os métodos e equipamentos são os mesmos em toda indústria (com exceção de algumas plantas da ESK na Europa para carbeto de silício), nos processos Acheson e Higgins.

A energia utilizada nos processos de eletrofusão é exclusivamente elétrica.

Não há tratamento das emissões gasosas, sendo as mesmas descarregadas diretamente na atmosfera. A maior parte é de CO<sub>2</sub> com pequenas partes de CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S devidos aos voláteis do coque.

- Carbeto de Silício:
  - Um forno de Acheson típico usa 1.800kW por aproximadamente 30h para obter um lingote de carbeto de silício de cerca de 8.100kg. O consumo médio de energia, portanto é de cerca de 7,0 kWh por kg de material obtido (MORTENSEN, 2007). Outras fontes citam até 9,0 kWh por kg.
  - Em fornos de design mais moderno (ESK), ainda não utilizados no Brasil, há captação de gases no processo. Com esta captação, consegue-se exaurir o enxofre e outros gases para geração de eletricidade para operações secundárias, como uma planta associada de microgrãos (MORAIS, 2005).
  - O fator de emissão de CO<sub>2</sub> para produção de carbeto de silício é de 2,62t/t<sub>produto</sub> (IPCC, 2006).
  - Em comparação com operações industriais dos principais países, encontramos algumas desvantagens na tecnologia empregada na indústria nacional, não no processo em si, mas nas operações auxiliares:
    1. Não eliminação de poluição de pós de SiO<sub>2</sub>, carbono e carbeto de silício no manuseio de matéria-prima e produto (carregamento da matéria-prima e retirada de produto ); geração de odores devido às substâncias voláteis providas do coque durante a fornada, particularmente SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S durante queima e após queima na retirada das “paredes laterais”; além da emissão de particulados, o CO presente nas operações de resfriamento, recuo de laterais e retirada do cilindro, são críticos para o meio ambiente;
    2. Falta de captura e uso dos gases provenientes dos fornos, para geração de energia ou uso de síntese de gases;
    3. Trabalho manual pesado envolvendo a remoção do cilindro e quebra da pedra;

Nos últimos 20 anos, a modernização vem-se dando principalmente no aumento do tamanho dos fornos e instalação de filtros. Na década de 70, a demanda pelo carbeto de silício aumentou, sendo um momento crítico nos níveis de poluição. Esperava-se neste momento que muitos fabricantes poderiam migrar para utilização de fornos móveis para minimização de alguns problemas, o que não ocorreu. Trabalhos têm sido feitos pelos engenheiros ligados à indústria, mas desde 1897, os estudos focam apenas a produção mais eficiente, como substituir o modo intermitente de *Acheson*. Praticamente os profissionais ficaram limitados a produções/divulgações técnicas (artigos) com técnicas imaturas, produção de mini-fornos e novos layouts, e ainda também estão limitados às patentes, sem a aplicação real e lançamento no mercado (CARBORUNDUM).

Após muito tempo de estagnação, em 1973, Elektroschmelzwerk Kempten (ESK) instalou e comissionou fornos de alta capacidade de produção de carbeto de silício, diferentes dos fornos que foram comentados até o momento (verticais). ESK investiu pesado no desenvolvimento de um novo design de forno que gerou 6 patentes (LOUGHBROUGH, 1994; MORAIS, 2005).

A nova tecnologia da ESK viabilizou fornos com menor custo de produção Estes possuem resistência de até 60 m, com os eletrodos no “fundo”/chão, e nenhum tipo de parede lateral ou entre eletrodos, com um formato geral na forma de U, podendo ser de forma linear. A ESK consegue, com estes fornos, uma maior economia de energia, utilizando melhor a energia à noite e nos finais de semana. Um grande ponto a ser destacado, é que há um sistema de captação de gás no “fundo” do forno. Com esta captação, consegue-se exaurir o enxofre e outros gases para geração de eletricidade, para uma planta associada de microgrãos, por exemplo. Portanto, neste processo há um grande ganho ambiental pela não emissão excessiva de particulados e gases (CARBORUNDUM; ESK; MORAIS, 2005).

- Alumina eletrofundida

Consideraremos apenas o processo de eletrofusão em forno de Higgins tanto para a alumina branca como para a marrom. A alumina obtida por processo Bayer empregada para produção de alumina eletrofundida branca é considerada insumo e a energia utilizada para sua obtenção não será aqui considerada.

Para produção de alumina eletrofundida marrom, um forno de Higgins típico usa 750kW por aproximadamente 18h para obter um lingote de cerca de 5.442kg (MORTENSEN, 2007) dos quais 4.142kg são de alumina eletrofundida marrom, como calculado abaixo. O consumo médio de energia, portanto é de 3,3 kWh por kg de material obtido.

A composição percentual típica da bauxita utilizada nesse processo é de 80% no mínimo de  $Al_2O_3$ , e aproximadamente 8,0% de  $SiO_2$  e 8,0% de  $Fe_2O_3$  no máximo, além de outros componentes (GANDOLFI, 2001, p.76). No processo o ferro e o silício decantam em uma fase mais densa no fundo do forno, considerando-se os demais elementos incorporados na fase da alumina.

Considerando-se que a volatilização dos 5% de carbono da mistura inicial sob a forma de CO leva consigo 6,7% do oxigênio contido sob a forma de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ , e restando 5.442 kg de não-voláteis no lingote, têm-se uma massa estimada de  $5.442 \text{ kg} / 0,883 = 6.163 \text{ kg}$  de material total e portanto 308 kg de carbono. Esse carbono sob a forma de CO ao chegar à superfície do forno reage com o oxigênio do ar se transforma em  $CO_2$ . Estequiometricamente, teremos então a emissão de 1.129 kg de  $CO_2$  em uma fornada.

Nos 80% de bauxita alimentados, temos 80% de  $Al_2O_3$  mais cerca de 4% de outros componentes que se somam à fase da alumina como resultado do processo, portanto  $6.163 \text{ kg} \times 0,80 \times 0,84 = 4.142 \text{ kg}$  é a massa total de alumina eletrofundida marrom obtida.

A estimativa de emissão de  $CO_2$  *in situ* no processo de produção da alumina eletrofundida marrom é de aproximadamente 273g $CO_2$ /kg.

Como no caso do carbeto de silício, não há tratamento das emissões gasosas, sendo as mesmas descarregadas diretamente na atmosfera. A maior parte é de  $CO_2$  com pequenas partes de  $CH_4$ ,  $SO_2$  e  $H_2S$  devidos aos voláteis do coque.

### 3.10. Utilização de Água

No processo de eletrofusão da alumina, usa-se água para resfriar as carcaças dos fornos quando se deseja uma granulometria de produto mais fina. Embora esse processo não polua a água quimicamente (há poluição térmica), e não tenha sido possível encontrar referências na literatura consultada, estima-se que seja também utilizada em processos que causem sua contaminação por material particulado em suspensão, decorrente de seu uso em lavagens, purificação, etc.

Já no caso do processo de eletrofusão do carbeto de silício, a água é utilizada também para o resfriamento das carcaças dos fornos e participa do processo de produção conforme segue:

A água efluente do processo produtivo do carbeto de silício verde é contaminada por até 1 g/l de material suspenso e até 3 g/l (27 kg/t) de cloreto de sódio devido a adição de sal comum ao lote. Além disso, há um aumento na concentração de íons sulfato com um aumento específico de cerca de 2 kg/t de carbeto de silício fundido em blocos.

Quando o carbeto de silício preto é lavado, a água efluente é contaminada principalmente por material suspenso.

Durante o processo de cominuição, classificação, purificação a úmido do ar aspirado e remoção de partículas, a água efluente é contaminada principalmente por material suspenso (de 2 a 5 g/l), com lixiviação desprezível de sais solúveis da fase sólida.

No beneficiamento químico, o carbeto de silício pulverizado é tratado com ácido sulfúrico para remover o ferro contaminante (30-90 kg/t). A fase líquida é a seguir neutralizada por hidróxido de sódio. Este é o tipo de efluente mais contaminado, tanto por sais minerais e ácido (até 70 g/l) como também por hidróxido de ferro (9-36 g/l) que se apresenta em estado suspenso.

Apresentamos a seguir no quadro 3.10.1a composição do efluente dos processos produtivos de carbeto de silício verde e preto:

**Quadro 3.10.1 - Composição de efluente de planta de carbeto de silício**

Processo	pH	Alcalinidade	Dureza	Conc. mg-eq/litro					Fe <sub>tot</sub>	resíduo	material
		mg-eq/litro	mg-eq/litro	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	seco		suspenso	
<b>Carbeto de silício verde</b>											
Lavagem do lote fundido	9,6	3,6	8,9	8,1	0,8	1.750	723	-	3.954	396	
Cominuição e classificação	7,7	2,8	3,6	2,8	0,8	56	84	-	368	2.627	
Aspiração	7,0	1,6	3,2	2,4	0,8	86	64	-	418	1.600	
Beneficiamento químico	4,2	-	7,6	6,4	1,2	76	47.300	2.667	70.600	36.682	
<b>Carbeto de silício preto</b>											
Lavagem do lote fundido	7,6	1,4	2,4	1,6	0,8	138	460	-	968	548	
Cominuição e classificação	8,4	2,0	2,4	2,5	2,0	79	240	-	566	5.218	
Aspiração	8,4	2,4	4,5	4,5	1,6	80	600	-	288	3.028	
Beneficiamento químico	5,7	0,6	9,2	6,4	2,8	98	3.600	536	5.880	8.794	

Fonte: Donets Branch, All-Union Scientific-Research and Planning Institute of Ferrous Metal, Energy, and Environment Protection. Traduzido de Ogneupory, No. 5, pg. 36-38, Maio/1986.

Apesar de não ter sido possível encontrar informações sobre volumes específicos de água utilizados no processo, recirculação ou mesmo sobre o tratamento do efluente líquido, um fabricante de carbeto de silício marrom informou que toda a água utilizada no processo é retirada de um rio próximo já poluído, é tratada, utilizada no processo, tratada novamente e devolvida ao mesmo rio em melhores condições do que quando de sua captação.

### 3.11. Geração de Resíduos Sólidos

No processo produtivo do óxido de alumínio eletrofundido marrom, é gerada uma fase mais densa de ferro-silício, separada por separador magnético. O material é reaproveitado na indústria siderúrgica. A proporção é de cerca de 314kg/t<sub>produto</sub>.

No caso do carbetto de silício, o material não reagido no processo retorna ao forno misturado com alimentação nova, não havendo sobras.

A reciclagem ocorre reaproveitando produtos acabados, extraíndo os grãos do substrato revestido ou ligado. Há um florescente mercado de recuperadoras de grãos, composto de recicladores que usam sobras e sucatas e que se especializam por tipo de aglomerante e de grão. Exemplos:

- R. Gogolla
- Ascontec
- Ramirez

### 3.12. Custos Atuais de Investimento

Não foi possível encontrar informações seguras com relação a custos de investimento.

No caso da implantação da nova fábrica de carbetto de silício da SicBrás em Simões Filho, BA, foram investidos (*green field*) US\$7,5 milhões em 2005, com provisão adicional de mais US\$5,0 nos cinco anos seguintes, para uma capacidade instalada de 7.000 t/ano, resultando em cerca de US\$ 1.185 por tonelada de capacidade instalada, em valores atualizados para 2008. Não se tem notícia porém da efetiva utilização dos fundos provisionados (dados da SePlan, BA).

Notícias da literatura especializada (SiC&More) dão conta de novos investimentos brown field na indústria porém sem citar os montantes:

- SicBrás - João Frizzone (CEO): “Tendo consolidado a entrada de nossa empresa no mercado de carbetto de silício em 2006, temos intenção de aumentar a produção. Isso porém não deve acontecer antes que as condições econômicas melhorem.” (#27 Janeiro 2009)
- Saint Gobain - Guido Müller (VP, Gerente Geral SiC): “Futuras expansões da empresa provavelmente serão feitas nas fábricas já existentes, como o aumento de 5.000 t/ano em Barbacena que elevará a capacidade total para 90.000 t/ano após o trabalho de otimização.” (#24 Julho 2008)
- Elfusa – A Micro Elfusa produz atualmente 1400-1700 t/ano de microgrãos de óxido de alumínio eletrofundido como resultado da expansão da planta de São João da Boa Vista em 2000. A partir de 2006, novos investimentos aumentaram sua capacidade produtiva em 30% a 40%, com o mercado interno como alvo principal e uma parte sendo exportada para os Estados Unidos.

## 4. USOS

- **Carbeto de Silício**

As cerâmicas à base de carbeto de silício encontram uma enorme variedade de aplicações, devido à combinação de algumas de suas propriedades singulares, já citadas anteriormente. De um modo geral, são três os grandes mercados: abrasivos, refratários e metalurgia, usadas como aditivo em produção de aços e ferro como fonte de silício (TAYLOR, 1999; MORAIS, 2005). Os mercados da eletrônica e cerâmicas avançadas estão em grande crescimento, com a eletrônica utilizando quase que exclusivamente o carbeto de silício verde pela alta pureza. Uma aplicação que merece destaque é a aplicação do carbeto de silício em filtros cerâmicos para automóveis movidos a diesel.

Os grãos abrasivos (muitos tratados quimicamente) contêm 96,5% a 100% de carbeto de silício, as faixas refratárias estão numa faixa de 90,0% a 98,0% e o carbeto de silício metalúrgico tem 65,0% a 92,0%. Geralmente as aplicações típicas dos grãos do SIC estão na granulometria de 4mm a 1µm para abrasivos, refratários e cerâmicas de alta performance. As aplicações que tipicamente utilizam os grãos abrasivos são esmeris, operações de desbaste e polimento de pedras ornamentais, rebolos e discos de corte, retífica e desbaste de não-ferrosos (MORAIS, 2005).

Quimicamente, o carbeto de silício é aplicado em abrasivos com um mínimo de 96,5% de pureza (carbeto de silício “Preto”). Essa pureza química garante ao carbeto de silício uma dureza suficiente para o processo de corte, desbaste, retífica e polimento nas ferramentas em que é aplicado. Estes abrasivos de carbeto de silício são destinados principalmente às indústrias de transformação, operando em manutenção, ferramentaria, afiação de ferramentas e corte de não ferrosos e metais com baixa resistência a tração. O carbeto de silício “Verde”, que atinge mais de 99,0% de pureza química, também encontra aplicações como abrasivo. É um material de características mais nobres que o carbeto de silício “preto”, sendo especialmente aplicado para ferramentas de ligas de aço de alta dureza e outras ligas com alta resistência mecânica. A pureza química desse tipo de carbeto de silício é importante também no que se refere à inércia química e refratariedade, pois é preciso uma combinação destas em operações abrasivas onde são atingidas altas temperaturas durante o processo de abrasão, e onde por vezes são utilizados líquidos refrigerantes. Granulometricamente, o carbeto de silício é utilizado desde 4 mm até 1 µm. De uma forma geral, tem-se uma correlação do tamanho do grão com o tipo de operação abrasiva (vide quadro 4.1).

**Quadro 4.1 - Tamanho do grão abrasivo de carbeto de silício x tipo de operação abrasiva**

FAIXA DE GRÃO	TIPO DE OPERAÇÃO ABRASIVA
16 ao 24 ( grãos grossos )	Desbaste pesado, operações de corte, grandes remoções de material e Grandes áreas de contato.
30 ao 46 ( grãos grossos )	Operações de desbaste, grandes remoções de material e retificação plana – Segmentos.
54 ao 80 ( grãos médios )	Semi-acabamento e média remoção de material.
T100 ao 150 ( grãos finos )	Operações de acabamento, pequenas remoções pequenas áreas de contato e rebolos com perfis especiais.
180 ao 220 ( grãos finos )	Acabamento fino e pequenas áreas de contato.
240 ao 1000 ( grãos ultrafinos )	SUPERACABAMENTO

(TREIBACHER, 2003)

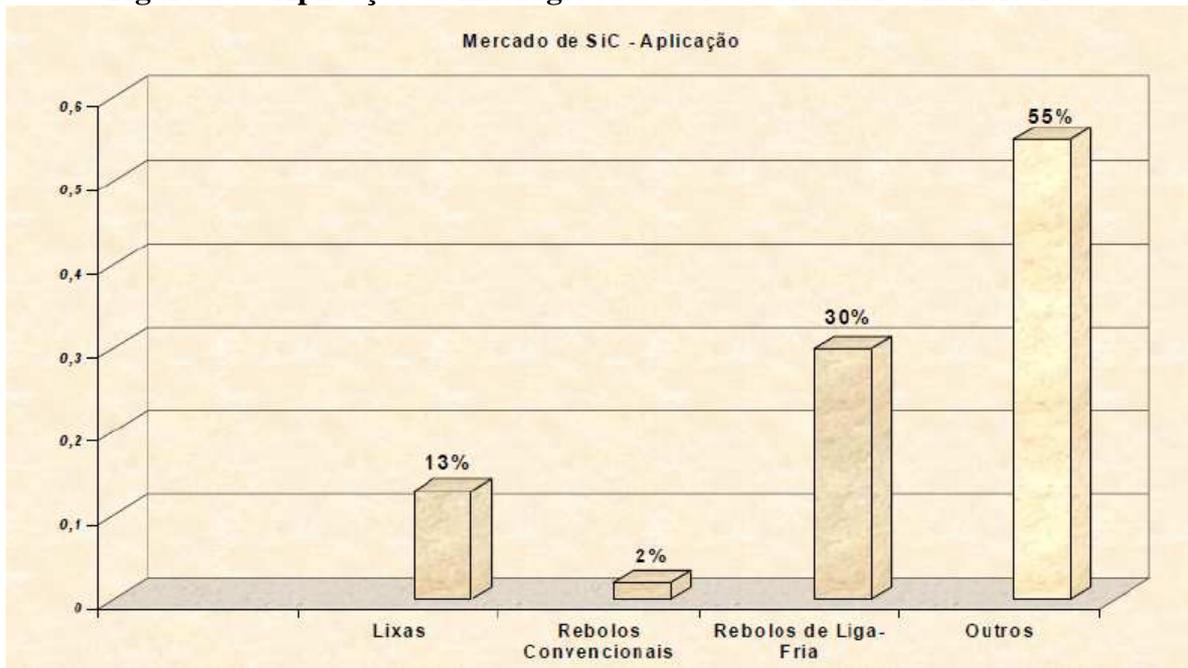
Além de uma diferença grande de distribuição granulométrica entre abrasivos e refratários, há uma diferença quando falamos de grãos para rebolos e lixas: os grãos para lixas devem ter uma distribuição granulométrica mais homogênea, para assim garantir uniformidade destas. Os grãos para abrasivos são classificados principalmente seguindo as normas internacionais ANSI (*American National Standard International*) e FEPA (*Federation of European Producers of Abrasives*). Para abrasivos ligados, no caso de rebolos e discos, a Norma FEPA é igual à norma ANSI para o macrogrãos (grãos 16 ao 220), conforme o quadro 4.2..

As aplicações de carbetto de silício para abrasivos estão divididas principalmente para rebolos convencionais, liga-fria e discos. De acordo com as figuras 4.3 e 4.4, são vistas as porcentagens de aplicação dos macrogrãos e microgrãos (grãos 240 ao 1000 ).

**Quadro 4.2 - Normas ANSI B74.12-2001 e FEPA 42-GB-1984 (R 1993) para macrogrãos**

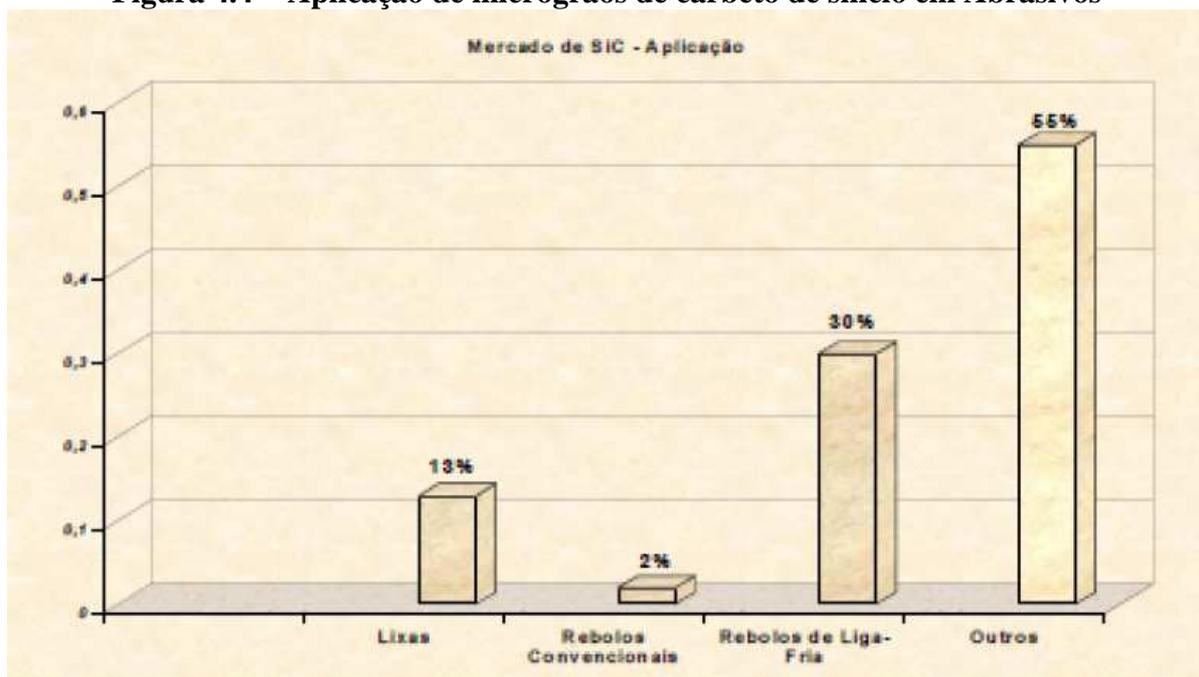
Grão	Peneira	Tol.	Grão	Peneira	Tol.	Grão	Peneira	Tol.
16	1 10 • 2000	0	40	1 25 • 710	0	90	1 60 • 250	0
	2 14 • 1400	< 20		2 35 • 500	< 30		2 80 • 180	< 20
	3 16 • 1180	> 45		3 40 • 425	> 40		3 100 • 150	> 40
	3+4 18 • 1000	> 70		3+4 45 • 355	> 65		3+4 120 • 125	> 65
	Finos 20 • 850	< 3		Finos 50 • 300	< 3		Finos 140 • 106	< 3
20	1 12 • 1700	0	46	1 30 • 600	0	100	1 70 • 212	0
	2 16 • 1180	< 20		2 40 • 425	< 30		2 100 • 150	< 20
	3 18 • 1000	> 45		3 45 • 355	> 40		3 120 • 125	> 40
	3+4 20 • 850	> 70		3+4 50 • 300	> 65		3+4 140 • 106	> 65
	Finos 25 • 710	< 3		Finos 60 • 250	< 3		Finos 200 • 75	< 3
22	1 14 • 1400	0	54	1 35 • 500	0	120	1 80 • 180	0
	2 18 • 1000	< 20		2 45 • 355	< 30		2 120 • 125	< 20
	3 20 • 850	> 45		3 50 • 300	> 40		3 140 • 106	> 40
	3+4 25 • 710	> 70		3+4 60 • 250	> 65		3+4 170 • 90	> 65
	Finos 30 • 600	< 3		Finos 70 • 212	< 3		Finos 230 • 63	< 3
24	1 16 • 1180	0	60	1 40 • 425	0	150	1 100 • 150	0
	2 20 • 850	< 25		2 50 • 300	< 30		2 140 • 106	< 15
	3 25 • 710	> 45		3 60 • 250	> 40		3 200 • 75	> 40
	3+4 30 • 600	> 65		3+4 70 • 212	> 65		3+4 230 • 63	> 65
	Finos 35 • 500	< 3		Finos 80 • 180	< 3		Finos 325 • 45	< 3
30	1 18 • 1000	0	70	1 45 • 355	0	180	1 120 • 125	0
	2 25 • 710	< 25		2 60 • 250	< 25		2 170 • 90	< 15
	3 30 • 600	> 45		3 70 • 212	> 40		3+4 230 • 63	> 40
	3+4 35 • 500	> 65		3+4 80 • 180	> 65		3+4+5 270 • 53	> 65
	Finos 40 • 425	< 3		Finos 100 • 150	< 3		Finos 270 • 53	---
36	1 20 • 850	0	80	1 50 • 300	0	220	1 140 • 106	0
	2 30 • 600	< 25		2 70 • 212	< 25		2 200 • 75	< 15
	3 35 • 500	> 45		3 80 • 180	> 40		3+4 270 • 53	> 40
	3+4 40 • 425	> 65		3+4 100 • 150	> 65		3+4+5 325 • 45	> 60
	Finos 45 • 355	< 3		Finos 120 • 125	< 3		Finos 325 • 45	---

**Figura 4.3 - Aplicação de macrogrãos de carbeto de silício em Abrasivos**



(TREIBACHER, 2003)

**Figura 4.4 - Aplicação de microgrãos de carbeto de silício em Abrasivos**



(TREIBACHER, 2003)

As principais classificações das aplicações e principais propriedades específicas dos grãos abrasivos de carbeto de silício são as seguintes:

**a) Rebolos Vitrificadas, Resinóides e Liga-Fria:**

Os rebolos vitrificadas e resinóides de carbeto de silício são utilizados para desbastes e retífica de precisão principalmente para materiais não ferrosos: cobre, alumínio, cerâmicas, bronze, ferro fundido cinzento, vidro, borracha, couro e outros (caso do carbeto de silício preto) (ALCAR, 2003). Para o caso do verde, este também além das aplicações do preto, é utilizado para retífica de aços de alta dureza, ferro fundido cinzento e polimentos de mármore e granito.

Para a aplicação em retífica, requerem-se grãos geralmente mais angulosos e friáveis, pois devem manter a morfologia durante a aplicação, e evitando assim problemas de “queima” nas peças e menor vida útil do rebolo. Para esta operação, não há contato “brusco” entre a peça a ser trabalhada e a ferramenta abrasiva, portanto o grão não precisa ter uma tenacidade alta para suportar o impacto.

No caso de aplicações que envolvem remoções de grandes volumes de material, o grão abrasivo tem que ser preferencialmente mais tenaz para suportar o impacto e propiciar uma maior vida útil para a ferramenta abrasiva. Ao mesmo tempo, não pode deixar de possuir dureza suficiente para que não perca o poder de remoção (PECHINEY, 2003). Alguns elementos podem ser adicionados a alguns materiais para que ocorra aumento de tenacidade destes. Um caso real é a alumina eletrofundida marrom, na qual o titânio é um “dopante” que faz com que a alumina tenha aumentada sua tenacidade. Os rebolos de liga-fria com carbetos de silício, que são feitos com liga de óxido e cloreto de magnésio são aplicados principalmente em porcelanatos, granitos e mármore. Os requisitos de forma de grão, tamanho e pureza química e a relação direta com o tipo de solicitação na aplicação, seguem o mesmo princípio para a utilização em rebolos vitrificados e resinóides.

#### **b) Discos de corte e desbaste**

Os discos de corte e desbastes com grãos de carbetos de silício são utilizados para corte e desbastes de minerais: paredes e pisos refratários, vidro, granito e mármore. Também são amplamente utilizados para corte e desbaste de ferro fundido, alumínio, bronze, cobre e outros não ferrosos. Estes discos são compostos de ligas resinóides, as quais suportam impactos maiores que as vitrificadas.

Os grãos de carbetos de silício como vão receber alto grau de impacto com o material a ser cortado/desbastado, precisam ser de preferência mais tenazes, e ao mesmo tempo ter angulosidade para propiciar o corte. A pureza química aqui também é requerida, pois esta está intimamente ligada à dureza do grão (diretamente proporcional) (NUSSBAUM, 1988).

Outro importante parâmetro que deve ser controlado tanto para fabricação de discos como para rebolos é a quantidade de pó no grão. O pó em excesso no grão abrasivo será muito deletério para o processamento da ferramenta, onde prejudicará na coesão grão/liga. Além disto, maior quantidade de liga tem que ser utilizada pois a área superficial do grão é elevada com a maior quantidade de pó. Sendo assim, o custo da ferramenta tende a aumentar. Outro fator ruim para o fabricante da ferramenta é que durante o processo, uma quantidade maior de pó provocará maior contaminação do ar com o manuseio dos grãos, prejudicando o meio onde está atuando o ser humano (CBC, 2001).

#### **c) Lixas**

As lixas de carbetos de silício são aplicadas para desbastes e polimentos de aços especiais (menos utilizado, pois nesta área utiliza-se mais os óxidos de alumínio eletrofundidos) e principalmente Lixas para indústria moveleira: tacos, assoalhos, etc. No entanto, há uma grande aplicabilidade de carbetos de silício para abrasão de aço inox. Também é aplicado em mármore e pedras, tintas e vernizes (remoções na indústria automotiva, por exemplo), vidros e plásticos (TREIBACHER, 2003; NUSSBAUM, 1988). Para a aplicação em lixas como já mencionado, a distribuição de grãos é essencial para o melhor desempenho da lixa. Quanto maior a uniformidade da distribuição granulométrica, melhor o rendimento na aplicação, reduzindo-se o risco marcar as superfícies a serem abradidas. Neste ponto, as lixas feitas sob a especificação da norma FEPA são as mais procuradas, devido a maior uniformidade, ou seja, têm uma distribuição granulométrica mais limitada. Outro fator importante para a aplicação dos grãos de carbetos de silício em lixas é a angulosidade. Requer-se uma maior angulosidade para todos os grãos, pois esta angulosidade é que

propiciará o poder de remoção do grão abrasivo. E conseqüentemente, também promoverá a maior vida útil da lixa, pois estes grãos tendem a se “auto afiar” durante a operação.

**d) Grãos livres**

Os grãos de carbetto de silício são amplamente utilizados nessa forma para desbaste e polimento de materiais friáveis. Uma das maiores utilidades é no desbaste e polimento de vidros. Para este tipo de aplicação são frequentemente utilizados em conjunto com água. Outro tipo frequente de utilização é em operações de jateamento de não-ferrosos em geral (MORAIS, 2005).

**e) Óxido de Alumínio**

O óxido de alumínio é usado como abrasivo em todas as formas usuais, seja como produtos ligados (como rebolos e outros), revestidos (lixas) ou em grãos livres, como pó abrasivo. Aplica-se especialmente para abrasão de ligas ferrosas, atendendo grande parte da atual indústria de produtos abrasivos.

O óxido de alumínio eletrofundido é o tipo principal consumido pela indústria de abrasivos e tem forte presença na área de metais não-ferrosos. O carbetto de silício tem melhor desempenho nesse tipo de aplicação, mas tem custo bem mais elevado. Na área dos materiais não-metálicos o carbetto de silício domina alguns mercados como abrasão de vidros, cerâmicas, concreto, carbono e outros, onde enfrenta por sua vez concorrência direta dos produtos diamantados.

O óxido de alumínio vem conquistando o espaço do carbetto de silício em aplicações para materiais não-metálicos diferentes de vidro, pedras, cerâmica e concreto.

Os abrasivos naturais anteriormente amplamente utilizados como o quartzo, a granada e silicatos perderam quase totalmente o espaço para o óxido de alumínio, por desempenho inferior e problemas de saúde do trabalhador, no caso de abrasivos com sílica livre.

Os vários tipos de óxido de alumínio podem ser combinados entre si para obter propriedade adequadas para operações específicas. Apresentamos abaixo uma relação das combinações mais comuns com a nomenclatura usada no mercado:

- A – Óxido de alumínio marrom, possui alto teor de titânio, proporciona maior dureza para rebolos resinóides e vitrificados.
- AA – Óxido de alumínio branco, ideal para ações especiais, endurecido é extremamente friável.
- PA – Óxido de alumínio rosa, ideal para operações em ferramentaria e cutelaria, proporciona corte frio e quebradiço.
- 2A – Óxido de alumínio bege, mono-cristalino de alta resistência, indicado para corte rápido e operações de precisão.
- DA – Óxido de alumínio branco com mistura de óxido de alumínio marrom, ideal para operações de retífica cilíndrica externa. Une a dureza do grão “A” com a fiabilidade do grão “AA”, tornando-se semi-friável.
- SA – Óxido de alumínio azul, grão cerâmico mais resistente que os grãos convencionais, proporciona alto grau de remoção.
- ZF – Óxido de alumínio cinza, agregado quimicamente ao zircônio, recomendado para aciarias e fundições. Pode ser combinado com carbetto de silício ou óxido de alumínio dependendo da operação.
- NZ – Óxido de alumínio cinza com maior teor de zircônio, indicado em aplicações onde são exigidas remoções pesadas e rápidas, ideal para os discos de corte e desbaste.
- C – Carbetto de silício preto, indicado para as operações em ferro fundido cinzento, lapidação de vidro, etc.

- GC – Carbetos de silício verde, mais macio que o carbetos de silício preto, indicado para operações em aços extremamente duros.
- 2C – Combinação do Carbetos de silício verde e Carbetos de silício preto.
- AC – Combinação de óxido de alumínio marrom e carbetos de silício verde.

f) Diamante e Nitreto de Boro Cúbico

No corte e abrasão de materiais de alta dureza como pedras, concreto, marmoraria, cerâmica, vidro, ligas duras e outros, o diamante é o material abrasivo indicado. Vem tomando o mercado do carbetos de silício devido à constante redução em seu custo de produção e desempenho superior.

As principais aplicações de nitreto de boro cúbico estão no processamento de ferro fundido ou ligas ferrosas de alta dureza onde o diamante não tem bom desempenho devido a sua característica de não-solubilidade no ferro a temperaturas superiores a cerca de 800°C, que é um problema a ser considerado com o diamante.

Apresentamos abaixo um quadro de aplicabilidade desses abrasivos de acordo com a operação e o material abradido:

**Quadro 4.5 - Aplicação de superabrasivos por material e tipo de operação**

MATERIAIS		Tornear	Cortar e retificar	Brunir	Lapidar e Polir	Trefilar	Outros	
METÁLICOS	FERROSOS	aço carbono	c-BN			D	D	
		ferro fundido	c-BN	D/c-BN	D		D	
		aço liga	c-BN	c-BN	c-BN		D	D
		aço ferramenta	c-BN	c-BN	c-BN			D/c-BN
		aço inox	c-BN	c-BN			D	D
		super ligas	c-BN	c-BN			D	D
	NÃO-FERROSOS	cobre e ligas de cobre	D	c-BN			D	
		alumínio, ligas alumínio	D				D	
		metais preciosos	D				D	
		revestimentos metálicos	D				D	
		ligas de zinco	D				D	
		ligas <i>babbitt</i>	D					
		tungstênio	D				D	
NÃO-METÁLICOS	ESPECIAIS	molibdênio					D	
		carbetos de tungstênio	D	D	D	D	D	
		carbetos de titânio		D		D		
		ferrite, ligas magnéticas		D		D		D
		silício	D	D		D		
		germânio		D		D		
		plástico	D	D			D	
		cerâmica	D	D	D	D		D
		carvão, grafite	D	D			D	
		vidro	D	D	D	D		
		rebolos abrasivos, bastões	D	D				D
		pedras preciosas		D		D		
		pedra		D		D		
	concreto		D					
	NATURAIS	borracha	D	D				
		pedra	D	D		D		
		pedras preciosas		D		D		D
		jóias		D		D		D
		madeira	D					

Legenda: D=Diamante c-BN=Nitreto de Boro Cúbico

Fonte: Ferramentas diamantadas Dinser (<http://www.dinser.com.br/cv04.php>)

Os abrasivos quando usados na forma de grãos livres já estão na forma de produto final, portanto seu coeficiente de utilização é de  $1,00 \text{ t/t}_{\text{produto}}$ .

Os demais abrasivos, ligados e revestidos, apresentam-se numa infinidade de tipos, materiais associados (suportes, etc), e composições, tornando impossível o cálculo de seus coeficientes de utilização. Mostraremos a seguir duas estimativas simples apenas para aproximar quais poderiam ser esses coeficientes.

No caso dos abrasivos ligados, tomaremos o exemplo um caso de um disco de óxido de alumínio com ligante resinóide. Segundo König (KÖNIG,1980) a proporção de materiais em volume nesse tipo de disco é de: 40 a 68% de grãos abrasivos, 5 a 24% de material ligante e 17 a 55% de poros. Tomando-se médias 55% de grãos, 15% de ligante e 30% de poros, e considerando as densidades do real de grão não-empolado como cerca de  $2,9 \text{ t/m}^3$  e da resina como cerca de  $1,2 \text{ t/m}^3$  teremos em um  $\text{m}^3$ :

$$m_t = d_g \times v_g + d_l \times v_l + d_p \times v_p = 2,9 \times 0,55 + 1,2 \times 0,15 + 0,30 \times 0 = 1,78 \text{ t, onde:}$$

$d_g$ ,  $d_l$ ,  $d_p$  são as densidades e  $v_g$ ,  $v_l$ ,  $v_p$  os volumes respectivamente dos grãos, ligante e poros e  $m_t$  é a massa total em  $1 \text{ m}^3$ .

Sendo a massa de grãos  $d_g \times v_g = 1,6 \text{ t}$ , temos que o coeficiente de utilização nesse caso é de  $1,6 / 1,78 = 0,90 \text{ t/t}_{\text{produto}}$ .

No caso de abrasivos revestidos, considerando uma lixa com base de  $110 \text{ g/m}^2$ , granulometria P80 (consideraremos a partícula com formato cúbico e aresta média da ordem de  $0,15 \text{ mm}$ ), e recobrimento tipo aberto, de 70%. Estimando se uma aplicação de resina de espessura igual à metade do tamanho do grão e densidade  $1,2 \text{ g/m}^3$ , e utilizando raciocínio semelhante ao do cálculo anterior, teremos cerca de  $300 \text{ g}$  de grãos por  $\text{m}^2$  de lixa e um coeficiente de utilização aproximado de  $0,70 \text{ t/t}_{\text{produto}}$ .

## 5. CONSUMO

### 5.1. Panorama Mundial

Com um grande mercado consumidor, a América do Norte é um grande atrator para exportação de carbetos de silício. De um mercado anual de  $180.000 \text{ t}$ , produz apenas  $35.000 \text{ t}$  (dados de 2007). Para suplementar seu consumo, importa particularmente da China e América do Sul. A presença de um único produtor tende a conservar esse cenário. Importações de *crude* de carbetos de silício foram dominadas pela China (82%) no período de 1997-2000, seguido do Canadá (12%). Com a produção do Canadá terminada em 2001, esperava-se que a América do Sul assumisse sua posição, com uma maior participação chinesa. A importação do *crude* porém seguiu um perfil diferente: a China ainda é o maior fornecedor, mas só com 58%. Os EUA e Europa são responsáveis por cerca de 70,0% do consumo de carbetos de silício no mundo. A Ásia é outro grande consumidor.

Em 1998, o mercado EUA estimado foi de  $300.000 \text{ t}$ , das quais cerca de  $200.000 \text{ t}$  foram utilizadas para adição em ligas. O consumo dos E.U.A desabou entre os anos de 1998 a 2001 com a deterioração da Economia. O mercado é estimado num consumo de  $200.000$ - $250.000 \text{ t/ano}$ , abaixo das  $300.000 \text{ t/ano}$  em 1998 (figura 3.13). No entanto, nos últimos 3 anos, o consumo voltou ao normal com o reaquecimento da economia global, principalmente da indústria bélica em decorrência aos conflitos militares que acentuaram-se neste anos.

O baixo giro da economia na Ásia até 2001-2002 resultou numa diminuição de investimentos no setor de construção civil e grandes projetos. Este cenário vinha mostrando uma

diminuição no consumo de ferro e aço, com conseqüente decréscimo na demanda de refratários e abrasivos. No entanto nos anos de 2003 e 2004 houve um súbito crescimento na economia asiática, liderado pela China. O consumo de aço aumentou de forma inesperada e o crescimento no consumo de refratários e abrasivos atingiu números recordes, o que resultou em alto consumo de carbetos de silício na América do Norte e Sul, grandes exportadores de aço para China. Apenas como referência, o consumo de aço em 2003 foi de 210 milhões de t. Para 2010, têm-se uma previsão de consumo de 330 milhões de ton. de aço (HARRIS IM v.446, 2004). Na Europa é provável que a demanda por refratários permaneça estável e tenha um moderado crescimento, promovendo portanto uma manutenção no consumo atual de carbetos de silício para esta aplicação. No setor de abrasivos, houve um decréscimo de cerca de 20% no consumo de carbetos de silício desde 2000 (BURKE IM v.446, 2004). Por outro lado, houve um considerável aumento no consumo dos superabrasivos. O grande crescimento de consumo do carbetos de silício esperado para os próximos 10 anos será o mercado de cerâmicas avançadas, como o uso em indústrias eletrônicas de alto valor agregado e os substratos/camadas cerâmicas que têm baixo volume no mercado (MORAIS, 2005).

O óxido de alumínio apresenta perfil semelhante, onde a produção norte-americana de 10.000 t/ano exige que o consumo anual de 230.000 t/ano seja praticamente todo suplementado por importações. O Brasil participa com cerca de 18% da importação americana de óxido de alumínio refinado.

Com relação ao diamante, seu consumo tem crescido exponencialmente no mundo todo, em função de seu excelente desempenho e durabilidade, substituindo com vantagens outros tipos de abrasivos, e principalmente da queda vertiginosa dos preços devido à evolução dos processos produtivos do diamante artificial.

## **5.2. Evolução do consumo interno**

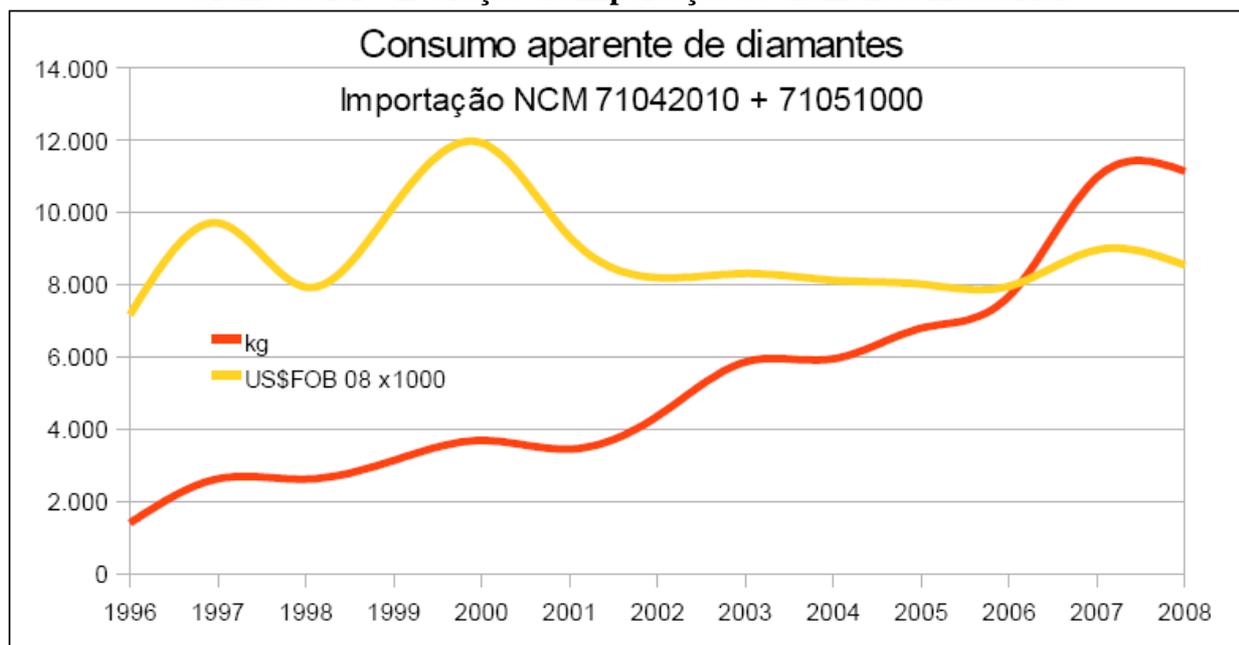
Devido à construção lógica desta seção, os seguintes itens encontram-se inclusos de forma indissociável:

- Projeção do Consumo até 2030
- Correlação dos Períodos Quadrimestrais com o PPA
- Evolução do consumo Interno
- Diamantes

Mostraremos a seguir a evolução e as projeções do consumo aparente de diamantes. Apesar de não haver dados diretos sobre o consumo interno dos diamantes industriais, os mesmos podem ser inferidos por meio dos dados de importações, já que a exportação é nula.

No gráfico 5.1.1 a seguir observamos um alto crescimento no volume consumido, enquanto o valor da importação permaneceu praticamente constante, devido à constante queda dos preços.

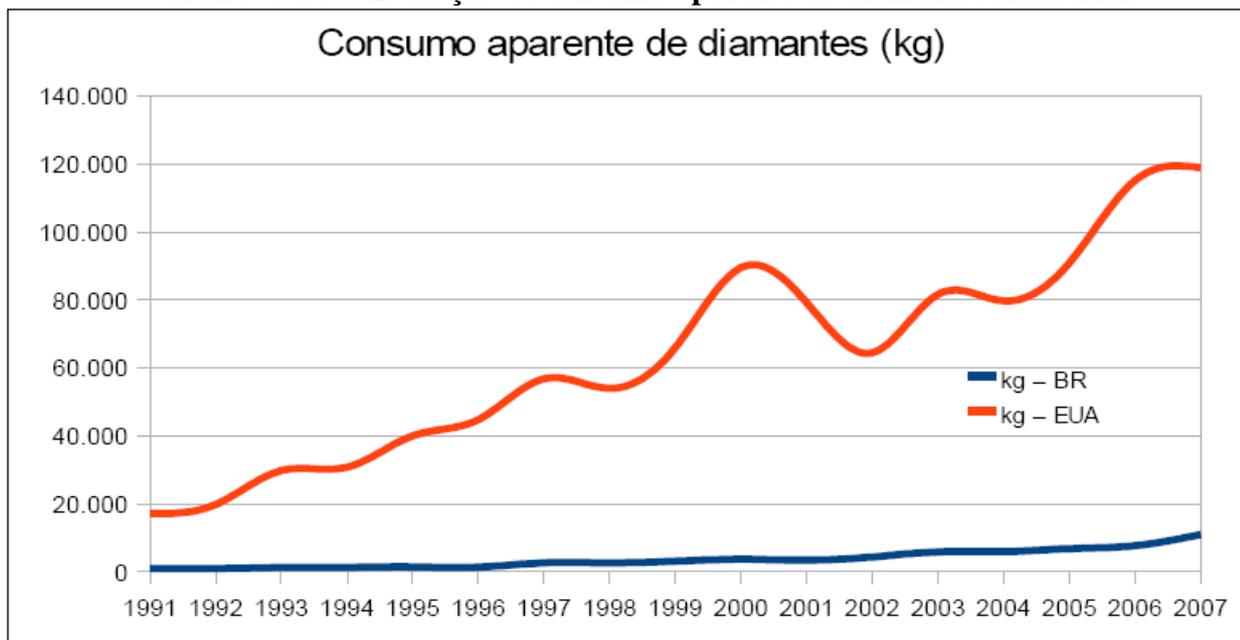
**Gráfico 5.1.1 – Evolução da importação de diamantes industriais**



**Quadro 5.1.2 – Evolução da importação de diamantes industriais**

Consumo de diamantes													
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
kg	1.407	2.629	2.620	3.138	3.692	3.451	4.365	5.866	5.952	6.800	7.691	10.979	11.143
US\$FOB 08 x1000	7.170	9.715	7.935	10.183	11.932	9.327	8.200	8.315	8.129	8.020	7.968	8.969	8.549

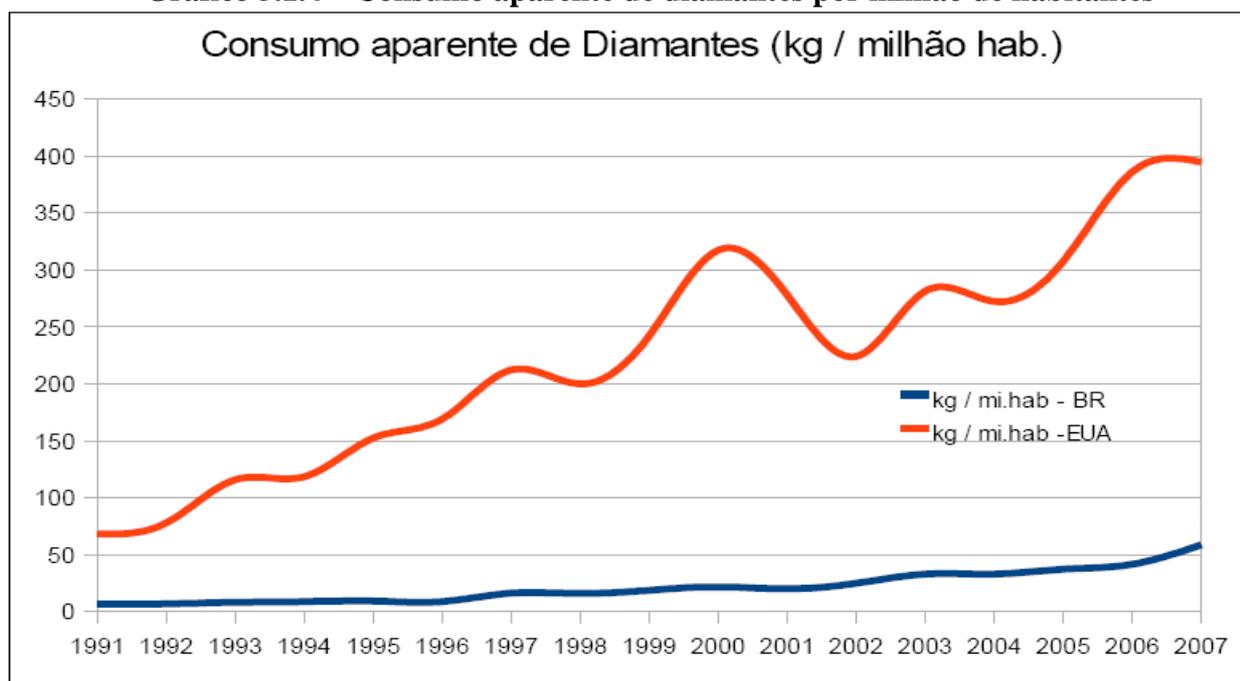
**Gráfico 5.1.3 – Evolução do consumo aparente de diamantes industriais**



**Quadro 5.1.4 – Evolução do consumo aparente de diamantes industriais**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
kg - BR	974	1.008	1.245	1.350	1.462	1.407	2.629	2.620	3.138	3.692	3.451	4.365	5.866	5.952	6.800	7.691	10.979
kg - EUA	17.200	19.800	29.800	30.800	40.000	44.800	56.800	54.000	66.000	89.520	79.218	64.460	81.620	79.724	90.900	115.152	118.885

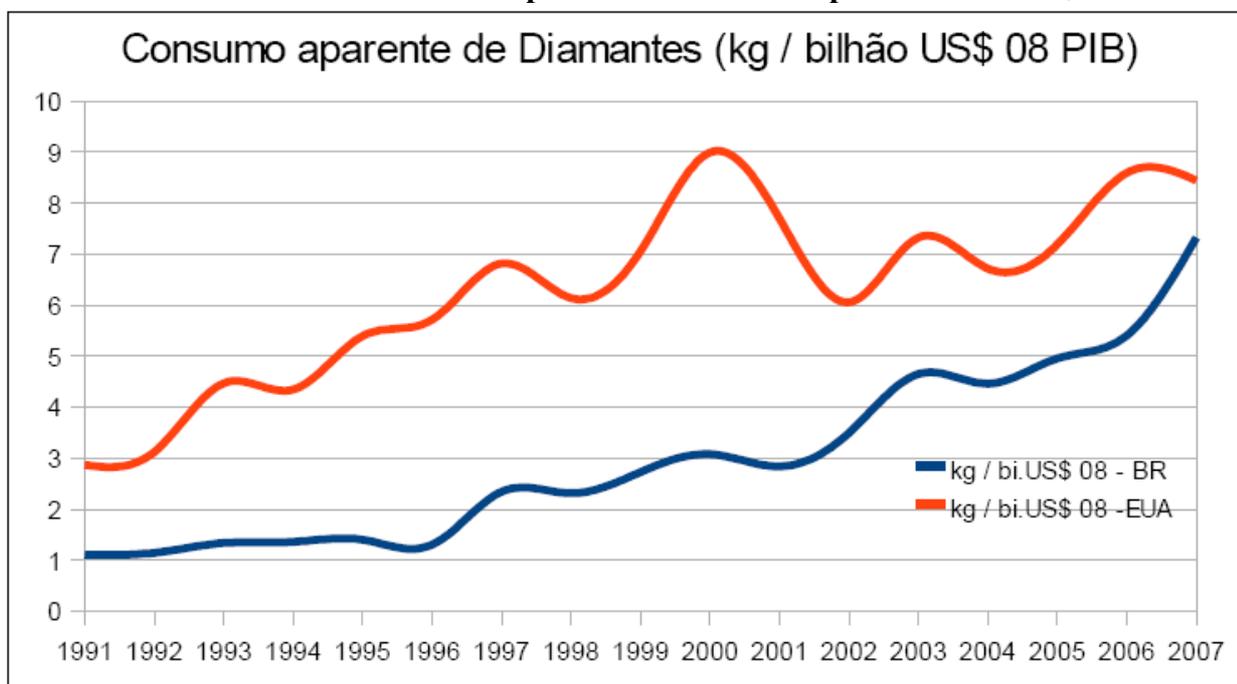
**Gráfico 5.1.4 – Consumo aparente de diamantes por milhão de habitantes**



**Quadro 5.1.5 – Consumo aparente de diamantes por milhão de habitantes**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
kg / mi.hab - BR	6,53	6,65	8,09	8,63	9,2	8,72	16,05	15,76	18,6	21,56	19,86	24,76	32,82	32,86	37,08	41,45	58,51
kg / mi.hab -EUA	68,21	77,64	115,6	118,31	152,21	168,91	212,11	199,82	242,03	317,25	277,92	224,03	281,24	272,2	307,55	385,94	394,59

**Gráfico 5.1.6 – Consumo aparente de diamantes por bilhão de US\$ PIB**



**Quadro 5.1.7 – Consumo aparente de diamantes por bilhão de US\$ PIB**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
kg / bi.US\$ 08 - BR	1,11	1,15	1,34	1,36	1,4	1,31	2,34	2,31	2,73	3,08	2,84	3,5	4,65	4,46	4,96	5,41	7,32
kg / bi.US\$ 08 -EUA	2,87	3,12	4,47	4,35	5,39	5,72	6,82	6,14	7,06	9	7,7	6,06	7,33	6,72	7,19	8,59	8,44

No gráfico 5.1.1 e quadro 5.1.2 observamos a evolução do consumo de diamantes no Brasil, em volume e valor. A seguir no gráfico 5.1.3 e quadro 5.1.4 em uma comparação direta aos volumes dos Estados Unidos. Em seguida comparamos no gráfico 5.1.3 e quadro 5.1.4 o consumo específico por milhão de habitantes e logo após no gráfico 5.1.6 e quadro 5.1.7 o consumo específico por bilhão de PIB em US\$ 08.

Observamos que, se por um lado ainda estamos muito distantes dos Estados Unidos seja em consumo absoluto ou mesmo per capita (lembrando que o PIB per capita americano é cerca de 6 vezes superior ao brasileiro), observamos uma rápida aproximação quando comparamos a intensidade de uso, em volume/PIB.

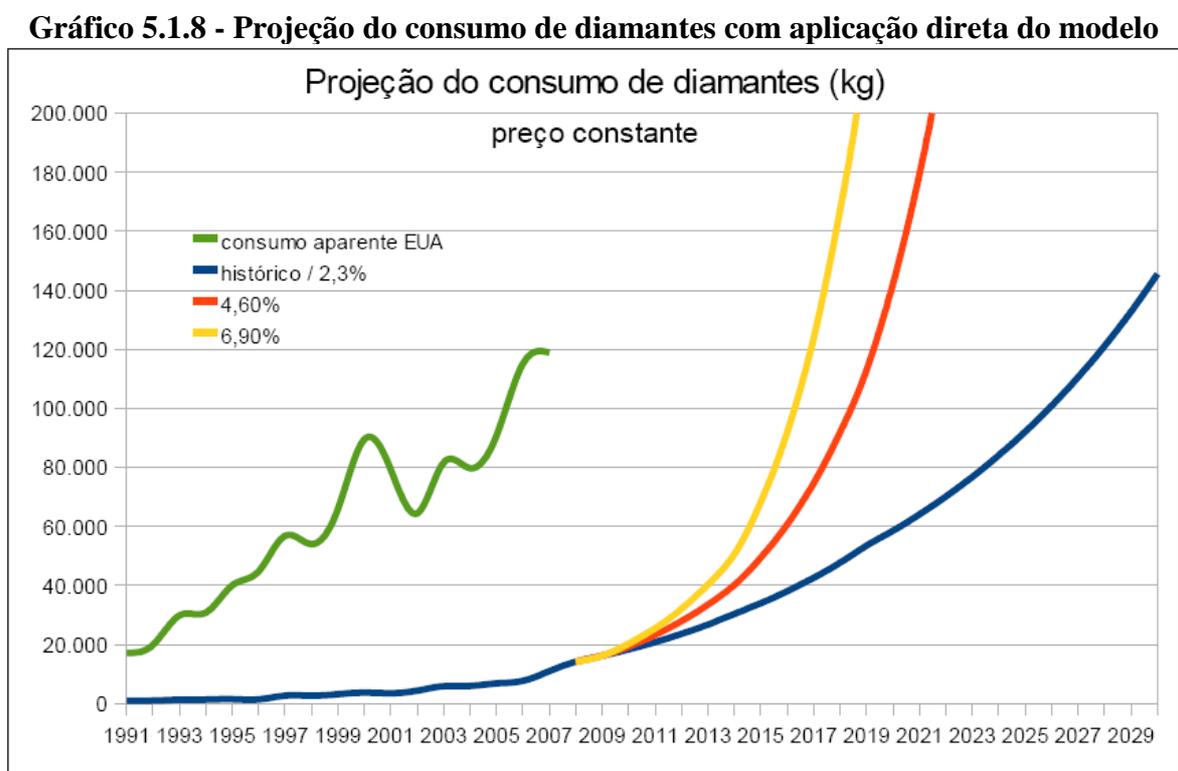
A seguir aplicamos a metodologia de projeção de consumo, utilizando a fórmula obtida na regressão linear múltipla das variáveis:

- PIB: cenários frágil – 2,3% a.a., vigoroso - 4,6% a.a. e inovador – 6,9% a.a.
- Preço: preço de importação do diamante nos EUA<sup>1</sup> em US\$ 08
- Preço do substituto: Preço do Carbetto de Silício no mercado internacional (USGS)
- Tecnologia: Variável proxy, foi usado o tempo em base inicial 1 e incrementos de 1 ano.

Equação do modelo:

$$\log(\text{IU}) = -11,3213999 + 3,84130938 * \log(\text{PIB}) - 0,19641645 * \log(\text{PRECO}) + 0,27362158 * \log(\text{PRECO.SUBS.}) - 0,16729427 * \log(\text{TECNOLOGIA})$$

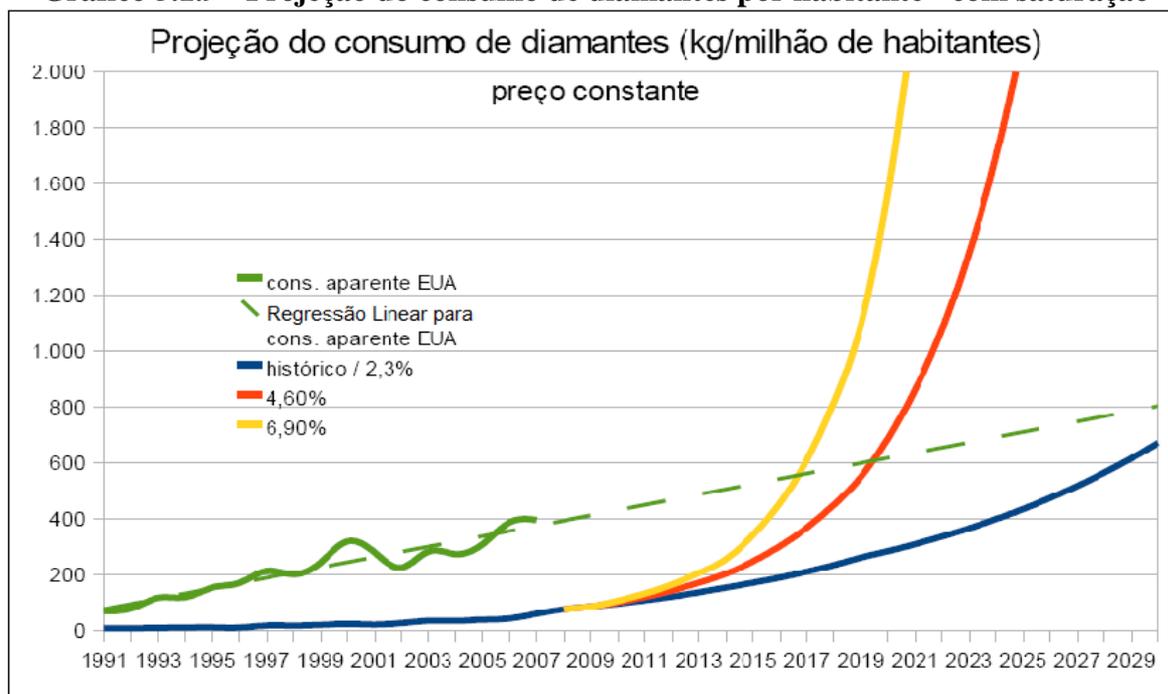
O resultado é o gráfico 5.1.8 a seguir:



Seguindo a metodologia, buscamos no consumo per capita americano uma proxy para o ponto de saturação do mercado brasileiro, o que apresentamos em seguida:

<sup>1</sup> Devido ao comportamento mais regular da queda de preços no mercado internacional representado pelo preço de importação nos EUA. Verifique o gráfico 3.2.3.

**Gráfico 5.1.9 - Projeção do consumo de diamantes por habitante - com saturação**



Os consumos aumentariam de acordo com os cenários considerados aproximando-se assintoticamente da linha verde tracejada, limite de saturação do mercado.

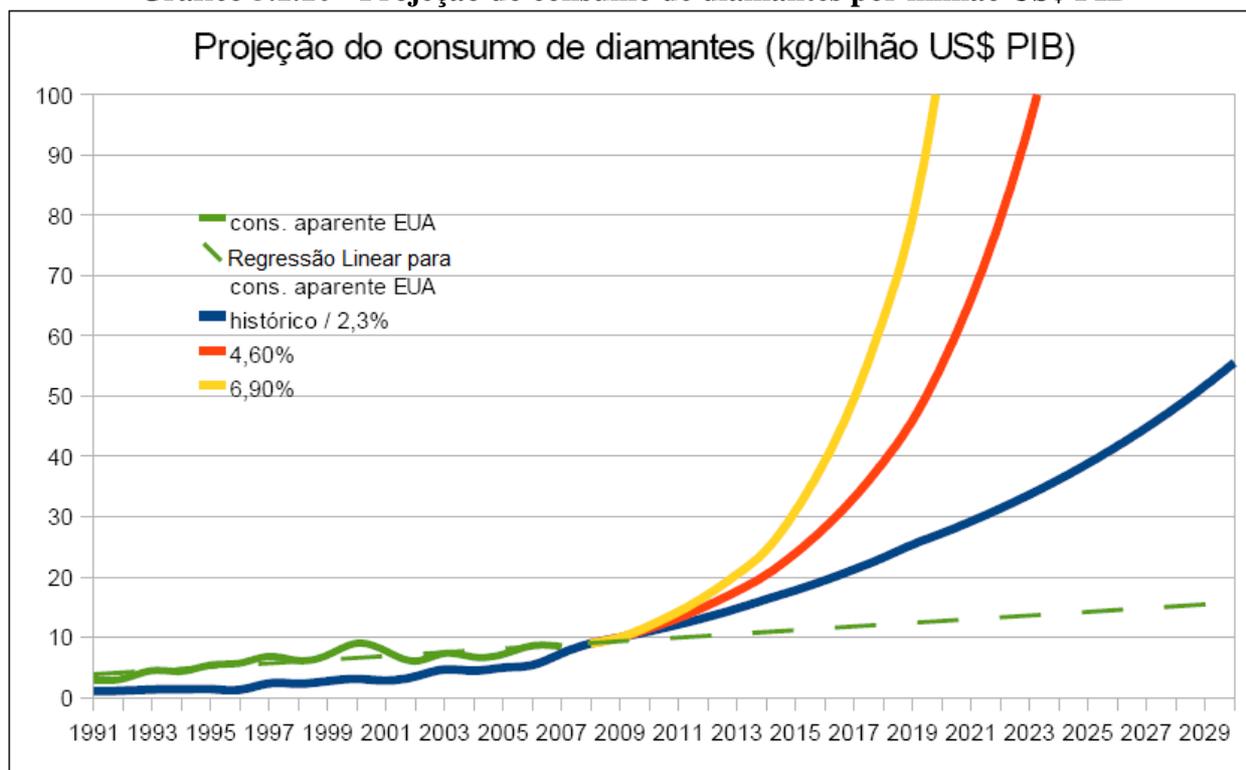
Considerando-se, por exemplo, o cenário vigoroso, os dados nos permitiriam calcular o consumo em 2020 em cerca de 600 kg/milhão de habitantes, o que resultaria em 126.000 kg totais, utilizando-se a população estimada de 210 milhões de habitantes para aquele ano. A partir de 2020, acompanharia a linha de saturação do mercado.

Por outro lado, tal estimativa parece demasiado otimista, visto que o PIB per capita estadunidense é cerca de 6 vezes maior que o brasileiro. Dessa forma, a próxima estimativa encontra-se normalizada pelo PIB e não pela população.

A justificativa pode ser encontrada no gráfico 5.1.6, onde verificamos a convergência dos dois países no consumo de diamantes quando normalizado pelo PIB. Entendemos isso como uma demonstração de que o perfil tecnológico de nossa indústria em termos de aplicações de abrasivos é semelhante à da indústria norte-americana.

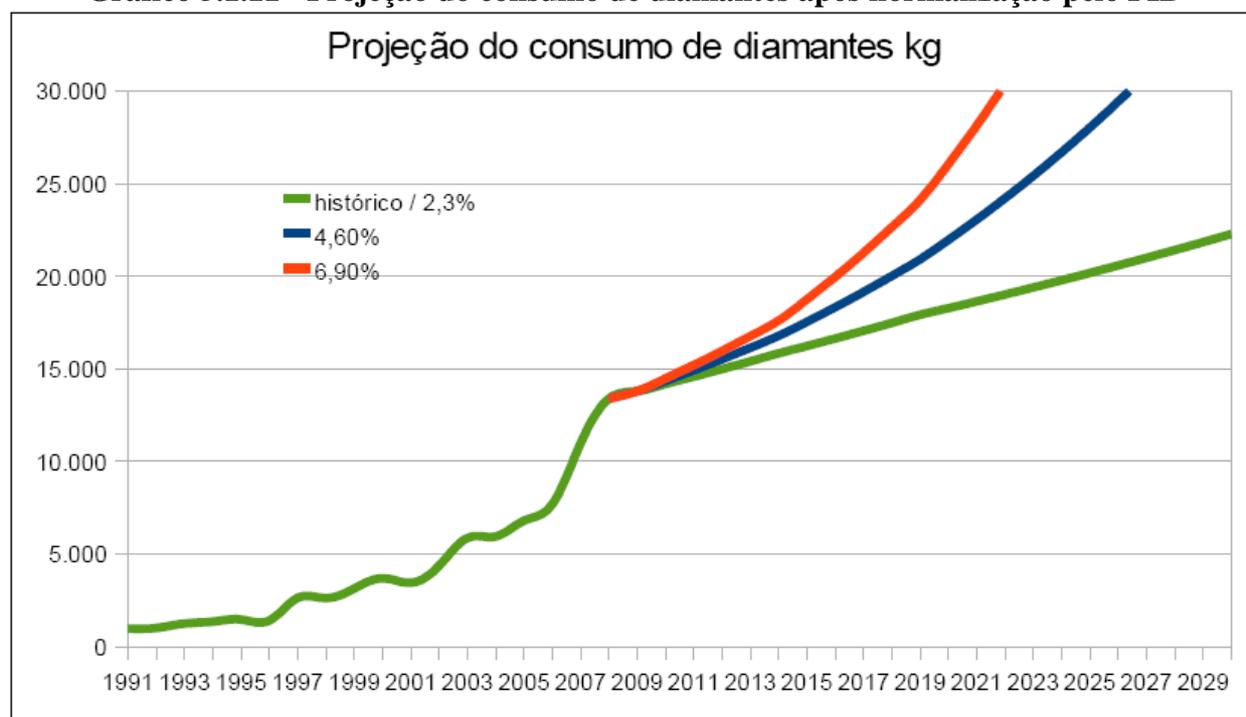
Apresentamos a seguir as projeções do consumo de diamantes normalizadas pelo PIB:

**Gráfico 5.1.10 - Projeção do consumo de diamantes por milhão US\$ PIB**



Observamos aqui que por volta de 2008 a 2009 as curvas de projeção já encontram a proxy de saturação, confirmando o que vemos no gráfico 5.1.6. Nesse ponto, o consumo específico por bilhão de US\$ 08 é de 8,5 kg aproximadamente.

**Gráfico 5.1.11 - Projeção do consumo de diamantes após normalização pelo PIB**



Temos, portanto no gráfico 5.1.11 as projeções dos 3 cenários do PIB brasileiro aplicados a esse consumo específico para projetar os consumos em kg/ano. A linha de projeção do cenário vigoroso parece ser uma continuidade natural da evolução histórica do PIB. Comparativamente, se observarmos o consumo projetado pelo cenário vigoroso para o ano de 2020 encontraremos cerca de 21.000 kg, que é 1/6 do consumo projetado pela população, coerente com a diferença de PIB per capita entre as economias estadunidense e brasileira.

Caso haja uma variação do PIB per capita brasileiro, o consumo de diamantes deve acompanhá-la proporcionalmente.

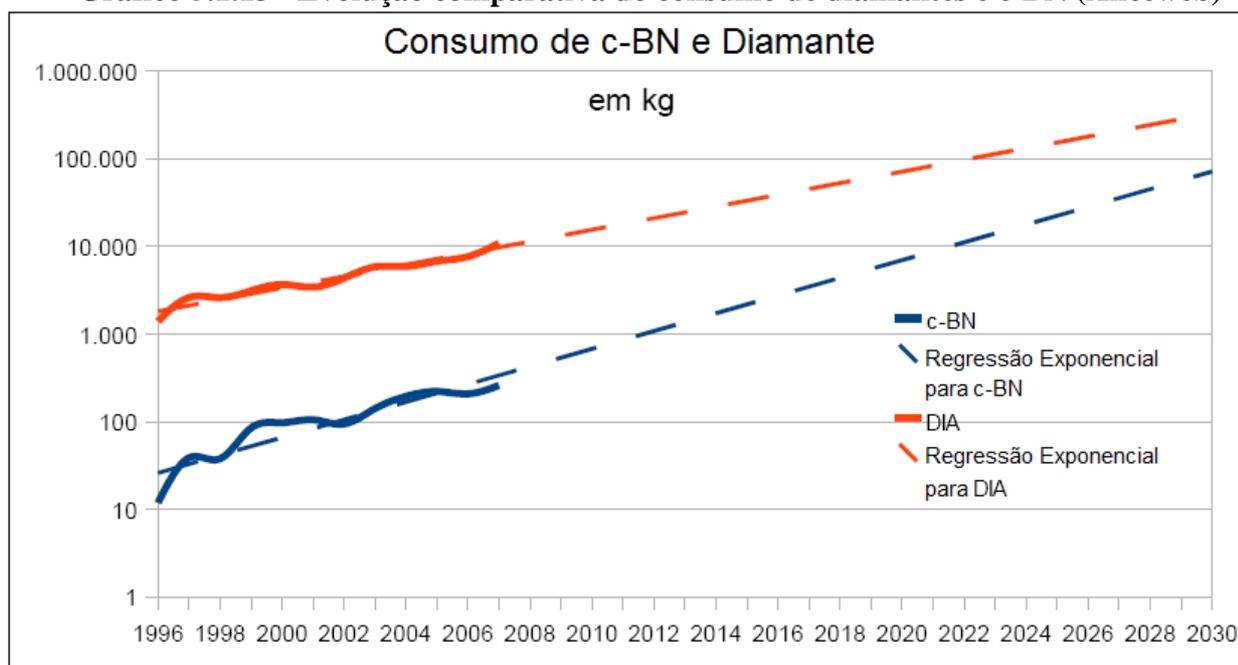
**Quadro 5.1.12 - Correlação dos períodos quadrimestrais com o PPA**

Consumo aparente (kg)		8.549 kg de diamantes		
Cenários		2008	2008	2008
		Frágil	Vigoroso	Inovador
Crescimento do PIB		2,3 % a.a.	4,6% a.a.	6,9% a.a.
Consumo aparente (projetado)	2010	14.183	14.349	14.487
Consumo aparente (projetado)	2030	22.283	35.777	56.251
Períodos quadrienais dos PPA's		ano final		
2008-2011	2011	13.989	14.116	14.222
2012-2015	2015	15.618	16.497	17.276
2016-2019	2019	17.276	19.605	22.005
2020-2023	2023	18.835	23.667	29.352
2024-2027	2027	20.388	28.768	39.933
2028-2031	2031	22.068	34.967	54.329

- Nitreto de Boro Cúbico (c-BN)

Como já mencionado, não há estatística de consumo nitreto de boro cúbico isolado de sua variedade hexagonal. Desta forma, apenas a título de informação e ilustração de tendências, apresentamos uma simples projeção do consumo comparativamente ao diamante. Aqui utilizaremos como proxy da tendência de consumo nacional de c-BN, o volume de importações da Irlanda no período de interesse. Será aplicada uma projeção exponencial e os dados serão apresentados em escala logarítmica para compensar a diferença de ordens de grandeza nos volumes e facilitar a comparação das tendências.

**Gráfico 5.1.13 - Evolução comparativa do consumo de diamantes e c-BN (Aliceweb)**



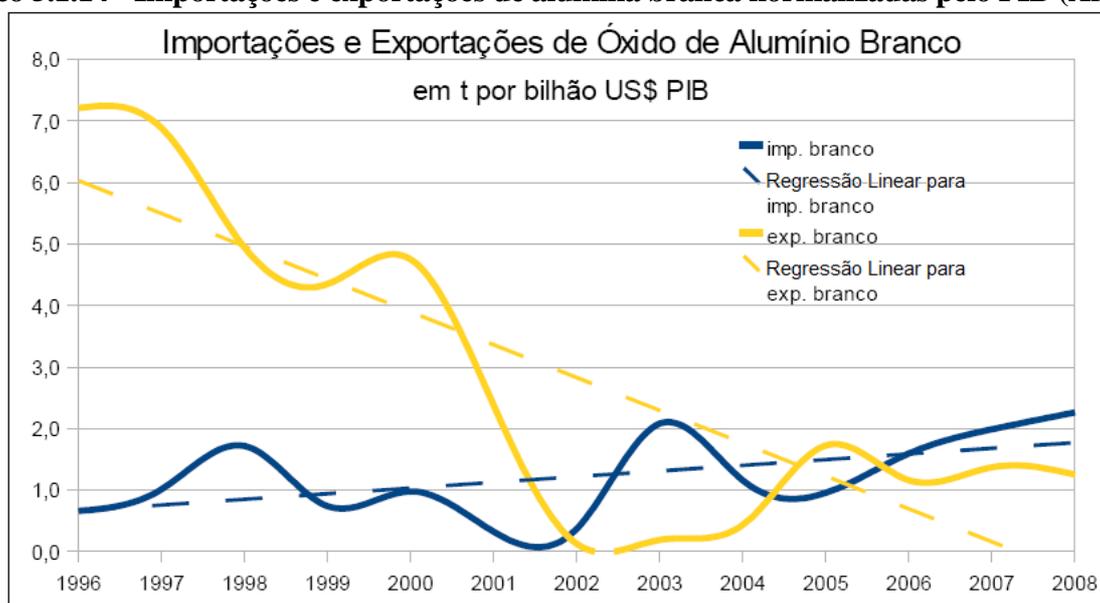
Verificamos, portanto que a tendência de aumento de consumo do c-BN é ainda maior que a do diamante, embora os volumes absolutos atualmente ainda sejam de mais de uma ordem de grandeza menores.

- Óxido de Alumínio e Carbeto de Silício

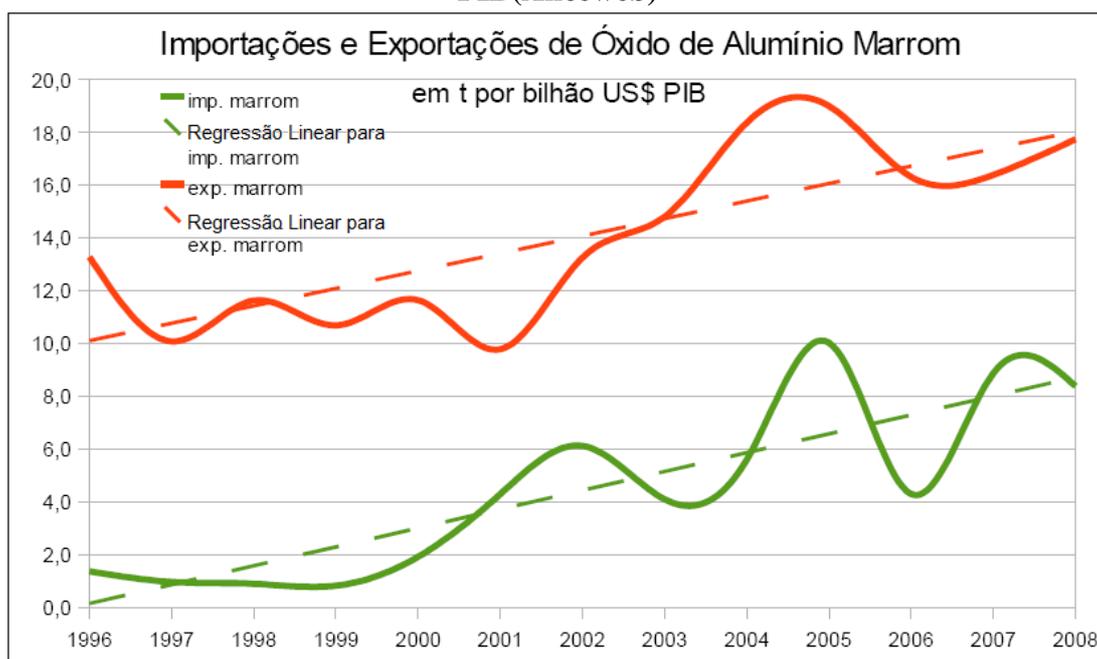
Devido à impossibilidade de se encontrar dados sobre o consumo histórico de carbeto de silício, óxido de alumínio e nitreto de boro cúbico, não será possível aplicar a metodologia de projeção de consumo sugerida a esses produtos. Apresentaremos alternativamente algumas outras informações que julgamos pertinentes ao entendimento dos movimentos do mercado.

A seguir apresentamos a evolução das importações e exportações de óxido de alumínio branco (alta pureza) e marrom (regular), normalizadas pelo PIB:

**Gráfico 5.1.14 - Importações e exportações de alumina branca normalizadas pelo PIB (Aliceweb)**



**Gráfico 5.1.15 - Importações e exportações de alumina marrom normalizadas pelo PIB(Aliceweb)**



**Quadro 5.1.16 - Dados usados nos gráficos 5.1.15 e 5.1.16**

Toneladas de óxido de alumínio por bilhão US\$ PIB													
Período	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
imp. branco	0,7	1,0	1,7	0,7	1,0	0,3	0,4	2,1	1,2	1,0	1,6	2,0	2,3
imp. marrom	1,4	1,0	0,9	0,8	1,9	4,3	6,1	4,1	5,6	10,0	4,3	8,9	8,4
exp. branco	7,2	6,9	4,9	4,3	4,7	2,4	0,1	0,2	0,4	1,7	1,2	1,4	1,3
exp. marrom	13,3	10,1	11,6	10,7	11,6	9,8	13,3	14,8	18,4	19,0	16,3	16,4	17,7

Analisando gráfico 5.1.15 percebemos um forte decréscimo da exportação do óxido de alumínio branco e um ligeiro aumento da importação. Sem dados de consumo interno, a impressão é de que o volume total movimentado também decresce.

Aqui é necessário aprofundar a análise para entender se estamos diante de perda do mercado internacional devido a preço ou qualidade do produto nacional, se está havendo substituição do óxido de alumínio branco por diamante ou c-BN, sendo a importação relativa a outras variedades de melhor tecnologia, se houve aumento no consumo interno, absorvendo o excedente anteriormente exportado ou ainda se houve desvio da capacidade produtiva para o óxido de alumínio marrom.

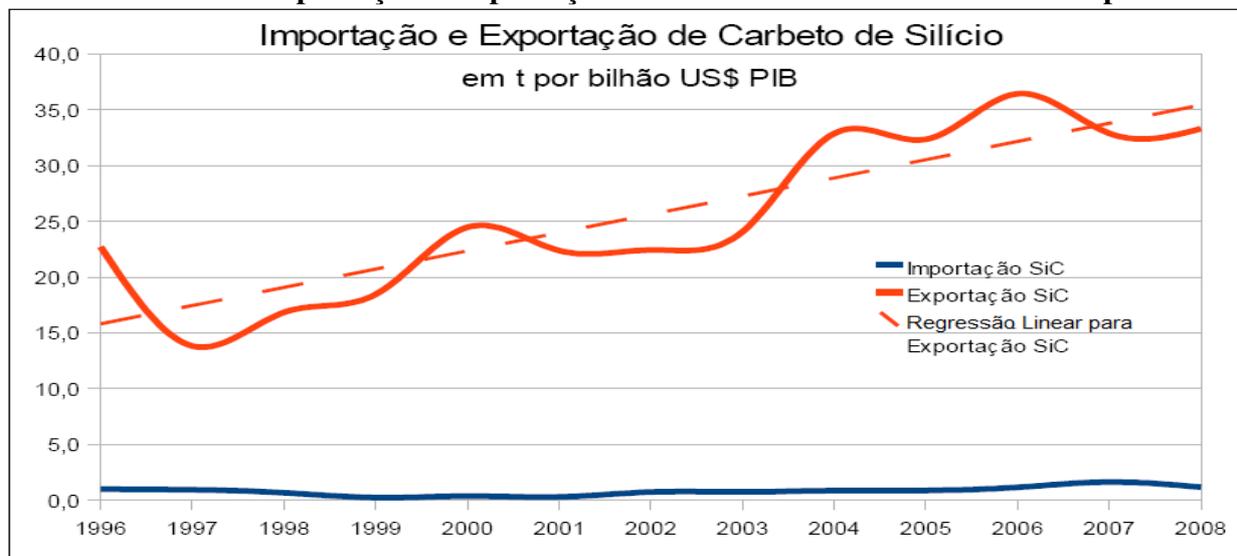
Podemos verificar no gráfico 3.2.1 que o preço desse produto tem permanecido relativamente estável ao longo dos últimos anos.

Já no gráfico 5.1.16, encontramos um quadro muito diferente para o óxido de alumínio marrom. A tendência tem sido de vigoroso crescimento, tanto na exportação como na importação. Isso indica que provavelmente o consumo interno está seguindo a mesma tendência. A justificativa é que o óxido de alumínio marrom tem substituído vários abrasivos de origem natural por seu melhor desempenho e, como se verifica no gráfico 3.2.1, seu preço tem caído de forma acentuada nos últimos anos.

A capacidade produtiva mundial tem crescido como um todo, como ilustrado no gráfico 3.1.1, com forte aumento da participação chinesa cuja produção se restringe basicamente à variedade marrom.

Da mesma forma para o carbeto de silício, devido à inexistência de informações de consumo doméstico, mostramos a seguir a evolução de suas importações e exportações, normalizada pelo PIB.

**Gráfico 5.1.16 - Importações e exportações de carbeto de silício normalizadas pelo PIB**



**Quadro 5.1.17 - Importações e exportações de carbeto de silício normalizadas pelo PIB**

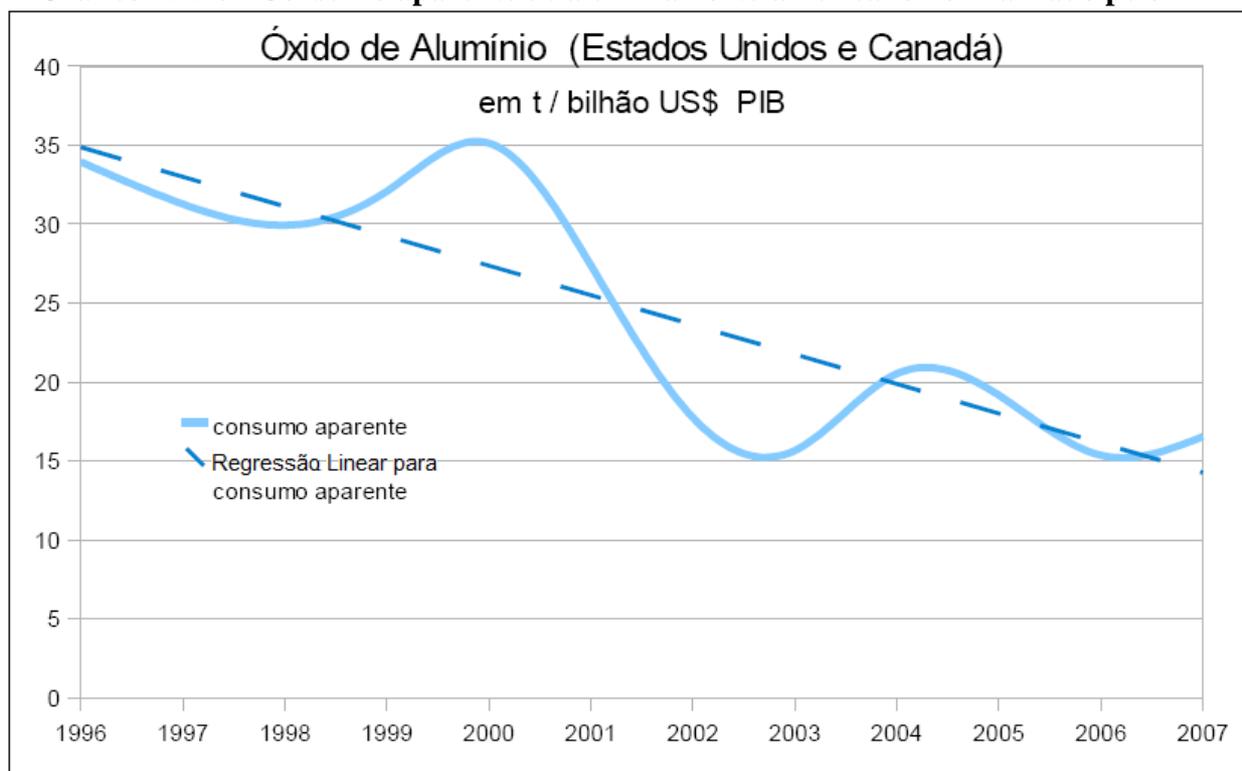
Toneladas de carbeto de silício por bilhão US\$ PIB													
Período	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Importação SiC	1,0	0,9	0,7	0,2	0,4	0,3	0,7	0,7	0,9	0,9	1,2	1,6	1,2
Exportação SiC	22,7	13,8	16,8	18,5	24,5	22,4	22,4	24,1	32,9	32,4	36,5	32,9	33,3

Verificamos uma importação pequena e constante, que se trata do carbeto de silício fino (microgrãos), para o qual a qualidade do produto importado é superior à do nacional.

Quanto ao crescimento da exportação, não há como saber qual a participação do carbeto de silício de grau abrasivo, seja verde ou preto, já que a estatística não o distingue dos demais graus, metalúrgico e refratário. Tal crescimento pode se dever inclusive à substituição de importações nos Estados Unidos. Devido porém à perda de espaço do carbeto de silício abrasivo frente ao diamante em suas granulometrias mais grossas, e recentemente também nas mais finas, e o surgimento de novas aplicações não abrasivas na área de eletrônica e outras, a indicação é de que o crescimento não se deva ao grau abrasivo.

Devido à semelhança do perfil de consumo de abrasivos da indústria norte americana com a brasileira, deduzida a partir do caso dos diamantes (gráfico 5.1.6), pode-se tentar aproximar a evolução do consumo aparente brasileiro de óxido de alumínio e carbeto de silício, normalizadas pelo PIB, a partir dos dados do consumo aparente norte americano. É o que mostramos nos gráficos 5.1.18 e 5.1.20 a seguir.

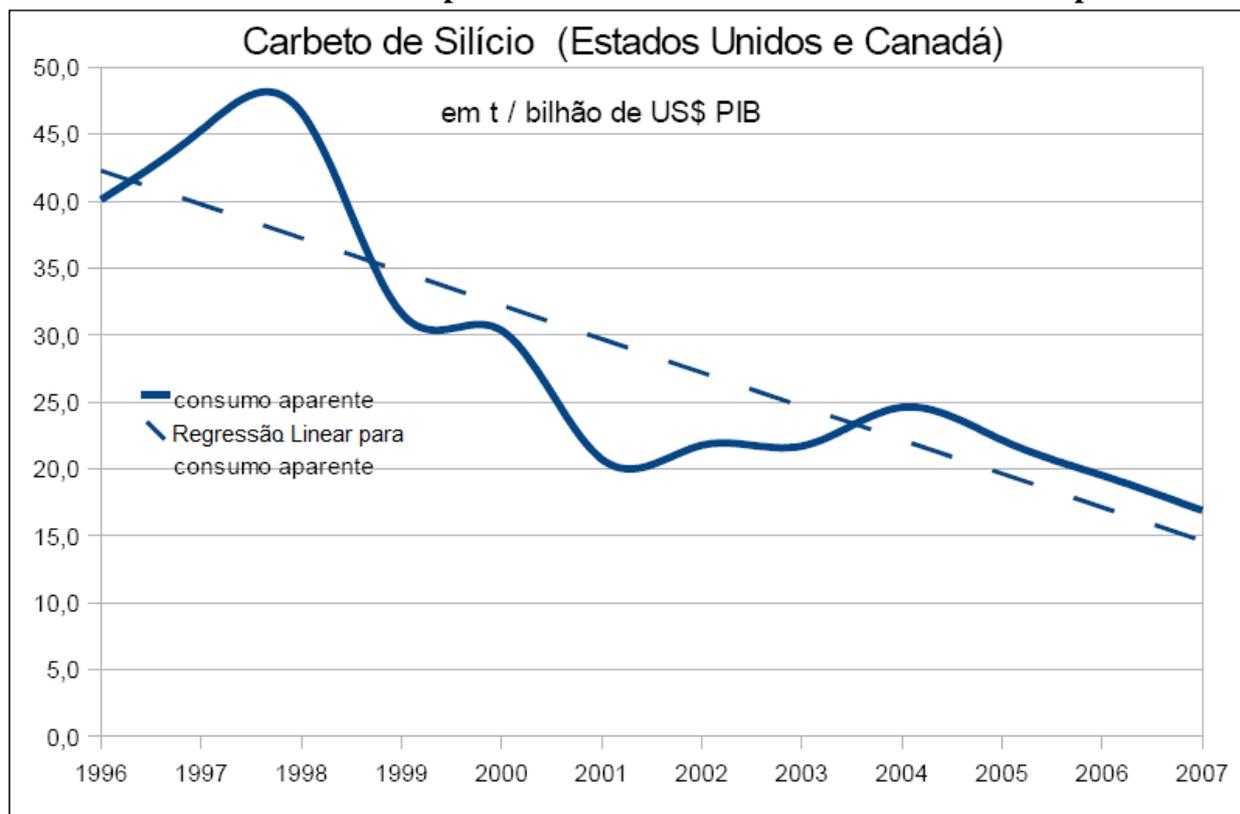
**Gráfico 5.1.18 - Consumo aparente de alumina norte-americano normalizado pelo PIB**



**Quadro 5.1.19 - Consumo aparente de alumina norte-americano normalizado pelo PIB**

ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
consumo/bilhão US\$ PIB	33,95	31,28	29,93	32,09	35,14	27,4	17,74	15,67	20,53	19,16	15,36	16,54

**Gráfico 5.1.20 - Consumo aparente de SiC norte-americano normalizado pelo PIB**



**Quadro 5.1.21 - Consumo aparente de SiC norte-americano normalizado pelo PIB**

ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
consumo/bilhão US\$ PIB	40,12	45,3	46,65	31,64	30,35	20,73	21,76	21,7	24,6	22,15	19,51	16,89

Podemos observar em ambos os casos um acentuado declínio na intensidade de uso tanto do óxido de alumínio quanto do carbeto de silício, com uma redução de aproximadamente 50% em cerca de uma década, correspondendo aproximadamente a 7,0% ao ano.

A conversão dos valores mostrados para o caso brasileiro é trivial, bastando a multiplicação pelo PIB brasileiro, porém temerário. A análise mostrada acima tem o intuito apenas de mostrar tendências, são se constituindo em base confiável para elaborar projeções.

## 6. PRODUÇÃO

- Diamantes e Nitreto de boro Cúbico

O Brasil não é produtor de diamantes industriais ou de nitreto de boro cúbico.

Da produção nacional de diamantes, apenas uma fração não significativa tem uso como diamantes industrial, sendo que a quase totalidade tem uso gemológico.

- Carbeto de Silício e Óxido de Alumínio

### 6.1. Panorama Mundial

A China está isolada na liderança da produção mundial de carbeto de silício (vide gráfico 3.1), principalmente no que se refere ao grau metalúrgico. A capacidade mundial é de cerca de 1,238 milhões de toneladas e a produção atual é cerca de 984 mil toneladas, o que resulta em um

índice de utilização de 80%. Em 2007 a produção foi de 870.000t, sendo a China responsável por 56%, a América Latina por 14% e a Europa Ocidental por 9,8% do total (siliconcarbideandmore). A Tabela 3.6 mostra a capacidade de produção excluindo-se plantas chinesas. Grande parte dessas empresas é de propriedade do grupo Saint Gobain, multinacional de origem francesa e líder mundial na produção. O Brasil é o segundo maior produtor de carbeto de silício no mundo. Responsável por 85% da produção nacional, a Saint Gobain é o maior produtor brasileiro.

**Tabela 6.1 - Maiores fabricantes mundiais de SiC - sem a China**

Fabricante	Pais	Capacidade ( mil ton. )
Norton AS*	Noruega	65.000,00
Exolon-ESK	USA	50.000,00
ESK	Holanda	65.000,00
Casil*	Brasil	60.000,00
ZAC	Ucrânia	30.000,00
Yakushima Denko	Japão	24.000,00
Navarro	Espanha	20.000,00
Norton*	Venezuela	20.000,00
Elmet	Mexico	20.000,00
Sicven*	Venezuela	15.000,00
Orkla Exolon	Noruega	15.000,00
Treibacher	Brasil	15.000,00
Pacific Rundum	Japão	7.000,00
<b>Total</b>		<b>403.000,00</b>

\* empresas pertencentes ao Grupo Saint Gobain

A capacidade global de produção da Saint Gobain em 2009 é de 200.000 t/ano (Silicon Carbide & More #24 July 2008), tendo sido a única empresa do ramo consolidada no Ocidente a estabilizar uma planta de produção na China, com capacidade de produção de 10.000 t/ano, a Norton Qinghai LTDa (HARRIS IM v.423, 2002).

A Saint Gobain opera duas fábricas de carbeto de silício na Noruega, com uma capacidade total de 65.000 t/ano. Em 1999, a empresa adquiriu a planta da Casil no Brasil.

Opera também duas plantas em Puerto Ordaz na Venezuela, a Indústria Norton da Venezuela CA tendo também adquirido a Carbeto de Silício da Venezuela AS ( Sieven ). A companhia vem adquirindo ativos de carbeto de silício da Sieven e da beneficiadora de minerais *Mineralien-Werke Kuppenheim GmbH* na Alemanha desde 2000.

A Saint Gobain também comprou o produtor de produtos abrasivos e refratários Fabryka Materialow I Wyrobow Sciernych “Korund” AS mas encerrou parte dos negócios de carbeto de silício. Encerrou também a produção de crude, cerca de 40.000 t/ano, da Shawinigan, em Quebec – Canadá. Ainda possui uma unidade de processamento em Worcester, Massachusetts. Após o encerramento da produção na planta canadense, a Saint Gobain voltou seus investimentos para a produção na Casil – Brasil, onde os custos são mais baixos. Segundo a publicação da Silicon Carbide & More número 3 (HARRIS SC&M v.3, 2003), a Saint Gobain tinha planos de aumentar a capacidade da Casil ainda em 2004. Este aumento ocorreu, com um acréscimo de mais de 10.000 t/ano. Isto tornou a Casil a maior fábrica de carbeto de silício no mundo atualmente, apesar da informação ainda não ter sido confirmada formalmente pela literatura.

Na América do Norte, permanece apenas a Washington Mills (W.M.) Exolon como produtor de crude (BURKE IM v.444, 2004).

Algumas mudanças no cenário mundial na produção de carbetos de silício vêm ocorrendo nos últimos anos. Uma delas foi em 2001, na qual viu-se a Wacker-Chemie finalmente finalizar a venda dos interesses da Exolon-ESK para a W.M. nos EUA (agosto 2001, por US\$ 13 milhões de dólares) e venda de 100% da Orkla Exolon também para a W.M. na Noruega em Agosto de 2004 (BURKE IM v.444, 2004).

A maior mudança ocorreu com a venda da fábrica de crude da ESK – Elektroschmelzwerk Delfzil (ESD) para a Kolo Holdings Inc. em agosto de 2004 (BURKE IM v.446, 2004; HARRIS SC&M v.7, 2004; HARRIS IM v.445, 2004). A ESD é considerada o estado da arte na produção de carbetos de silício. Por outro lado, a ESK comprou 25% da Sublime na África do Sul em Maio de 2004. Para esta planta, já há um plano de investimentos para aumento da produção, em cerca de 25.000 t/ano, para os próximos dois anos. Atualmente esta planta na África do Sul divide com a ESD o posto de mais moderna fábrica de carbetos de silício no mundo, principalmente por ter iniciado as atividades em 2003 (HARRIS SC&M v.6, 2004).

Na Europa, um marco importante foi o início em 2004 da produção de grãos de carbetos de silício para refratários e abrasivos norma FEPA, na planta da Elsid, na Romênia. A produção está prevista para 10.000 t/ano, sendo 3.000 t de grãos FEPA e 7.000 de refratários. Antes, esta unidade apenas vendia o carbetos de silício para aplicação metalúrgica, pois não fazia a separação da pedra (HARRIS SC&M v.4, 2004). No ano de 2004 a produção foi cerca de 60.000 t de carbetos de silício grau metalúrgico.

A Navarro, na Espanha, utiliza tratamento com jatos de ar durante o beneficiamento para limpeza do grão e por isso tem se destacado pela alta qualidade do carbetos de silício que produz. Iniciou recentemente mais uma linha de processamento com capacidade de 10.000 t/ano com essa mesma tecnologia de limpeza de grãos (KENNEDY, 2003).

A produção na China está provocando um aumento na quantidade de carbetos de silício grau metalúrgico, bastante procurado no mercado, mas está instabilizando o comércio do carbetos de silício cristal pelos baixos preços praticados. O material chinês que vinha conseguindo uma boa penetração no mercado americano, perdeu sua posição nos últimos anos (HARRIS SC&M v.7, 2004), tem sido bloqueado pelo no mercado Europeu devido a taxações *anti-dumping* (LOUGHBROUGH, 1994; MORAIS, 2005).

## **6.2. Evolução da Produção Interna**

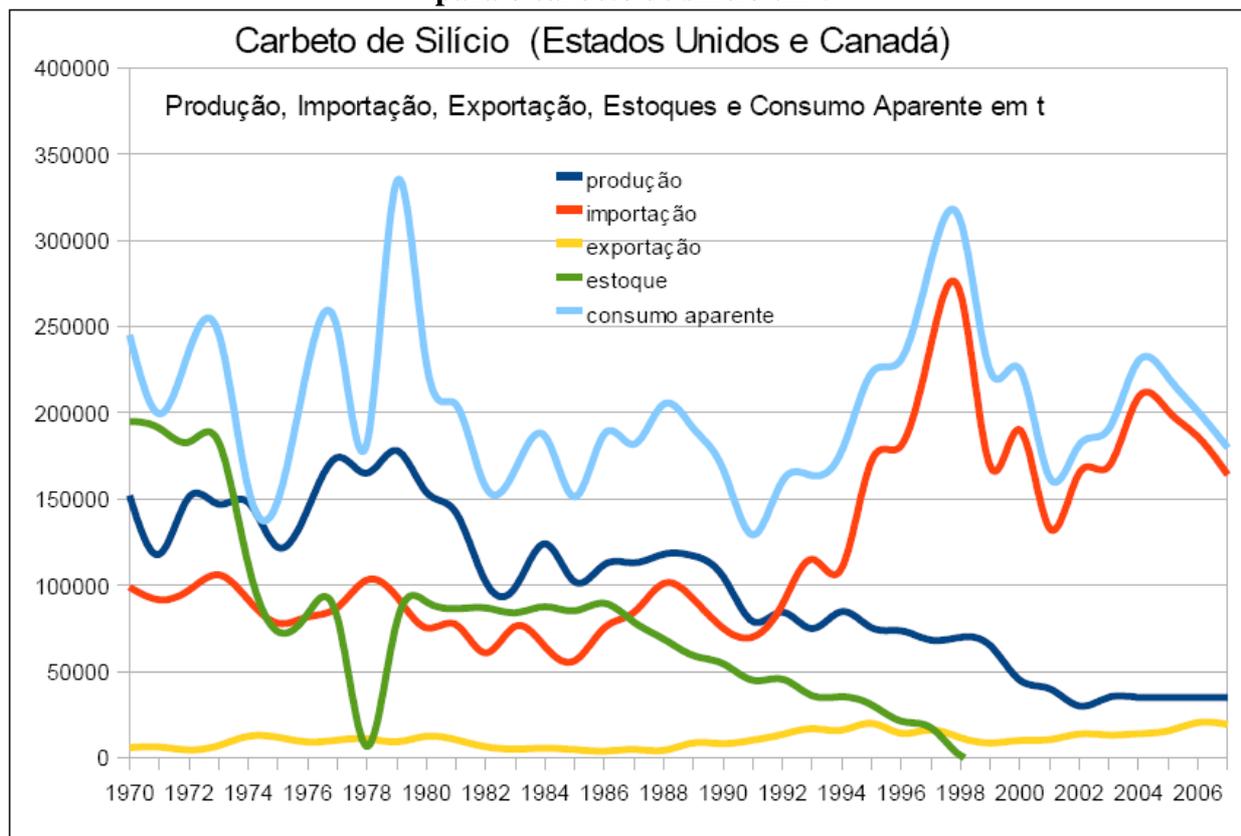
Não havendo dados disponíveis sobre a produção interna real, remetemos o leitor à seção 3.1, onde são mostradas as capacidades instaladas no Brasil frente às de outros países.

Apesar da semelhança do perfil de consumo de abrasivos da indústria norte americana com a brasileira no caso dos diamantes, anteriormente discutida, não é possível usar a produção norte-americana de óxido de alumínio e carbetos de silício, normalizadas pelo PIB, como proxy da evolução de nossa produção devido ao deslocamento da produção para países de menor custo e exigências de leis ambientais. Podemos verificar essa tendência no gráfico das figuras x e y, para carbetos de silício e óxido de alumínio respectivamente.

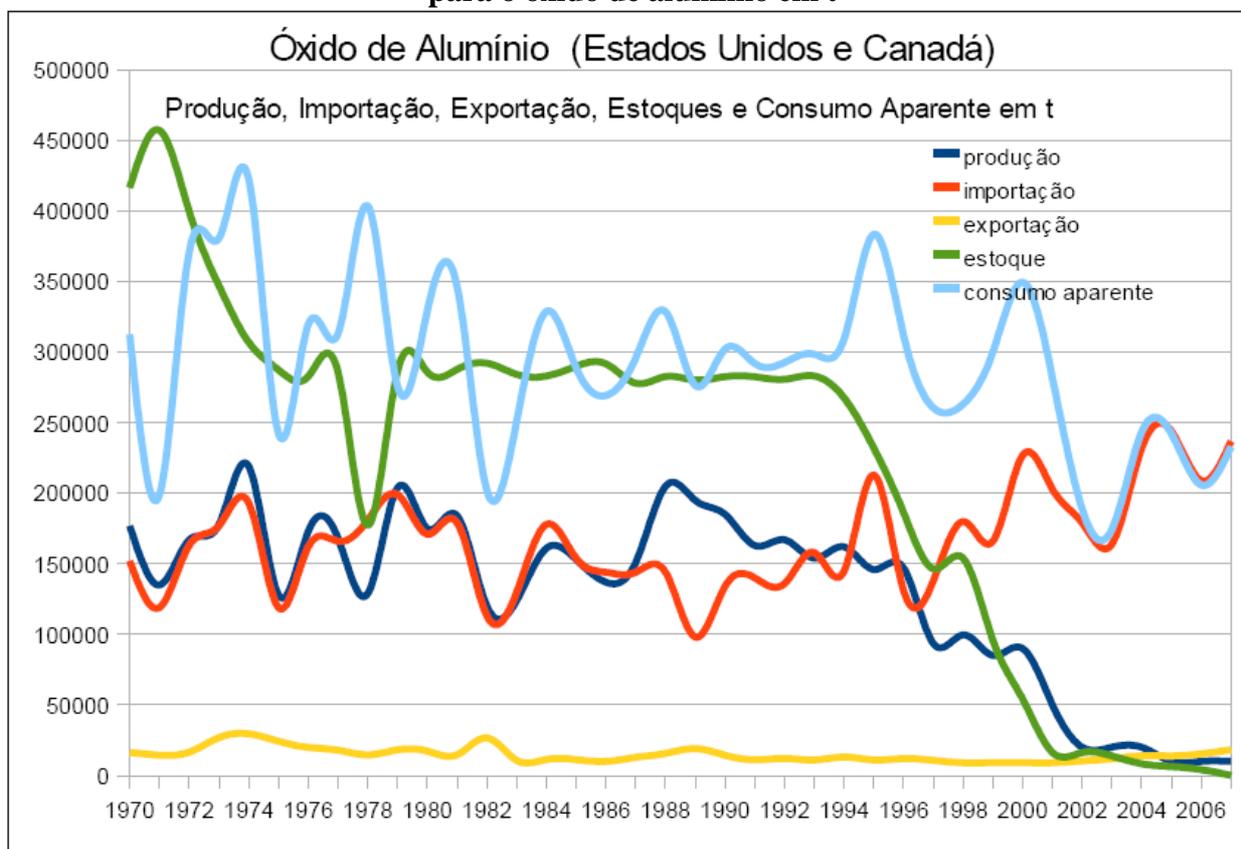
Os dados de importação e exportação são dos Estados Unidos apenas e os de produção e estoques são somados aos do Canadá. Dessa forma o consumo aparente não considera as exportações e importações do Canadá.

Tanto no caso do carbetos de silício quanto do óxido de alumínio, verificamos que a partir de 1997-1998 e principalmente após 2002, com o encerramento da produção da Saint Gobain no Canadá, a quase totalidade do consumo é proveniente de importação, com a produção local reduzida a um mínimo e progressiva eliminação dos estoques.

**Gráfico 6.2.1 - Produção, comércio exterior, estoques e consumo aparente norte-americanos para o carbeto de silício em t**



**Gráfico 6.2.2 - Produção, comércio exterior, estoques e consumo aparente norte-americanos para o óxido de alumínio em t**



### **6.3. Projeção (cenários) da produção até 2030**

Não existem no momento informações suficientes que permitam a projeção da produção com um mínimo de confiabilidade.

Remetemos o leitor à análise elaborada na seção 5 para consulta das tendências de consumo.

### **6.4. Projeção dos Investimentos Requeridos**

Não existem no momento informações suficientes que permitam a projeção dos investimentos requeridos com um mínimo de confiabilidade.

Remetemos o leitor à análise elaborada na seção 5 para consulta das tendências de consumo.

### **6.5. Tendências de Mercados e Perspectivas de Competitividade das Exportações Brasileiras**

A utilização mundial de abrasivos convencionais historicamente vem caindo nos últimos anos, principalmente devido ao melhoramento nos processos de usinagem, fabricação de peças finais e crescimento da utilização dos materiais superabrasivos. Esse perfil não é diferente para o carbeto de silício, classificado como abrasivo convencional, em oposição aos superabrasivos.

Túlio L. Morais, na elaboração de sua dissertação de mestrado focado em inteligência competitiva no mercado de carbeto de silício, levantou por meio de pesquisas com consumidores de carbeto de silício no Brasil, especialistas da indústria, base de dados, revistas especializadas, banco de dados interno da empresa onde trabalha, bibliotecas eletrônicas e fontes da Internet em geral, a atual situação do mercado de carbeto de silício no Brasil e no mundo e as forças principais que podem ou poderão afetar este produto no mercado de abrasivos:

A indústria das guerras e conflitos mundiais está diretamente relacionada ao aumento no consumo de abrasivos.

Com o fechamento de fábricas nos EUA e Canadá, a disputa pelo mercado Americano para fornecimento de produto final e “crude” de carbeto de silício é crescente. Recentemente países como Brasil, Romênia e Rússia vêm crescendo cada vez mais neste país, enquanto que a China vem perdendo espaço: em 2002, a China representou cerca de 95% das importações nos EUA. Este número caiu para 75% em 2003 e no ano de 2004 para cerca de 54%. Problemas de qualidade e altos preços foram alguns dos motivos do decréscimo de importação da China, principalmente no caso do carbeto de silício metalúrgico. Nesse mesmo ano de 2004, as exportações brasileiras para os Estados Unidos chegaram a um pico de 24.000t, contra 9.000t em 2003 mas reduziram-se a 13.000t no ano seguinte. Rumores dão conta que anti-dumping contra a China poderão acontecer nos EUA, provocando ainda mais otimismo para o Brasil.

Estrategicamente o grupo Saint Gobain mundial fechou e vendeu unidades na América do Norte de produção de carbeto de silício, comprou uma empresa no Brasil e já aumentou a capacidade de produção desta. A tendência é aumento cada vez maior de sua produção que hoje já é uma das maiores produtoras mundiais de carbeto de silício. Como atrativos, são citados facilidade de energia elétrica, mão-de-obra barata e leis ambientais menos rígidas no Brasil que em outros países.

Com os preços da China em ascensão nos EUA, além de outros fatores, os produtores nacionais estão exportando mais de 50% de sua produção de carbeto de silício para abrasivos para os EUA. Isto deverá provocar uma reação de alguns países da Europa, como Romênia, Rússia e República Tcheca, da África do Sul e do México que estão investindo em aumento de capacidade de produção e possuem logística adequada e custos baixos de produção.

Embora haja um decréscimo no consumo de carbetos de silício para abrasivos nos últimos anos na indústria brasileira, este cenário poderá alterar-se um pouco com as tendências de crescimento ainda maior no setor metalúrgico, siderúrgico, fundição, alumínio, cobre e cerâmica, o que poderá provocar maior consumo de ferramentas de carbetos de silício.

A taxaço “anti-dumping” aplicada para a China (53,6%), Ucrânia (24%) e Rússia (23,3%), foi mantida para a China mas abolida para a Ucrânia e Rússia após análise/revisão feita pela União Europeia em Maio de 2005. Com isso tem-se visto uma forte entrada da Ucrânia nos mercados Europeu e Brasileiro devido ao baixo custo. O temor dos especialistas de ocorrer na Europa o mesmo que na América do Norte que não impôs “anti-dumping” à China e teve várias fábricas fechadas nos últimos anos não tem se justificado devido à incapacidade da economia Ucraniana de financiar sua produção e mantê-la nos níveis necessários ao abastecimento dos mercados visados.

Os últimos decretos implementados em alguns estados relativos à questão do meio ambiente demandarão investimentos mais expressivos nos próximos anos para combater a poluição na fabricação do carbetos de silício. Isto deverá provocar aumento nos custos das empresas e conseqüentemente diminuição de vantagem competitiva do custo do produto brasileiro face ao mercado externo.

A Elsid, na Romênia, tem investido no aumento de sua capacidade produtiva e tem conseguido penetração cada vez maior no mercado estadunidense. A empresa, tradicional produtora de carbetos de silício de grau metalúrgico, iniciou no final de 2004 a produção de carbetos de silício alfa, com uma capacidade anual de 10.000t, das quais 3.000t destinadas ao mercado de abrasivos (grãos FEPA) e 90% desta quantidade para exportação. O crescimento desta empresa deverá ser acompanhado nos próximos anos, pois com custos baixos e conhecimento no mercado mundial poderá “invadir” alguns mercados em que ainda não atua, deslocando o produto brasileiro. Alguns produtores europeus também temem o crescimento da Elsid também na Europa, já que a aplicação de anti-dumping está fora de questão com a entrada recente da Romênia na comunidade europeia em 2007.

Dois empresas merecem atenção para os próximos anos: a T.G.A. Ltda. Na República Tcheca e a Sublime na África do Sul. Esta última teve 25% de suas ações adquiridas da ESK, após a venda de sua planta da Holanda, e já está investindo para o aumento na capacidade de produção para os próximos anos, visando atingir 40.000 t/ano. Com certeza será um novo e expressivo player no mercado de carbetos de silício para abrasivos, pois é da ESK a tecnologia mais avançada para fabricação e principalmente para o beneficiamento do carbetos de silício, como no caso dos microgrãos. Deverá iniciar em breve a exportação de grãos para abrasivos para os EUA e Europa. A T.G.A. tem crescido muito nos últimos anos e vem se destacando principalmente no caso da produção de microgrãos, na qual atingiu excelência tecnológica e logrou conquistar vários mercados, inclusive no Brasil. Nos Estados Unidos, empresa vem conseguindo conquistar mercado para os macrogrãos desde 2004 e já está expandindo sua penetração também no mercado de microgrãos.

O Brasil importa microgrãos de carbetos de silício das empresas Exolon, TGA, ESK e Orkla. Segundo os especialistas, isso ocorre devido à falta de disponibilidade e qualidade do microgrão nacional.

Não existem fontes de informação consolidadas publicamente disponíveis sobre o mercado de óxido de alumínio que permitam uma análise semelhante à mostrada para o caso do carbetos de silício.

## **7. TECNOLOGIA**

- Carbetos de Silício

Os abrasivos constituem uma classe de materiais de grande importância no cenário da indústria mundial. São considerados como materiais estratégicos em países desenvolvidos como EUA e Japão e há menção sobre a relação do domínio da tecnologia destes como sinônimo de

desenvolvimento para um país. No Brasil, existe um crescente interesse no mercado dos abrasivos mas ainda é incipiente o desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias de aplicação de produtos (TREIBACHER, 2003). Todo o carbeta de silício aplicado em abrasivos é produzido via Acheson, pois é o processo que consegue produzir alto grau de pureza de carbeta de silício e fase alfa, que é a única fase do carbeta de silício que possibilita aplicá-lo em abrasivos, conferindo a alta dureza (2800 Knoop) e pureza química combinados à resistência mecânica em altas temperaturas. Vários estudos de síntese de carbeta de silício via outros métodos existem no mundo e cresce o número de pesquisas neste setor. No entanto, muitos ainda estão apenas em escala laboratorial e ainda não conseguiram obter a fase alfa. Novos processos têm sido investigados para produção do carbeta de silício por outras rotas que não o método *Acheson*, com a obtenção de novas formas e propriedades do produto, a exemplo dos desenvolvidos no Laboratório de Cerâmica na Universidade Federal de São Carlos (DEKSNYS, MENEZES, SOUTO, FAGURY-NETO, KIMINAMI, 2004). Trata-se de um método de síntese via microondas, com o qual já se pode obter *wiskers* de carbeta de silício na fase beta (MORAIS, 2005).

**Figura 7.1 - Fluxograma do processo de fabricação de carbeta de silício**



Os produtos brasileiros de carbeta de silício para abrasivos, no que diz respeito aos grãos finos, médios e grossos, independentemente do fabricante, possuem tecnologias apropriadas em nível de qualidade e desempenho e têm boa aceitação no mercado nacional. Por outro lado, o ponto fraco da indústria nacional, detetado por meio de pesquisa com os clientes, está na baixa qualidade e indisponibilidade do microgrão nacional, em parte pela existência de um único fabricante, resultando em carência do produto no setor de liga-fria e de abrasivos convencionais para polimento de mármore e granitos, porcelanato, pedras em geral e outros. Isso facilita, inclusive, a entrada de fabricantes do exterior, promovendo a importação do produto. Esse gargalo representa oportunidade para uma nova fábrica de microgrãos que poderá ser rentável desde que empregue tecnologia de processo e produto compatível com o nível de exigência dos clientes. A Tecnologia de Elutriação, dominada por pelo menos um dos fabricantes estabelecidos no país em plantas localizadas em outros países, parece ser adequada, pelo seu grau de eficiência devendo ser avaliada como primeira prioridade em um estudo futuro de viabilidade econômica da nova planta.

Outro potencial para o desenvolvimento tecnológico da produção de finos do grão 100 ao 220 ANSI-FEPA é a racionalização do *layout* das plantas atuais, visando o aumento de sua produção sem a perda de propriedades e qualidade, tendo em vista a relativa falta de disponibilidade e não existirem evidências de substituição tecnológica ou de produto, nem tampouco queda do volume de utilização para os próximos cinco anos pelos clientes atuais das indústrias de fundição, cerâmica, pedras, afiação de ferramentas, auto-peças e outras.

As propriedades que merecem maior atenção na pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o aumento do desempenho do produto são a angulosidade dos grãos, distribuição granulométrica e quantidade de pó. Também vale ressaltar que a combinação dessas propriedades com maior friabilidade ou maior tenacidade significará expressiva melhoria tecnológica sob o ponto

de vista das necessidades dos clientes, em praticamente todas as áreas de aplicação (fundição, cerâmica, aço, etc). A utilização de sistema de peneiramento Domo poderá servir como tecnologia chave no beneficiamento dos grãos, enquanto que a busca de solução para moagem mais eficiente em moinho de rolo poderá ser uma solução importante a ser pesquisada visando a produção de grãos mais angulosos.

As tendências de substituição gradativa de produtos de carbetos de silício para aplicações em pedras, mármore, granitos, porcelanatos, cerâmicas e refratários do tipo rebolos de liga-fria de carbetos de silício, rebolos de desbaste e discos de corte e desbaste pelos rebolos, discos e serras diamantados, até grãos 54-60 deve se acentuar com o constante decréscimo dos preços do diamante. O aumento dos custos de produção do carbetos de silício acentuarão o grau de substituição, afetando a tecnologia de carbetos de silício e provocando a tomada de medidas estratégicas da indústria.

A tendência da utilização industrial de máquinas de alto desempenho e eficiência para a realização das operações abrasivas tem ocasionado menor consumo de abrasivos em geral e poderão trazer novas exigências de pesquisa, desenvolvimento e inovação em produtos de carbetos de silício para essas novas aplicações, ou mesmo a substituição por produtos de novas tecnologias a exemplo dos diamantados e c-BN (MORAIS, 2005).

A maior precisão em fabricação de peças moldadas na indústria metalúrgica também está provocando um decréscimo da utilização de abrasivos pela diminuição da quantidade de material a ser removido e também o deslocamento do tipo de produto para granulometrias mais finas.

As tendências de mercado é o aumento de consumo na faixa granulométrica *powder* 240-1200 e na faixa FEPA 100-220, devido ao crescimento da indústria de porcelanato. O carbetos de silício continua competitivo também para aplicações de polimento, lixamento de madeiras, pinturas e materiais não-ferrosos em geral. Além disso, novas aplicações abrasivas do carbetos de silício estão sendo desenvolvidas como o corte de cubos de silício para a indústria eletrônica.

Não há indícios de novas tecnologias de produção de carbetos de silício alfa – processo Acheson – que é o utilizado para este mercado. Por outro lado, são crescentes os estudos para a fabricação de carbetos de silício por processos alternativos. A maioria, porém ainda se encontra na escala de laboratório e, mesmo os que já permitem escala industrial, são voltados para a produção de carbetos de silício beta, que não é consumido na indústria de abrasivos.

A tecnologia de ponta na indústria de carbetos de silício é a tecnologia de fornos da ESK que recupera os gases da reação. Nos fornos Acheson tradicionais esses gases são queimados na superfície do forno ao entrar em contato com o ar atmosférico, com grande desperdício de energia. A tecnologia da ESK permite coletar os gases sob um filme plástico que cobre o forno e em seguida utilizá-los em uma unidade local de geração de energia elétrica movida a vapor, o que recupera cerca de 15% da energia necessária à produção do carbetos de silício. Há também uma planta de dessulfurização que reduz as emissões anuais de dióxido de enxofre em 90% e ainda produz enxofre que pode ser vendido como matéria-prima para outras indústrias.

Os dois fluxos de efluentes, do condensado gasoso e da água drenada, são reciclados em uma moderna planta de tratamento de água que utiliza tecnologia de membrana recentemente desenvolvida e é então usada para resfriar o forno.

- Diamantes

Em 1987, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, produz, pela primeira vez no Brasil, o diamante sintético. No ano de 2004, a Universidade Norte Fluminense declara ter dominado a tecnologia de produção de diamante sintético, atingindo a marca de mais de 10 mil quilates (INOVAÇÃO, 2004).

Não se tem notícias de pesquisas posteriores sobre o tema, a não ser utilizando o método CVD, que não se aplica à produção de diamantes para fins abrasivos.

Há informações de que utilizando-se a tecnologia desenvolvida na Universidade Norte Fluminense, uma planta de produção de diamantes em escala industrial poderia ser instalada com investimentos da ordem de US\$10 milhões.

- Óxido de Alumínio

Pode-se encontrar vários artigos sobre pesquisa acadêmica em óxidos de alumínio. A pesquisa aplicada por outro lado, ocorre dentro da indústria e não há divulgação pública.

Uma instituição de referência para a área de materiais abrasivos no Brasil é o CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais – localizado no DEMA/UFSCar – Departamento de Engenharia de Materiais/Universidade Federal de São Carlos – é uma entidade sem fins lucrativos, com estrutura voltada para projetos de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação).

## 8. RECURSOS HUMANOS

Devido à escassez de informações disponíveis sobre a indústria, a projeção das necessidades futuras por nível de escolaridade e especialidade com base nos cenários de produção até 2030 fica prejudicada.

Com relação à necessidade de capacitação e treinamento, o que se verifica é uma total carência de formação de pessoal especializado no mercado de trabalho.

Não há operadores formados, toda a formação é feita dentro da própria indústria.

Há grande dificuldade na contratação de vendedores técnicos.

Instituições de formação de profissionais de nível técnico, como o SENAI, não possuem quaisquer programas de formação na área.

Em iniciativa individual, *Herbert Zing*, Diretor da Amaril, vem elaborando uma apostila com notas, fotos, procedimentos, etc, reunidos ao longo de sua carreira, que pretende transformar em um curso estruturado sobre abrasivos.

Há pesquisadores dentro das empresas porém seu foco é voltado exclusivamente à área de desenvolvimento de aplicações.

## 9. INCENTIVOS

Destacamos dois incentivos recentes, na modalidade de renúncia fiscal, que estão à disposição da indústria de abrasivos:

### 1) O Drawback Verde-Amarelo

Está em vigor desde 01/10/2008 o regime de Drawback Verde-Amarelo que foi instituído pela Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, lançada em maio de 2008, e será um dos mecanismos propostos para se alcançar a meta estabelecida pela PDP, de colocar o País entre os 20 maiores exportadores mundiais. Hoje, o país é responsável por 1,17% das exportações mundiais e pretende chegar a 1,25% do total exportado, até 2010.

O novo regime contribui para a redução dos custos de produção e para o incremento da competitividade dos produtos brasileiros em mercados estrangeiros, pois permitirá que os insumos adquiridos no mercado interno e empregados na produção de bens exportáveis desfrutem do mesmo tratamento tributário já concedido aos insumos importados, hoje beneficiados com o regime do Drawback de Importação. O instrumento permite aos exportadores brasileiros pedir a suspensão de tributos federais Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) para a compra de insumos nacionais destinados a produção de bens exportáveis.

O Drawback tradicional pode também ser utilizado no caso de importação do coque calcinado de petróleo. Deve-se porém analisar os aspectos técnicos, ambientais e econômicos de seu uso no lugar do coque verde de petróleo para fabricação do carvão de silício, para concluir se há vantagem em sua utilização, mormente em períodos de escassez do coque nacional e face às crescentes exigências de redução de poluentes atmosféricos.

## **2) A Lei do BEM**

A lei 11.196, mais conhecida pela Lei do Bem, foi alterada pela lei 11.487, de 15 de junho de 2007. O capítulo III da lei trata de incentivos fiscais para pessoas jurídicas que realizam pesquisa e desenvolvimento de Inovação Tecnológica. Na legislação brasileira, Inovação Tecnológica significa concepção de novo produto ou processo de fabricação que inclua funcionalidades que configurem melhorias e ganho de qualidade ou produtividade.

Os incentivos fiscais se desdobram em deduções tanto no Imposto de Renda como na Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSLL). Há também dedução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para as empresas que investirem na compra de equipamentos para pesquisa e desenvolvimento.

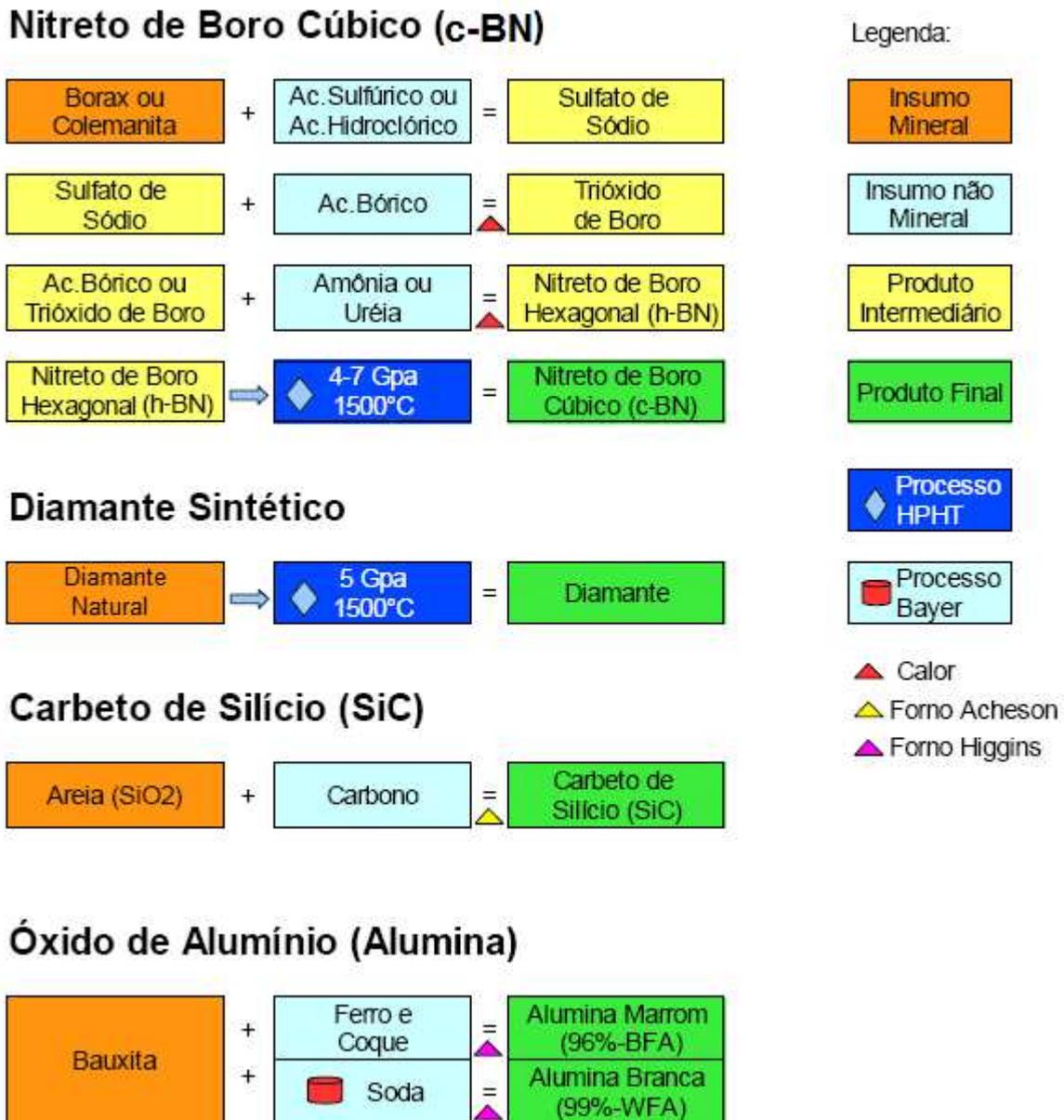
Além da dedução de impostos, a Lei do Bem permite subvenções financeiras por parte de órgãos governamentais de fomento à pesquisa. As empresas de comprovada atuação em pesquisa e desenvolvimento tecnológico poderão contratar pesquisadores com mestrado ou doutorado para dedicação à Inovação Tecnológica.

As empresas que investirem em PD&I podem abater gastos operacionais do Imposto de Renda e da Contribuição Social sobre Lucro Líquido. Outra vantagem é a redução do IPI na compra de máquinas e equipamentos. Há também a possibilidade de considerar a depreciação dos equipamentos ou a amortização de bens intangíveis. Está prevista, também, a dedução do IR retido na fonte para remessas efetuadas para o exterior com o objetivo de registro ou manutenção de marcas e patentes de produtos brasileiros.

## 10. ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA

Apresentamos a seguir em diagrama simplificado, as rotas mais usuais para obtenção dos abrasivos de interesse:

**Figura 10.1 - Diagrama de rotas produtivas de abrasivos**



Os produtos finais do diagrama acima são utilizados diretamente na etapa seguinte da cadeia para a manufatura de produtos acabados para o consumidor final, como abrasivos ligados, revestidos ou ainda como grãos livres para aplicação por máquinas, jateamento ou confecção de pastas e outros produtos.

Na falta de dados publicados de custo, utilizaremos custos conhecidos de insumos e energia elétrica, bem como fatores de eficiência de produção, como um exercício para tentar aproximar pelo menos os custos diretos de produção. O resultado desse estudo é mostrado no quadro 10.2 a seguir:

**Quadro 10.2 - Estimativa de custos diretos de produção de abrasivos**

Carbeto de Silício		componente	% peso	t	US\$/t	US\$ total	% US\$	US\$ /tprod
insumos t	1,00	quartzo	60%	0,60	28,00	16,80	2,2%	3.983
produto t	0,19	coque	40%	0,40	100,00	40,00	5,3%	
		Energia		kWh/t	US\$/kWh	US\$/kWh	% US\$	
				7000	0,10	700,00	92,5%	
		Total				756,80	100,00%	
Óxido de alumínio marrom		componente	% peso	t	US\$/t	US\$ total	% US\$	US\$ /tprod
insumos t	1,00	bauxita	80%	0,80	31,00	24,80	6,0%	619
produto t	0,67	ferro (scrap)	15%	0,15	235,00	35,25	8,5%	
		coque	5%	0,05	100,00	5,00	1,2%	
		Energia		kWh/t	US\$/kWh	US\$/kWh	% US\$	
				3500	0,10	350,00	84,3%	
		Total				415,05	100,0%	

A confiar nos dados do periódico especializado Mineral Price Watch mostrados os quadros 3.2.5 e 3.2.6, temos os seguintes preços de venda médios:

- carbeto de silício (preto, 99%, graus 1 e 2) - US\$ 2.300,00
- óxido de alumínio (Marrom FEPA 8-220) - US\$ 800,00

Especialistas da indústria de carbeto de silício citam uma participação de 50% dos custos de energia elétrica na composição do custo total do produto. Nesse caso, a tonelada deveria custar cerca de US\$ 1.513 por tonelada de insumos processados. O problema é que segundo os mesmos especialistas, o fator de conversão é de apenas 190 kg de insumos por tonelada de produto, o que leva o custo por tonelada de produto a US\$ 7.963, obviamente incorreto face ao preço de venda. Para o óxido de alumínio os números parecem mais razoáveis, apesar de não termos levado em consideração todos os demais custos envolvidos.

A seguir apresentamos para comparação de valores, os preços de alguns produtos acabados para efeito de comparação, bem como quantidades em t e valores totais em US\$ 08, importados e exportados em 2008:

**Quadro 10.3 - Valores de produtos abrasivos acabados (Aliceweb)**

NCM	DESCRIÇÃO	Tipo	Importação 2008			Exportação 2008			Saldo(I-E) 2008		Volume(I+E) 2008	
			US\$ FOB	Peso (t) Líquido	US\$/t	US\$ FOB	Peso (t) Líquido	US\$/t	US\$ FOB	Peso (t) Líquido	US\$ FOB	Peso (t) Líquido
			68041000	MOS PARA MOER OU DESFIBRAR kg	O	336.988	72	4.701	111.067	15	7.520	-225.921
68042111	MOS DE DIAMANTE NATI/SINT.AGLOMERADOS C/RESINA,D<53.34CM kg	AD	1.664.013	73	22.835	1.982.550	6	302.515	218.537	67	3.546.563	79
68042119	OUTS.MOS DE DIAMANTE NATURAL/SINT.AGLOMERADOS,D<53.34CM kg	AD	20.922.595	1.576	13.273	2.761.763	91	30.512	-18.160.832	1.486	23.684.358	1.667
68042190	OUTROS MOS DE DIAMANTE NATURAL/SINT.AGLOMERADOS kg	AD	24.204.709	630	38.451	1.262.120	14	93.029	-22.942.589	616	25.466.829	643
68042211	MOS DE OUTS.ABRASIVOS AGLOMERADOS COM RESINA,D<53.34CM kg	AC	6.815.422	773	8.818	12.753.774	2.891	4.412	5.938.352	-2.118	19.569.196	3.664
68042219	OUTS.MOS DE OUTS.ABRASIVOS AGLOMER./CERAMICA,D<53.34CM kg	AC	10.261.527	1.272	8.065	3.410.451	818	4.168	-6.851.076	454	13.671.978	2.091
68042290	OUTROS MOS DE OUTS.ABRASIVOS AGLOMER./CERAMICA kg	AC	19.110.850	3.611	5.292	3.381.363	701	4.821	-15.729.487	2.910	22.492.213	4.313
68042300	OUTROS MOS E ARTEFATOS SEMELHANTES kg	O	1.093.345	37	29.282	76.278	24	3.191	-1.017.067	13	1.169.623	61
68043000	PEDRAS P/AMOLAR/POLIR,MANUALMENTE,DE PEDRA NATURAL,ETC. kg	O	789.509	461	1.714	969.202	272	3.558	179.693	188	1.758.711	733
68051000	ABRASIVOS NATI/ARTIF.EM PO/GRAO,APLIC.EM TECIDO MAT.TEXT kg	RC	17.443.886	2.015	8.658	21.056.073	2.420	8.700	3.612.187	-406	38.499.959	4.435
68052000	ABRASIVOS NATI/ARTIF.EM PO/GRAO,APLIC.EM PAPEL/CARTAO kg	RC	20.909.656	2.700	7.745	16.839.270	3.906	4.311	-4.070.386	-1.206	37.748.926	6.609
68053010	ABRASIVOS NATI/ARTIF.C/SUORTE PAPEL/CARTAO C/MAT.TEXTIL kg	RC	2.078.959	162	12.817	958.142	181	5.304	-1.120.817	-18	3.037.101	343
68053020	DISCOS ABRASIVOS DE FIBRA VULCAN.RECOB.OXIDO ALUMIN.ETC kg	RC	3.803.932	394	9.652	3.398.356	492	6.903	-405.577	-98	7.202.287	896
68053090	OUTS.ABRASIVOS NATI/ARTIF.EM PO/GRAO APLIC.OUTS.MATERIAS kg	GR	12.350.685	1.078	11.461	19.444.936	1.978	9.829	7.094.250	-901	31.795.620	3.056
	TOTAL		141.786.076	14.563		88.306.343	13.809		-53.480.733	1.044	230.091.419	28.662

Legenda: AD - Aglomerado Diamantado; AC - Aglomerado Convencional; RC - Revestido Convencional; GR - Grãos Livres; O - Outros

Com relação aos insumos, o quartzo é fonte abundante no Brasil. Há alternativas de compra e mercado aberto para preços competitivos, sem presença de monopólios. A mesma situação se verifica para outros insumos, como o ferro, a bauxita e a alumina de processo Bayer. O Brasil é grande produtor e exportador dos mesmos e, no caso dos produtos de origem mineral, possui grandes reservas.

A aquisição de energia primária, por outro lado, é um item fundamental para a fabricação do carvão de silício e do óxido de alumínio. As empresas nacionais possuem subestações próprias sem as quais haveria grande ônus no preço do kWh. A Lei nº 10.848, sancionada pelo governo em março de 2004, alterou a forma de comercialização de eletricidade, com o objetivo de assegurar a expansão do sistema, atraindo investidores através de contratações entre agentes geradores e distribuidores. Determina diferenças entre a geração existente e a de novos empreendimentos e prazos de contratação de até 35 anos.

Considerando a variação no custo de energia no Brasil e seus impactos em sua participação no cenário mundial, estudo realizado pela empresa de consultoria Price Waterhouse - Coopers revela que o crescimento da carga tributária que incide sobre a energia elétrica poderá trazer sérias consequências à competitividade dos produtos brasileiros no exterior que tenham a energia elétrica com grande participação em seu custo final, como é o caso dos abrasivos eletrofundidos (TRIBUNA, 2004).

Como foi visto, a segunda matéria-prima de maior impacto no custo de produção do carvão de silício é o coque de petróleo.

O Brasil é auto-suficiente na produção de petróleo para o seu consumo e comercialização, tem petróleo de excelente qualidade, quando comparado com algumas fontes mundiais. Da mesma forma, também produz o coque verde, utilizado na produção tanto do carvão de silício quanto, em menor quantidade, no óxido de alumínio.

A Petrobras, que nos últimos anos, além de ter aumentado acentuadamente os preços do coque verde, igualando seu preço pelo poder calorífico a outros tipos de combustíveis, tem disponibilizado grande parte da produção para o mercado externo, por vezes provocando problemas de desabastecimento. Por outro lado, há abundantes fontes para importação alternativa com custos competitivos, sendo a China uma entre várias.

## **11. CONCLUSÕES GERAIS**

Como foi visto, temos no Brasil uma indústria madura de abrasivos, fortemente exportadora, com forte perfil de concentração da produção e também de capital estrangeiro. Todos os fabricantes de grãos abrasivos são multinacionais, com a exceção da SicBrás na Bahia. Não possuímos produção industrial de diamantes artificiais embora detenhamos a tecnologia de fabricação.

Com relação à indústria de abrasivos convencionais, tem havido investimentos em aumento da produção, que só não foi mais expressivo em função de dúvidas quanto à recuperação da crise e também quanto à disponibilidade e preços da energia elétrica nos próximos anos, já que a indústria tem nesse item uma parcela expressiva de seus custos (50% no caso do SiC).

A demanda do mercado externo tem crescido incessantemente, em parte pelo desvio da produção de países com severas restrições ambientais para outros países menos onerados com tais exigências, como o Brasil. Deve-se avaliar criteriosamente os investimentos nessa área já que se identifica em países industrializados uma redução no volume total utilizado desses abrasivos ao longo da última década, sendo possível que a demanda crescente atual configure apenas um fenômeno transiente.

Ainda assim, em algum ponto no futuro nossa indústria também deverá ser onerada pelos mesmos custos ambientais a que são submetidas hoje as empresas dos países mais industrializados.

Por outro lado, temos ampla oferta dos insumos utilizados na fabricação dos abrasivos convencionais eletrofundidos, o que constitui vantagem competitiva no mercado internacional. Há que se solucionar ainda o problema do suprimento sustentável de energia elétrica a custo baixo.

Um ponto a se considerar é que a indústria de grãos abrasivos não funciona de modo isolado, estando intimamente ligada e dividindo sua produção também com as indústrias de refratários, cerâmicas especiais e metalúrgica.

Finalizando, destacamos a importância do desenvolvimento da produção em escala industrial do diamante sintético, que vêm substituindo com vantagens de custo e desempenho grande parte dos abrasivos convencionais em aplicações de alto desempenho, e também do nitreto de boro cúbico, com o mesmo perfil do diamante, mas utilizado para materiais e ligas ferrosas. Há necessidade ainda de se trazer para a indústria nacional manufatura dos produtos acabados de superabrasivos, processo no qual há um grande valor agregado, como pode ser verificado no quadro 10.3.

## 12. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALCAR ABRASIVOS. Informações Técnicas. Disponível em:  
<[http://www.alcar.com.br/inf\\_rebolos.htm](http://www.alcar.com.br/inf_rebolos.htm)>. Acesso em 10/10/2003.
- BURKE, A. Manufactured abrasive minerals. *Industrial Minerals*, v. 446, n. 11, p. 42 – 48, 2004.
- BURKE, A. Orkla moves to full US ownership. *Industrial Minerals*, v. 444, n. 9, p. 6, 2004.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45, 2001, Belo Horizonte. Uso de matérias-primas abrasivas na indústria cerâmica. Belo Horizonte: s. n., 2001.
- DEKSNYS, T.P., MENEZES, R. R., SOUTO, P. M., FAGURY-NETO E., KIMINAMI, R. H. G. A. Synthesis of SiC by the microwave assisted carbothermal reduction of sugar cane wastes - Parte 4. In: Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications. Texas: 2004
- ELEKTROSCHMELZWERK KEMPTEN ( ESK ). Silicon Carbide and its use. s.l.: s. n.
- EPA Technical Support Document for the Silicon Carbide Production Sector: Proposed Rule for Mandatory Reporting of Greenhouse Gases – Office Air and Radiation - EPA - 22/01/2009
- GANDOLFI, P. Abrasivos a base de óxido de alumínio: caracterização física e desempenho, 2001, pg.76
- HARBEN, P.W. 2002 A guide to markets, specifications and prices. In *The Industrial Minerals HandyBook*. 4th edition. London: Industrial Minerals Information.
- HARRIS, P. ESK makes Sublime buy into South African SiC. *Silicon Carbide & More Journal*, v. 6, n.6 , p.1-5, 2004.
- HARRIS, P. ESK sells crude operation. *Silicon Carbide & More Journal*, v. 7, n.10 , 2004.
- HARRIS, P. ESK sells Delfzijl crude SiC plant. *Industrial Minerals*, v. 445, n. 10, p. 15, 2004.
- HARRIS, P. ESK-SiC under the Microscope. *Silicon Carbide & More Journal*, v.5, n. 3, p. 4, 2004.
- HARRIS, P. EU duties: Impact. *Silicon Carbide & More Journal*, v. 3, n. 10, p.1-5, 2003.
- HARRIS, P. More SiC from Elsid. *Silicon Carbide & More Journal*, v. 4, n. 1, p. 1-5, 2004.
- HARRIS, P. Specialities shine in SiC market. *Industrial Mineral*, v. 423, n.12, p. 22-31, 2002.
- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA Brasil produz primeiros 10 mil quilates de Diamantes Sintéticos. Disponível em:  
<<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160040518>>. Acesso em: 18/05/2004.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006
- JOHNSON, B.L.,SCHAUBLE, M. Abrasive materials. p.1225–1240 in *Minerals Yearbook 1939*. Washington, DC: USBM., 1939
- KENNEDY, K. True grit-the T.G.A. focus. *Silicon Carbide & More Journal*, v.1, n. 8, p. 1-4, 2003.
- KÖNIG, W., *Fertigungsverfahren Band 2 - Schleifen, Honen, Laepten*, Duesseldorf, VDI Verlag, 1980
- LOUGHBROUGH, R. Silicon Carbide: Market grinds to recovery. *Industrial Minerals*, v. 324, n. 11, p. 45-55, 1994.
- McMULLEN, J.C. A Review of Patents on Silicon Carbide Furnacing. *Journal of the Electrochemical Society*, v. 119, n. 7, p. 462-465, 1957.
- MOBBS, P.M. 2003 The mineral industry of Turkey. p. 46.1–46.4 in *Minerals Yearbook 2003*. Washington, DC: USGS.
- MORAIS, T. L. M. Inteligência competitiva aplicada a tecnologias do carbetto de silício para o setor de abrasivos, São Carlos, 2005
- MORTENSEN, A. *Concise Encyclopedia of Composite Materials*, 2nd Edition, Elsevier, 2007, p.282
- NEWMAN, H.R. 2003 The mineral industry of Greece. p. 13.1–13.4 in *Minerals Yearbook 2003*. Washington, DC: USGS.
- NUSSBAUM, G.C.H. *Rebolos e Abrasivos – Tecnologia Básica*. 2.ed. São Paulo: Jacomo, 1988.
- PECHINEY GROUP. A new approach to precision grinding. s.l.: s. n., 2003.

- TAYLOR, L. Silicon carbide – Mineral Spotlight. Industrial Minerals, v. 384, n. 8, p. 23, 1999.
- THE CARBORUNDUM COMPANY. A Review of Patents on Silicon Carbide Furnacing, Niagra Falls, EUA, s. d..
- TREIBACHER SCHLEIFMITTEL BRASIL LTDA. Catálogo de aplicação de produtos Treibacher. Salto, SP, 2003.
- TRIBUNA DA IMPRENSA. Tribuna da Imprensa. Disponível em: <http://www.tribuna.inf.br>. Acesso em 19/11/2004.
- WILLIS, M. 2003 Garnet galore. Industrial Minerals 431:36–40.

WEBSITES CONSULTADOS (vários acessos, todos em julho e agosto/2009):

3M do Brasil Ltda	<a href="http://www.3m.com.br">www.3m.com.br</a>
Abragol Abrasivos Goiás Ind Com Ltda	<a href="http://www.abragol.com.br">www.abragol.com.br</a>
Abrasipa Indústria de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.abrasipa.com.br">www.abrasipa.com.br</a>
Abrasive Technology	<a href="http://www.abrasive-tech.com">www.abrasive-tech.com</a>
Agência Nacional de Energia Elétrica ( ANEEL )	<a href="http://www.aneel.gov.br">www.aneel.gov.br</a>
Alcar Abrasivos Ltda	<a href="http://www.alcar.com.br">www.alcar.com.br</a>
Amaril Indústria de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.amaril.com.br">www.amaril.com.br</a>
Arbax Indústria e Comércio Ltda	<a href="http://www.arbax.com.br">www.arbax.com.br</a>
Bomcorte Ferramentas Ltda	<a href="http://www.bomcorte.com.br">www.bomcorte.com.br</a>
British Geological Survey (BGS)	<a href="http://www.bgs.ac.uk">www.bgs.ac.uk</a>
Centro Brasileiro de Materiais	<a href="http://www.cbm.eng.br">www.cbm.eng.br</a>
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos	<a href="http://www.cgee.org.br">www.cgee.org.br</a>
Centro de Tecnologia Mineral “CETEM”; Mineral Data	<a href="http://w3.cetem.gov.br/8080/minerladata">w3.cetem.gov.br/8080/minerladata</a>
Ceramic Industry	<a href="http://www.ceramicindustry.com">www.ceramicindustry.com</a>
Cerâmica Industrial	<a href="http://www.ceramicaindustrial.org.br">www.ceramicaindustrial.org.br</a>
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - SP ( CETESB )	<a href="http://www.cetesb.sp.gov.br">www.cetesb.sp.gov.br</a>
Corindon Abrasivos Especiais Ltda	<a href="http://www.corindon.ind.br">www.corindon.ind.br</a>
Dec Superabrasivos Ind e Com Ltda	<a href="http://www.decsuperabrasivos.com.br">www.decsuperabrasivos.com.br</a>
Departamento Nacional da Produção Mineral (MME); Brasil; 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2004.	<a href="http://www.dnpm.gov.br">www.dnpm.gov.br</a>
Departamento Nacional da Produção Mineral (MME); Brasil; 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2004.	<a href="http://www.dnpm.gov.br">www.dnpm.gov.br</a>
Departamento Nacional da Produção Mineral (MME); Brasil; 2005, 2006, 2007e 2008.	<a href="http://www.dnpm.gov.br">www.dnpm.gov.br</a>
Departamento Nacional de Produção Mineral	<a href="http://www.dnpm.gov.br">www.dnpm.gov.br</a>
Diamantecno Ferramentas Diamantadas Ltda	<a href="http://www.diamantecno.com.br">www.diamantecno.com.br</a>
Diamond News	<a href="http://www.diamondnews.com">www.diamondnews.com</a>
Difer Ferramentas Diamantadas Ltda	<a href="http://www.diferdiamantes.com.br">www.diferdiamantes.com.br</a>
Dinser Ferramentas Diamantadas Ltda	<a href="http://www.dinser.com.br">www.dinser.com.br</a>
Element Six	<a href="http://www.e6.com">www.e6.com</a>
Embras Empresa Brasileira de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.embrasabrasivos.com.br">www.embrasabrasivos.com.br</a>
Energy Information Administration (EIA)	<a href="http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pe_t_pri_top.asp">http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pe_t_pri_top.asp</a>
FSN Fieiras e Sinterizados Nacionais	<a href="http://www.fsn.com.br">www.fsn.com.br</a>
Fundação Estadual do Meio Ambiente ( FEAM ) - Mg	<a href="http://www.feam.br">www.feam.br</a>
Icder Ind e Com de Discos e Rebolos Ltda	<a href="http://www.icder.com.br">www.icder.com.br</a>
Inabra Abrasivos e Ferramentas Ltda	<a href="http://www.inabra.com.br">www.inabra.com.br</a>

Ind e Com Gotthard Kaesemodel Ltda	<a href="http://www.gotthard.com.br">www.gotthard.com.br</a>
Industrial Diamond Review	<a href="http://www.idr-online.com">www.idr-online.com</a>
Industrial Minerals	<a href="http://www.mineralnet.co.uk">www.mineralnet.co.uk</a>
Inovação Tecnológica	<a href="http://www.inovacaotecnologica.com.br">www.inovacaotecnologica.com.br</a>
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	<a href="http://www.ibge.gov.br">www.ibge.gov.br</a>
Kronos Indústria de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.kronos.ind.br">www.kronos.ind.br</a>
Mármore, Mineração e Metalurgia	<a href="http://www.mamore.net">www.mamore.net</a>
MatWeb: The Online Materials Information Resource	<a href="http://www.matweb.com">www.matweb.com</a>
MDIC - Ministério de Desenvolvimento da Indústria e Comércio; Estatísticas de comércio exterior	<a href="http://www.aliceweb.com.br">www.aliceweb.com.br</a>
Mineral Net	<a href="http://www.mineralnet.com">www.mineralnet.com</a>
Ministério de Minas e Energia	<a href="http://www.mme.gov.br">www.mme.gov.br</a>
Mundo Cerâmico	<a href="http://www.mundoceramico.com.br">www.mundoceramico.com.br</a>
Norton Abrasivos	<a href="http://www.norton-abrasivos.com.br">www.norton-abrasivos.com.br</a>
Observatório de Prospectiva de Tecnológica Industrial	<a href="http://www.opti.org/inicio.htm">www.opti.org/inicio.htm</a>
Olga S/A Indústria e Comércio	<a href="http://www.olga-sa.com.br">www.olga-sa.com.br</a>
Olson, D.W.; Abrasives (Manufactured) - U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries; de 1998 a 2009.	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/abrasives/index.html#mcs">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/abrasives/index.html#mcs</a>
Olson, D.W.; Abrasives (Manufactured) - U.S. Geological Survey, Mineral Yearbook; de 1998 a 2007.	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/abrasives/index.html#mcs">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/abrasives/index.html#mcs</a>
Olson, D.W.; Diamond (Industrial) - U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries; de 1998 a 2009.	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond/index.html#mcs">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond/index.html#mcs</a>
Olson, D.W.; Diamond (Industrial) - U.S. Geological Survey, Mineral Yearbook; de 1998 a 2007	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond/index.html#mcs">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond/index.html#mcs</a>
Polo cerâmico	<a href="http://www.poloceramico.com.br">www.poloceramico.com.br</a>
Pontabrás Abrasivos Industriais Ltda	<a href="http://www.pontabras.com.br">www.pontabras.com.br</a>
Rei Indústria e Comércio de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.reiabrasivos.com.br">www.reiabrasivos.com.br</a>
Romão Gogolla & Cia Ltda	<a href="http://www.rgogolla.com.br">www.rgogolla.com.br</a>
Saint Gobain Abrasivos Ltda	<a href="http://www.saint-gobain.com.br">www.saint-gobain.com.br</a>
sia Abrasivos Industriais Ltda	<a href="http://www.sia-abrasives.com">www.sia-abrasives.com</a>
Sivat Indústria de Abrasivos Ltda	<a href="http://www.sivat.com.br">www.sivat.com.br</a>
Treibacher Schleifmittel Brasil Ltda	<a href="http://www.treibacher.com.br">www.treibacher.com.br</a>
Tyrolit do Brasil Ltda	<a href="http://www.tyrolit.com.br">www.tyrolit.com.br</a>
United Nation Population Division (ONU)	<a href="http://www.un.org/esa/population">www.un.org/esa/population</a>
United States Geological Survey (USGS)	<a href="http://www.usgs.gov">www.usgs.gov</a>
World Abrasives	<a href="http://www.worldabrasives.com">www.worldabrasives.com</a>

### 13. SIGLAS UTILIZADAS

ANSI – *American National Standards Institute*  
c-BN – nitreto de boro cúbico  
CCDM - Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais do DEMa/UFSCar  
CEO – *Chief Executive Officer*  
CSLL – Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido  
CVD – *Carbon Vapour Deposition*. Método de fabricação de diamante sintético por deposição de vapor de carbono.  
DEMa - Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar  
DIA – Diamante  
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral.  
ELFUSA – Fabricante de Óxido de Alumínio pertencente ao Grupo Curimbaba  
EPA - *Environmental Protection Agency*.  
ESK - *Elektroschmelzwerk Kempten*  
EUA - Estados Unidos da América.  
FEPA – *Federation of European Producers of Abrasives*  
h-BN – nitreto de boro hexagonal  
HPHT – *High Pressure High Temperature*. Método de fabricação de diamante sintético a altas pressões e temperaturas  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia  
IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados  
IR – Imposto sobre a Renda  
ISO - *International Organization for Standardization*.  
kWh – 1000 Watt hora. Energia equivalente ao consumo de 1000 Watt por uma hora.  
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia  
MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.  
MME - Ministérios de Minas e Energia.  
NBR - Norma Brasileira – Edita pela ABNT  
PBAC – Plano Brasileiro de Avaliação e Certificação do INMETRO  
PD&I - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação  
PDP - Política de Desenvolvimento Produtivo do MDIC  
PIB – Produto Interno Bruto  
PPA – Plano Plurianual do Governo Federal  
Preço FOB - *Free On Board*. Representa o preço ofertado cobrindo todas as despesas e riscos do produto até que este ultrapasse a murada (extremidade) do navio no país de embarque, sem a contratação do frete internacional.  
Seplan, BA – Secretaria do Planejamento do Governo da Bahia  
SiC - carbetto de silício  
SINAESP - Sindicato da Indústria de Abrasivos do Estado de São Paulo  
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos  
VP – Vice Presidente  
USGS – *United States Geological Survey*  
AliceWeb - Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet, da Secretaria de Comércio Exterior, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.  
ASTM - *American Society for Testing and Materials*

## 14. ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1.3 – Gráfico e Quadro de participação na produção mundial de alumínio eletrofundido	15
Figura 3.1.6 - Gráfico e Quadro de participação na produção mundial de carbeto de silício	16
Figura 3.1.9 - Gráfico e Quadro de participação na produção mundial diamante sintético	17
Figura 4.3 - Aplicação de macrogrãos de carbeto de silício em Abrasivos	29
Figura 4.4 - Aplicação de microgrãos de carbeto de silício em Abrasivos	29
Figura 7.1 - Fluxograma do processo de fabricação de carbeto de silício	52
Figura 10.1 - Diagrama de rotas produtivas de abrasivos	57
Gráfico 3.1.1 – Capacidade mundial de produção de óxido de alumínio eletrofundido	14
Gráfico 3.1.4 - Capacidade mundial de produção de carbeto de silício	15
Gráfico 3.1.7 - Produção mundial de diamantes sintéticos	16
Gráfico 3.2.1 - Preços de óxido de alumínio e carbeto de silício	17
Gráfico 3.2.3 - Preços de diamantes e nitreto de boro cúbico	18
Gráfico 5.1.1 – Evolução da importação de diamantes industriais	35
Gráfico 5.1.3 – Evolução do consumo aparente de diamantes industriais	36
Gráfico 5.1.4 – Consumo aparente de diamantes por milhão de habitantes	36
Gráfico 5.1.6 – Consumo aparente de diamantes por bilhão de US\$ PIB	37
Gráfico 5.1.8 - Projeção do consumo de diamantes com aplicação direta do modelo	38
Gráfico 5.1.9 - Projeção do consumo de diamantes por habitante - com saturação	38
Gráfico 5.1.10 - Projeção do consumo de diamantes por milhão US\$ PIB	39
Gráfico 5.1.11 - Projeção do consumo de diamantes após normalização pelo PIB	40
Gráfico 5.1.13 - Evolução comparativa do consumo de diamantes e c-BN (Aliceweb)	41
Gráfico 5.1.14 - Importações e exportações de alumina branca normalizadas pelo PIB (Aliceweb)	42
Gráfico 5.1.15 - Importações e exportações de alumina marrom normalizadas pelo PIB (Aliceweb)	42
Gráfico 5.1.16 - Importações e exportações de carbeto de silício normalizadas pelo PIB	43
Gráfico 5.1.18 - Consumo aparente de alumina norte-americano normalizado pelo PIB	44
Gráfico 5.1.20 - Consumo aparente de SiC norte-americano normalizado pelo PIB	45
Gráfico 6.2.1 - Produção, comércio exterior, estoques e consumo aparente norte-americanos para o carbeto de silício em t	48
Gráfico 6.2.2 - Produção, comércio exterior, estoques e consumo aparente norte-americanos para o óxido de alumínio em t	49
Quadro 3.1 - Classificação de abrasivos	8
Quadro 3.2 - Composição típica de bauxita para fusão	11
Quadro 3.1.2 – Capacidade mundial de produção de óxido de alumínio eletrofundido	14
Quadro 3.1.5 - Capacidade mundial de produção de óxido de carbeto de silício	15
Quadro 3.1.8 - Produção mundial de diamantes sintéticos	16
Quadro 3.2.2 - Preços de óxido de alumínio e carbeto de silício	17
Quadro 3.2.4 - Preços de diamantes e nitreto de boro cúbico	18
Quadro 3.2.5 - Preços de alumina eletrofundida - MPW	18
Quadro 3.2.6 - Preços de carbeto de silício - MPW	19
Quadro 3.4.1 - Certificações e adesão a normas da indústria	21
Quadro 3.10.1 - Composição de efluente de planta de carbeto de silício	25

Quadro 4.1 - Tamanho do grão abrasivo de carbetto de silício x tipo de operação abrasiva	27
Quadro 4.2 - Normas ANSI B74.12-2001 e FEPA 42-GB-1984 (R 1993) para macrogrãos	28
Quadro 4.5 - Aplicação de superabrasivos por material e tipo de operação	32
Quadro 5.1.2 – Evolução da importação de diamantes industriais	35
Quadro 5.1.4 – Evolução do consumo aparente de diamantes industriais	36
Quadro 5.1.5 – Consumo aparente de diamantes por milhão de habitantes	36
Quadro 5.1.7 – Consumo aparente de diamantes por bilhão de US\$ PIB	37
Quadro 5.1.12 - Correlação dos períodos quadrimestrais com o PPA	40
Quadro 5.1.16 - Dados usados nos gráficos 5.1.15 e 5.1.16	42
Quadro 5.1.17 - Importações e exportações de carbetto de silício normalizadas pelo PIB	43
Quadro 5.1.19 - Consumo aparente de alumina norte-americano normalizado pelo PIB	44
Quadro 5.1.21 - Consumo aparente de SiC norte-americano normalizado pelo PIB	45
Quadro 10.2 - Estimativa de custos diretos de produção de abrasivos	58
Quadro 10.3 - Valores de produtos abrasivos acabados (Aliceweb)	59
Tabela 6.1 - Maiores fabricantes mundiais de SiC - sem a China	46

## 15. AGRADECIMENTOS

Aos seguintes profissionais por nos atenderem no SINAESP e dedicarem várias horas a responder nossas perguntas:

- Reinaldo Monteiro – Presidente do SINAESP
- Luís Carlos Caetano – Diretor da Element 6
- Herbert Tien Chi Zing – Diretor da Amaril
- Túlio Lissandro Melo de Moraes – Gerente de Marketing e Vendas da Treibacher

Ao Túlio em especial pelo seu trabalho na área de carbetos de silício, fonte de informação para muitas seções deste relatório, e material disponibilizado.

Aos colegas que mesmo em sua limitadíssima disponibilidade sempre encontraram tempo para contribuir e comentar construtivamente o trabalho:

- José Jaime Snelwar
- Remo Scalabrin

E ao restante da equipe pelo empenho e compromisso demonstrado.

## 16. EQUIPE DE TRABALHO

*Maurício Dompieri*, Engenheiro de Minas e Mestrando em Engenharia de Minas pela POLI/USP, mdompieri@hotmail.com

*José Jaime Szelwar*, Engenheiro de Minas e Mestre em Engenharia de Minas pela POLI/USP, jose.jaime@szelwar.com

*Remo Scalabrin*, Engenheiro de Minas pela UFRGS e Pós em Administração pela FGV, rs@rsconsultoria.com.br

*Marcos Ayres Meloni*, Estagiário de Engenharia de Minas, POLI/USP, 5º ano, marcos.meloni@gmail.com

*Maiara Paula Munhoz*, Estagiária de Economia, Mackenzie, 2º ano, maiara\_paula@hotmail.com

*Elaine Aparecida Rizzoli*, Administração de Empresas, Centro Universitário FIEO, elaine@rsconsultoria.com.br