

PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS E SUAS RELAÇÕES COM A MINERAÇÃO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE LINHAS DE P & D

MARCELLO M. VEIGA
JOSÉ OCTÁVIO ARMANI PASCHOAL

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Fernando Collor de Melo

SECRETÁRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
José Goldemberg

PRESIDENTE DO CNPq
Gerhard Jacob

DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA
José Duarte de Araújo

DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
Jorge Almeida Guimarães

DIRETOR DE PROGRAMAS
Darcy Closs

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DIRETOR
Roberto C. Villas Bôas

VICE-DIRETOR
Peter Rudolf Seidl

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS - DTM
Adão Benvindo da Luz

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRATIVA - DME
Juliano Peres Barbosa

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INSTRUMENTAL - DQI
José Antônio Pires de Mello

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO - DES
Ana Maria B. M. da Cunha

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO - DAD
Clarice Dora Gandelman

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
CETEM / CNPq
BIBLIOTECA

PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS E
SUAS RELAÇÕES COM A MINERAÇÃO:
UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLI-
MENTAÇÃO DE LINHAS DE P & D

Marcello M. Veiga*
José Octávio Armani Pascoal**

CI-00005231-5

Também: 006207

*SED 16
CÉ
EX 1*

*Engenheiro Metalúrgico (PUC), MSc. Geoquímico (UFF), Depto. Mineralogia e Petrologia - Inst. Geociências USP (doutorando)
**Engenheiro de Materiais (UFSCar), MSc. Metalúrgico (USP), Ph.D. de Materiais (Univ. Karlsruhe - Alemanha)

PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS E SUAS RELAÇÕES
COM A MINERAÇÃO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE LINHAS DE P & D
SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

FICHA TÉCNICA

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Francisco Rego Chaves Fernandes

REVISÃO

Milton Torres B. e Silva

EDITORIAÇÃO ELETRÔNICA

Alessandra S. Wisnerowicz

Fátima da Silva C. Engel

Márcio Luis D. Lima

Ricardo Antonio N. Bezerra

ILUSTRAÇÃO

Jacinto Frangella

Pedidos ao:

CETEM/CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

Departamento de Estudos e Desenvolvimento - DES

Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21949 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Fone: (021) 260-7222 - Ramal: 218 (BIBLIOTECA)

Solicita-se permuta.

We ask for change.

Veiga, Marcello M.

Panorama do setor de materiais e suas relações com a mineração: uma contribuição para a implementação de linhas de P & D / Por Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Paschoal. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991.

126 p. - (Série Estudos e Documentos, 16)

1. Materiais 2. Mineração 3. Pesquisa e Desenvolvimento
I. Paschoal, José Octávio Armani II. Título III. Série.

ISSN 0103-6319

ISBN 857227-014-0

CDD 001.43

CETEM
BIBLIOTECA

Reg. N.º 859 Data 9/10/91

ex: 1

estudos e

documentos

16

ISSN 0103-6319

PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS E SUAS RELAÇÕES COM A MINERAÇÃO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE LINHAS DE P & D

MARCELLO M. VEIGA
JOSÉ OCTÁVIO ARMANI PASCHOAL

 CETEM	
PATRIMÔNIO	
17-B - 3995	
COL. DE	VOL N°
DATA 23/04/93	
REG. N°	
BMB	

col. 43

V. 426p

ex 1



APRESENTAÇÃO

O exercício da prospectiva tecnológica vem ocupando espaços cada vez maiores no rol das atividades e preocupações de dirigentes de empresas e entidades que buscam compreender os eventuais, e alternativos, rumos que seus negócios possam tomar, em função de causas sinérgicas atuantes sobre o dia-a-dia da vida de seus empreendimentos.

Na realização desse exercício, aliam-se especialistas dos mais variados, tais como, engenheiros, historiadores, economistas, sociólogos, juristas e outros, que coordenadamente, dentro de uma metodologia discutida e acordada previamente realizam a tortuosa caminhada dos estudos e cenários que conduzam à consecução desse proposto exercício.

Tal preocupação no CETEM se deve à presunçosa resposta às questões: Para onde caminha o "mundo" dos materiais? Nele, onde se encaixam os minerais? Qual o papel do Brasil na área mineral mundial? E qual aquele do CETEM?

Para que se possa estruturar a busca a estas respostas, foi instituído um Fórum de Prospectiva e Avaliação Tecnológica, de existência e caráter permanente, atuando junto à Diretoria e sob a orientação de um Conselho Consultivo constituído por personalidades de notório saber em vários segmentos do pensamento brasileiro.

Um dos trabalhos emanados dos exercícios conduzidos pelo Fórum é a presente monografia, de autoria do Eng. Metalúrgico, M.Sc. Geoquímica Marcello Mariz da Veiga, e do Eng. e Ph.D. em Materiais José Octavio Armani Paschoal, profissionais

respeitados e atuantes nos setores minero-químico-metalúrgico brasileiro, e ora colocado à discussão da comunidade científico-tecnológica nacional.

Roberto C. Villas Bôas

Diretor

PREFÁCIO

Mudanças estruturais estão ocorrendo na produção e uso dos materiais, que envolvem não apenas a substituição por sucedâneos, mas também novas aplicações e propriedades para aqueles já existentes ou conhecidos, bem como novos processos para seu tratamento. Essa “revolução” foi impulsionada graças ao extraordinário desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais, nas últimas décadas, caracterizando-se pelo conhecimento mais profundo da sua microestrutura e pela possibilidade de produzi-los de acordo com especificações de desempenho requeridas.

As repercussões dessa “revolução” são amplas, tendo em vista que os materiais são utilizados na fabricação das estruturas e objetos (peças, componentes e bens finais), presentes em nossa atividade produtiva e vida cotidiana. Tais repercussões envolvem aspectos econômicos e sociais, afetando a qualidade do produto, o padrão de consumo e as estruturas de mercado e produção; aspectos geopolíticos, influenciando nos termos de intercâmbio e na balança de poder entre as nações; e aspectos ambientais, implicando em mudanças no consumo e dispêndio de energia e recursos naturais.

Os chamados “materiais avançados” apresentam elevado efeito econômico multidisciplinar sobre outros segmentos, e constituem-se em elementos viabilizadores dos modernos produtos e processos, servindo de base para os avanços da fronteira tecnológica e para o desenvolvimento de tecnologias de ponta. Considera-se que essas transformações dos materiais, juntamente com a microeletrônica e a biotecnologia, configuram a emergência de um novo padrão técnico-econômico.

O advento dos “materiais avançados” coincide com uma

sensível inflexão na demanda de materiais nos países mais industrializados, a qual vinha sofrendo um crescimento exponencial nas três décadas que se seguiram à II Guerra Mundial. Caracterizados por serem intensivos em tecnologia e poupadores de insumos energéticos e naturais – especialmente os de origem mineral –, vários desses materiais podem ser produzidos utilizando-se de matérias-primas alternativas. De fato, o desenvolvimento científico-tecnológico nessa área tem se dirigido, em grande medida, para a substituição por sucedâneos que permitam, ademais de se obter um melhor desempenho do produto final, evitar a vulnerabilidade de países do Primeiro Mundo a minerais considerados “estratégicos” e a dependência de fontes externas desses minerais.

Particularmente afetados pela mudança no comportamento da demanda são os metais tradicionais, que perdem terreno como matéria-prima industrial nos países desenvolvidos. A tendência declinante no crescimento do consumo de metais desde meados da década de 1970, se foi motivada, de um lado, pela crise econômica mundial a partir do choque do petróleo, foi também devida à queda da intensidade do uso desses materiais, ou seja, a quantidade em que são empregados por unidade de produto final da economia.

A diminuição da intensidade de uso de certos materiais, e particularmente de certos bens minerais, se apresenta como um dado estrutural de caráter aparentemente irreversível. Ela se explicaria por um conjunto de fatores, de motivação econômica, estratégica e tecnológica:

- a) a substituição de materiais tradicionais, em razão de menor custo relativo, maior eficiência no processo total, menor consumo energético e maior segurança quanto ao suprimento de matérias-primas;
- b) o uso mais eficiente dos materiais em geral e a redução do

consumo por unidade produzida, devido à diminuição de tamanho, espessura, etc;

- c) a mudança no padrão de consumo e a abertura de novos mercados para produtos com conteúdo relativamente baixo de materiais, e
- d) pela diminuição da vulnerabilidade de economias desenvolvidas no que concerne ao suprimento de matérias-primas e materiais intermediários.

Por outro lado, tende a crescer a produção e o consumo de certos minerais, como os minérios industriais e outros que hoje são importantes para as indústrias de ponta.

As transformações em curso no mundo dos materiais, e no padrão técnico-econômico como um todo, colocam, portanto, desafios, e também oportunidades, para os empreendimentos mineiro-metalúrgicos, em grande parte responsáveis pelo suprimento dos materiais utilizados na construção da estrutura industrial existente no mundo.

Não é mais possível ignorar as modificações de caráter estrutural que estão em curso, e que tornam o conteúdo tecnológico a variável estratégica para os materiais em geral.

Do ponto de vista dos países tecnologicamente menos desenvolvidos, essas tendências vêm diminuir muitas de suas vantagens comparativas (recursos naturais e energéticos abundantes, e mão-de-obra barata), já que grande parte dessas economias permanece ainda fortemente voltada para a produção de bens primários de pequeno valor agregado. Os materiais avançados podem representar uma ameaça a itens importantes de suas pautas de exportação, deixando-os ainda entre a opção de importarem maciçamente tecnologia ou utilizarem materiais considerados em declínio pelo sistema técnico-produtivo mundial.

Do mesmo modo que os materiais avançados constituem alternativas para os países centrais à dependência de certos minérios e metais estratégicos, dos quais não dispõem de reservas significativas ou suficientes, os esforços, nos países menos desenvolvidos, deveriam responder às suas carências e vocações específicas. Tal especificidade deveria ter como base:

- a) os fatores naturais e minerais endrógenos;
- b) a capacitação em processos onde apresentem condições de serem competitivos, e
- c) a identificação das oportunidades que se abrem com os desenvolvimentos tecnológicos em curso, no sentido de um desenvolvimento sócio-econômico mais equânime e menos impactante sobre o ambiente natural.

Essas oportunidades surgem particularmente para países como o Brasil, que contam com uma infra-estrutura técnico-científica e industrial razoavelmente estabelecida e com uma rica base mineral, em especial com recursos minerais estratégicos para os setores de tecnologia de ponta (quartzo, nióbio, titânio, berílio, terras-raras, entre outros).

O setor industrial brasileiro, e especialmente o segmento minero-metalúrgico, não pode deixar de considerar essas e outras tendências que se observam no panorama internacional, analisando seus impactos para o Brasil e antecipando possíveis estrangulamentos e oportunidades.

É dentro dessa perspectiva que o CETEM constituiu o Fórum de Prospectiva e Avaliação Tecnológica objetivando, por um lado, promover uma reflexão atualizada e informada a respeito desses desenvolvimentos; e, por outro lado, analisar as implicações e oportunidades que se abrem para a pesquisa tecnológica mineral no País.

O presente trabalho apresenta uma primeira contribuição para esse debate, elaborada no âmbito do Fórum, com o apoio do PADCT.

Marcelo M. Veiga é Engenheiro Metalúrgico e Doutorando em Mineralogia pela Universidade de São Paulo. José Octávio Paschoal é Ph.D. em Engenharia de Materiais, pela Universidade Karlsruhe (Alemanha), e pesquisador do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Sarita Albagli

Fórum de Prospectiva e Avaliação Tecnológica/CETEM

Junho de 1991

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS NO BRASIL	3
2.1 Características	3
2.2 Demanda de Materiais	9
2.3 Sucadâneos e Concorrência entre Materiais de Engenharia	20
2.4 Sucadâneos e Concorrência entre os Materiais Funcionais	56
2.5 Compósitos	77
2.6 A Questão das Novas Tecnologias	81
3. MINERAIS X MATERIAIS: IDÉIAS PARA PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO	88
3.1 Insumos para Materiais Naturais	90
3.2 Insumos para Materiais de Engenharia	94
3.3 Insumos para Materiais Funcionais	113
3.4 Insumos para Materiais com Funções Biológicas	115
3.5 Tecnologia Ambiental	116
4. OBSERVAÇÃO FINAL	120
5. BIBLIOGRAFIA	121

ÍNDICE DE TABELAS

	pág.
TABELA 1: Produção Nacional (1988) de alguns materiais	04
TABELA 2: Renda Anual do Brasileiro	08
TABELA 3: Consumo Médio de Materiais de Produção de Carros da FORD (EUA)	10
TABELA 4: Previsão do Consumo <i>Per Capita</i> de Alguns Metais do Ano 2.000	11
TABELA 5: Taxas de Crescimento Anual (%) de Alguns Metais Básicos e Minérios. Período Projetado: 1975-2000	12
TABELA 6: Distribuição Regional de Minérios, Produção Mineral e Consumo de Metais, 1989	14
TABELA 7: Comparação entre Reservas e Demanda Futura de Materiais Especiais	16
TABELA 8: Produção e Consumo Aparente de Pisos e Azulejos no Brasil	29
TABELA 9: Desempenho das Indústrias de Refratários	30
TABELA 10: Consumo Brasileiro de Aluminas Calcinadas em 1989	35

TABELA 11:	Consumo Interno dos Principais Termoplásticos	49
TABELA 12:	Alguns Mercados Finais dos Plásticos de Engenharia	50
TABELA 13:	Consumo dos Plásticos de Engenharia no Brasil em 1987	51
TABELA 14:	Substituições mais Significativas (1988-89)	52
TABELA 15:	Consumo de Plásticos de Engenharia do Setor Automobilístico	53
TABELA 16:	Aplicações Automotivas de Algumas Novas Resinas	54
TABELA 17:	Principais Funções e Aplicações das Cerâmicas Eletrônicas	57
TABELA 18:	Mercado Mundial de Cerâmicas Avançadas (milhões de dólares)	58
TABELA 19:	Mercado de Cerâmica Eletrônica – EUA (milhões de dólares)	59
TABELA 20:	Mercado Brasileiro de Produtos Finais Selecionados que utilizam Cerâmicas Avançadas	63
TABELA 21:	Composição $c(B/t)_{max}$ dos Principais Magnetos Permanentes	70

TABELA 22:	Mercado Brasileiro para Cerâmicas Magnéticas	71
TABELA 23:	Algumas Cargas Minerais Utilizadas nas Farmacopéias	76
TABELA 24:	Propriedades Mecânicas dos Compósitos Obtidos com Fibras e Cimento	78
TABELA 25:	Evolução dos Investimentos Nacionais em Ciência e Tecnologia em Relação ao PIB	87
TABELA 26:	Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento Segundo a Fonte de Fundos (Governo e Empresa)	87
TABELA 27:	Exportação de Ferro-Ligas	95
TABELA 28:	Produção Brasileira de Ferro-Ligas	96
TABELA 29:	Previsão do Consumo Brasileiro de Carbonato de Cálcio por Setor	107
TABELA 30:	Projeção do Consumo Físico Brasileiro de $CaCO_3$ (Natural + Precipitado) no Setor de Plásticos	108
TABELA 31:	Produção Nacional (1987)	108
TABELA 32:	Capacidade Instalada de Produção de Carbonato Natural de Dolomita	110

	p.
TABELA 33: Consumo Europeu de Cargas Minerais para Plásticos e Borracha	112
TABELA 34: Estimativa do Consumo Americano de Cargas Minerais para o Setor de Plástico	112
TABELA 35: Mercado Brasileiro de Algumas Matérias-Primas Cerâmicas (1989)	114

1. INTRODUÇÃO

Traçar um panorama sobre o setor de materiais, considerando os aspectos técnico-científicos e industriais envolvidos em todas as etapas de produção (mineração, processamento, transformação, etc), constitui-se numa grande tarefa, onde necessariamente atua uma visão pessoal dos autores. Isto é particularmente inevitável no Brasil, dada a falta de uma política específica para o setor de materiais, e de uma mais ampla, designada por nós de política de tecnologia nacional, que está, certamente, relacionada a uma política industrial.

Nesse sentido, procurou-se apresentar o setor de uma maneira diferenciada, contendo uma variedade de conceitos e propriedades pelos quais os materiais vem ganhando *status*. Procurou-se também observar a evolução dos materiais convencionais, bem como os seus sucedâneos a nível mundial, remetendo-a para o panorama brasileiro e verificando seus reflexos na área mineral (matérias-primas).

Ao avaliar o desenvolvimento das novas tecnologias e, conseqüentemente, dos materiais nos países centrais, e fazer um paralelo com os países periféricos, surgem questões fundamentais para os segundos, como é o caso do Brasil, um tradicional importador de padrões de consumo. O desenvolvimento de alguns poucos países, com enorme capacidade tecnológica, definirá padrões de produção e consumo que serão reproduzidos mundialmente. Com esta tendência, os países centrais estarão elaborando os pacotes tecnológicos (projeto, computação, desenho, *marketing*, etc) e aos países periféricos restará o trabalho fabril, pesado, insalubre e mal remunerado, além da poluição ambiental.

A reversão dessa tendência dependerá de modelo político e de desenvolvimento industrial, a ser adotado pelo País, com maciço

investimento em educação, ciência e tecnologia.

A solução de muitos de nossos problemas certamente passa pela questão do desenvolvimento tecnológico, que tem nos materiais uma estreita ligação. Por outro lado, de nada adianta mantermos nossa posição no *ranking* econômico entre os países industrializados, se nossa posição nos indicadores sociais nos iguala aos países mais pobres da África.

O presente estudo foi conduzido sem deixar de avaliar essas questões e, principalmente, situar o setor mineral diante desse quadro. Dentro do cenário internacional de desvalorização do concentrado mineral, como o País se posiciona? O quê, e como pesquisar sem que esse setor perca suas características? Ou deve perdê-las? A estrutura atual dos centros de pesquisa, empresas e universidades que atuam na área mineral está compatível com as novas exigências de desenvolvimento tecnológico do País? Para contribuir nesse processo de reflexão, pretendemos apresentar algumas oportunidades de pesquisas aplicadas e relacionadas a um processo evolutivo, transformando concentrados minerais em materiais de uso ordinário, com maior conteúdo tecnológico.

2. PANORAMA DO SETOR DE MATERIAIS NO BRASIL

2.1 Características

A necessidade de crescimento industrial a nível mundial levou à adaptação e adequação dos setores de produção de insumos básicos. Caracterizar o setor de materiais brasileiro passa pelo reconhecimento prévio da opção desenvolvimentista adotada pelo País na década de 70, onde o fomento à busca de matérias-primas caracterizou uma ação estratégica de verticalização industrial.

Dentro da filosofia de substituição de importações, o País deu um salto gigantesco na preparação da sua infra-estrutura industrial, dedicando elevados investimentos aos setores de mineração, metalurgia, química, energia, transporte e comunicações, que culminaram com um expressivo crescimento do setor de transformação. Contudo, como consequência do modelo de substituição de importações adotado, procurou-se reproduzir aqui padrões de produção existentes em países industrializados. A tecnologia industrial da maioria dos países avançados foi historicamente desenvolvida em função dos recursos naturais locais. A importação dessas tecnologias forçou a demanda de recursos naturais carentes no País e, conseqüentemente, ficou divorciada da potencialidade e das características próprias dos recursos naturais abundantes.

A política mineral brasileira foi fortemente influenciada pelo **I Plano Mestre Decenal para Avaliação dos Recursos Minerais (1965-1974)**, cujo enfoque e incentivo foi dado à busca de matérias-primas caracterizadas como "carentes". Curiosamente, o grande sucesso do plano foi a descoberta de bens minerais abundantes, ou seja, aqueles em que a geologia apontava a vocação nacional. O ferro, o alumínio, o manganês, o nióbio, o titânio, as terras-raras, o zircônio, etc, foram alguns dos elementos que

despontaram, quando se procuravam os carentes metais básicos.

A produção nacional de materiais básicos é relativamente alta. A Tabela 1 apresenta a produção brasileira de 1988 de alguns materiais, cuja utilização é fundamental para o funcionamento da economia do País.

TABELA 1: PRODUÇÃO NACIONAL (1988) DE ALGUNS MATERIAIS

MATERIAL	PRODUÇÃO (x10 ⁶ t)
Aço bruto	24,6
Alumínio primário	0,9
Cimento	25,3
Papel e celulose	8,4
Termoplásticos	2,0
Têxteis	1,2

Fonte: Exame, 1989 e associações de classe

No exemplo específico do aço, com a redução da produção de alguns países¹, o Brasil conseguiu aumentar sua produção em 1,5%. Com a elevação dos preços no mercado internacional, o País conseguiu exportar grande parte da sua produção (hoje já alcança 50% de exportações), embora sua produtividade seja baixa se comparada a outros países com parques industriais mais modernos (ex.: produtividade brasileira de aço: 180t/homem/ano; Coréia, 500t/homem/ano.).

Com a crise econômica dos anos 80 (crises do petróleo e

¹Em 1988/1989, os EUA reduziram a produção em 0,2% e a URSS em 2,4%.

choque econômico), o Brasil praticamente nada investiu na modernização do parque industrial durante essa década. Igualmente, houve uma forte retração nos investimentos em ciência e tecnologia no País. Como consequência, estamos assistindo a uma, ainda que lenta, obsolescência do parque industrial brasileiro. Isto é particularmente importante, uma vez que a internacionalização de parte da economia coloca suas indústrias em nível de competitividade com o mercado externo. A modernização dos setores industriais brasileiros é uma necessidade para a garantia de maior produtividade e competitividade, em nível internacional, dos produtos brasileiros. A introdução de tecnologias, equipamentos e processos mais avançados permite maior agregação de valores aos materiais básicos. Estes aspectos estão fortemente ligados à questão dos materiais, seja do ponto de vista de um novo processo de fabricação dos materiais convencionais (aumento de produtividade), como também do desenvolvimento dos chamados novos materiais (maior competitividade).

Muitos exemplos poderiam ser citados para ilustrar a defasagem tecnológica brasileira, frente aos países desenvolvidos, em relação aos materiais e/ou processos avançados. Apenas para ficar em alguns casos, observa-se o baixíssimo consumo de ferramentas de corte de cerâmicas avançadas à base de nitretos, devido à inexistência de máquinas modernas de alta rotação. Outro exemplo encontra-se na indústria têxtil, onde, dos 165.000 teares em operação no País, apenas 4,3% apresentam equipamentos modernos do tipo a jato de ar e a projétil. Da mesma forma, é ainda baixa a produção de aços via lingotamento contínuo (Exame, 1989).

A seleção de materiais para qualquer uso não considera, apenas, o componente tecnológico como parâmetro; a sua disponibilidade, o fator cultural, o fator econômico e o fator ambiental também devem ser relevantes. Desta forma, a utilização de materiais abundantes no País pode e deve ser incentivada, sem,

contudo, se deixar de considerar os outros aspectos acima mencionados. É importante notar que, com o desenvolvimento tecnológico, os materiais apresentam uma curva de maturidade em relação ao mercado, como mostrado na Figura 1. A demanda de alguns materiais básicos, como aço, cobre e alumínio, já se encontra, a nível internacional, em declínio. Da mesma forma, outros materiais encontram-se na fase de pesquisa e desenvolvimento, ou na produção industrial em rápido crescimento.

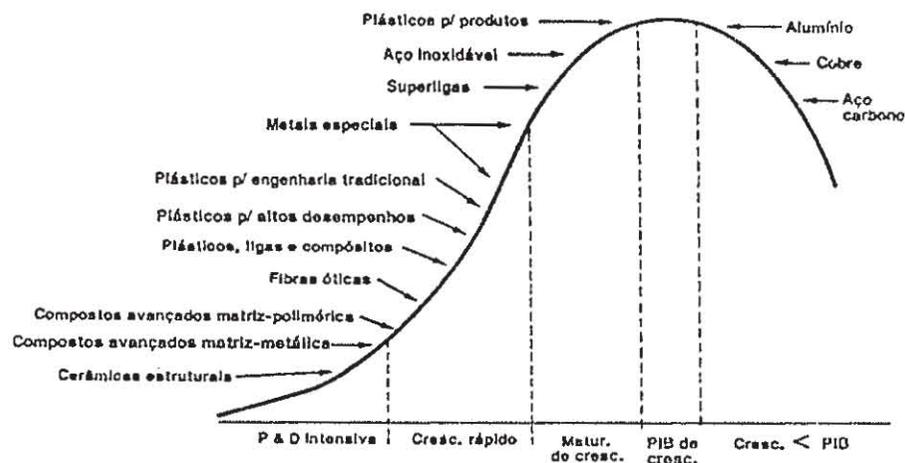


Fig. 1 - Curva de maturidade do mercado de materiais.

Fonte : Metalurgia (ABM), Vol. 46, pg.374 (1990)

A modernização industrial do País, sem dúvida, abriria espaços para a introdução de materiais mais sofisticados, assim como poderia agregar valor aos materiais (insumos) já em produção. O processo de modernização deve ser assunto de análise mais profunda, que neste trabalho não será desenvolvida, para avaliar as vantagens e desvantagens da abertura de fronteiras tecnológicas, assim como da capacidade de resposta a curto e médio prazos da tecnologia nacional.

Finalmente, mas não menos importante, para avaliar o mercado interno de materiais, é necessário caracterizar o consumidor

brasileiro, este sofrido e esquecido agente de mercado, o qual as políticas industriais nunca alcançam.

Alguns dados econômicos são importantes para dimensionar e caracterizar o consumidor nacional de materiais.

A Região Sudeste é, sem dúvida, a mais economicamente ativa, contendo 43% da população total do País. Em 1987, a população brasileira foi estimada em 141,5 milhões de habitantes, dos quais 72% moravam nas cidades. Espera-se um crescimento de 5% da população como um todo até 1990, enquanto a população urbana crescerá 10%.

Um aspecto importante é o número de pessoas economicamente ativas, que somava, em 1987, 56,7 milhões (66% homens). A distribuição de renda anual brasileira é apresentada na Tabela 2.

Cerca de 58% da população economicamente ativa recebem até US\$ 1.500 por ano, ou seja, praticamente o salário médio mensal dos países desenvolvidos. A agricultura continua sendo a maior fonte de miséria do brasileiro, e uma mudança nesse quadro parece ser, no mínimo, um resgate social. Contudo, essa situação só tem piorado nos últimos anos, apesar do crescimento do PIB, em virtude do processo de concentração de renda no País, e, conseqüente, diminuição do poder aquisitivo da população em geral. Por outro lado, essa distribuição de renda certamente se modificaria, se fosse computada a economia informal do País, estimada, inclusive pelo governo, em pelo menos 50% do PIB.

TABELA 2: RENDA ANUAL DO BRASILEIRO

OCUPAÇÃO	< US\$380 (%)	US\$	US\$	US\$	US\$	> US\$7600 (%)
		380/ 760 (%)	760/ 1500 (%)	1500/ 3800 (%)	3800/ 7600 (%)	
Agricultura/pesca	9,3	5,8	5,9	3,4	0,9	0,5
Indústria	0,7	2,4	4,2	6,4	2,2	1,5
Construção	0,2	1,0	2,1	2,6	0,5	0,2
Comércio	1,0	2,0	2,7	3,3	1,3	0,9
Transporte/comum	—	0,2	0,6	1,6	0,6	0,4
Serviços	4,0	5,6	3,9	3,6	0,1	1,0
Atividades sociais	0,6	1,4	1,9	2,4	1,0	0,7
Serviços públicos	0,2	0,6	0,8	0,2	0,8	0,5
Outros	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	0,5
Total	16,4	19,2	22,5	26,1	9,2	6,2

Fonte: Datamark, 1988 (sic)

Ao se analisar o consumo *per capita* dos materiais básicos em relação ao desenvolvimento da infra-estrutura do País, verifica-se que, à exceção dos plásticos e papel/celulose, os materiais apresentam consumo *per capita* decrescente (ex.: aço: 122 kg em 1980, 99,3 kg em 1987, 84 kg em 1988; e o cimento: 185,6 kg em 1986, 182,3 kg em 1987 e 178,8 kg em 1988).

Parece lícito atribuir a queda no consumo dos materiais no País a fatores relevantes, como a diminuição do poder aquisitivo do brasileiro associada ao menor investimento em obras de infra-estrutura (moradias, saneamento, transportes, energia, etc).

Do ponto de vista tecnológico, principal enfoque deste trabalho, cabe analisar quais são as transformações no perfil de consumo de materiais, em curso nos países desenvolvidos, e como

são os reflexos nos países periféricos, cujas economias ainda se baseiam, principalmente, na produção e exportação de matérias-primas brutas ou semi-acabadas e produtos manufaturados.

2.2 Demanda de Materiais

O crescimento do consumo de minérios e metais nos países desenvolvidos, durante os anos 70, sofreu uma modificação acentuada. A taxa de crescimento anual de 4,1%, verificada no período 1963-73, caiu para 0,2% no período 1973-80. Da mesma forma, as taxas de importações de minérios e metais provenientes dos países em desenvolvimento sofreram quedas proporcionais (de 4,0% para 2,0% nos mesmos períodos). As razões para tais fatos têm sido abordadas em vários trabalhos, havendo, contudo, um ponto de convergência de opiniões: os países desenvolvidos creditam maior valor à tecnologia e buscam substituir os materiais "naturais" ² pelos sintéticos, com ganhos energéticos, de mão-de-obra e de desempenho (sem considerar os aspectos sociais).

Se os países centrais também desejam reduzir a dependência externa de matérias-primas através desse processo de substituição de materiais, é um fato prepalado, mas pouco evidente. O aumento das exportações de aço bruto, alumínio e cobre, entre outros, pelos países da América Latina, parece apontar outras tendências, como por exemplo, de que os países desenvolvidos preferem transferir a etapa extrativista poluidora para os países periféricos, até então fornecedores apenas de concentrados minerais.

Os fatores técnicos primordiais para o processo de substituição de materiais, que vêm ocorrendo nos países centrais, são baseados na redução de peso, ganho energético e melhoria de pro-

²GONZALEZ - Vigil, F. - New technologies, industrial restructuring and changing patterns of metal consumption. Raw Materials Report 3(3):11-31, 1984.

O termo materiais naturais é referenciado pelo autor aos minérios e metais. Poderia ser tratado como materiais "convencionais".

priedades. A partir dessa trilogia pode-se verificar algumas conseqüências, como a miniaturização, o crescimento da eletrônica, o desenvolvimento dos plásticos e cerâmicas de alta resistência e, enfim, a melhoria da qualidade de vida das populações que têm ou tiveram acesso a estes novos produtos. Um exemplo claro da substituição de materiais pode ser observado na Tabela 3, que retrata a substituição de materiais e conseqüentemente dos processos produtivos, ocorrida na Ford Motor Co., EUA.

TABELA 3: CONSUMO MÉDIO DE MATERIAIS NA PRODUÇÃO DE CARROS DA FORD (EUA)

MATERIAL	1977 (kg)	1982 (kg)	VARIA- ÇÃO %	1985 (kg)	VARIA- ÇÃO %
Aço laminado	1016	623	-38,6	567	-9,0
Ferro fundido	281	160	-43,2	143	-10,5
Aço (alta resistência)	48	114	+140,0	122	+7,1
Plásticos	75	102	+35,8	102	+0,4
Alumínio	50	60	+20,9	61	+1,5
Borracha	82	59	-28,3	54	-7,0
Cobre e latão	16	15	-6,3	11	-21,9
Chumbo	13	13	0,0	11	-10,7
Zinco	15	5	-66,7	5	0,0
Outros	164	75	-54,3	73	-2,7
Total	1760	1226	-30,3	1149	-6,3

Fonte: Gonzalez-Vigil, 1984

Na Tabela 3 chama-se a atenção para o crescimento dos aços de alta resistência ou os chamados microligados (*HSLA - high strength low alloy*). Trata-se de aços que recebem diminutas quantidades de elementos de ligas, trazendo melhorias significantes nas propriedades mecânicas. Os teores de elementos de

liga são da ordem de 0,002% a 0,2% (ex.: nióbio, titânio, boro, vanádio, cromo, nitrogênio, etc); particularmente o nióbio, cujas reservas minerais brasileiras são praticamente inesgotáveis, foi bastante bem empregado nesses aços microligados, representando hoje a principal demanda do metal (ferro-liga = 75% do nióbio consumido).

A demanda de materiais ditos convencionais tende a aumentar, contudo, em níveis inferiores aos observados na década de 70. O consumo *per capita* projetado para o ano 2000 de alguns metais básicos também é crescente, e pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4: PREVISÃO DO CONSUMO *PER CAPITA* DE ALGUNS METAIS NO ANO 2000

REGIÃO	CONSUMO <i>PER CAPITA</i> (kg)			
	AÇO	ALUMÍNIO	COBRE	ZINCO
Japão	710 (501)	20,24 (6,41)	10,50 (6,6)	6,83 (5,18)
EUA	890 (560,5)	52,25 (17,25)	14,63 (8,95)	9,41 (5,9)
URSS	850	17,47	7,84	3,92
Europa Ocidental	710	20,24	10,50	6,83
Outros países desenvolvidos	680	22,32	11,98	8,58
Europa Oriental	610	13,87	5,41	5,92
América Latina	100	1,72	0,91	0,95
China	60	0,79	0,63	0,54
Índia	51 (12)	0,98 (0,23)	0,44 (0,083)	0,70 (0,151)
Ásia	30	0,50	0,22	0,31
África	20	0,24	0,16	0,07
Mundo	240	7,27	3,06	2,09

Fonte: Lahiri, A. Conservation of Mineral Resources in Commerce, Annual Number, p.47-49, 1976 (UNIDO, 1988)

() = consumo *per capita* médio entre 1967-1969

TABELA 5: TAXAS DE CRESCIMENTO ANUAL (%) DE ALGUNS METAIS BÁSICOS E MINÉRIOS. PERÍODO PROJETADO: 1975-2000

REGIÃO	Al	Cu	Pb	Zn	Sa	Fe (**)	Aço	Mn (**)	Cr (**)	Ni	W	Co
EUA	4,0	1,9	1,8	2,0	0,9	1,6	1,7	1,2	0,5	2,0	2,3	2,9
Europa Ocidental	3,7	2,8	n.d.	2,6	1,8	2,6	2,2	2,6	3,2	2,6	2,6	2,6
Japão	4,9	3,2	n.d.	2,8	2,3	3,3	3,4	3,5	3,9	3,4	3,6	3,7
Outros Países (*)												
desenvolvidos	4,0	2,6	n.d.	3,0	2,3	2,6	2,5	2,9	3,4	2,7	2,9	3,0
URSS	3,5	2,4	n.d.	3,1	1,9	2,6	2,6	3,1	1,3	3,0	2,9	3,1
Países em desenvolvimento	4,6	4,3	n.d.	3,9	2,9	4,2	3,6	4,9	4,2	4,5	3,9	6,6
Mundo	4,1	2,8	2,8	2,9	1,9	2,8	2,6	3,1	3,0	2,8	3,1	3,3

Fonte: Gonzalez - Vigil, 1984

(*) Inclui: Canadá, África do Sul, Austrália e Nova Zelândia

(**) Minérios de ferro, manganês e cromo

n.d. não determinado

Observa-se que as maiores taxas de crescimento de demanda de metais básicos (pode-se extrapolar para os chamados "materiais convencionais") deverá ocorrer para os países em desenvolvimento, onde, diferentemente dos países desenvolvidos, a infraestrutura (ex.: saneamento, energia, habitação, transporte etc) ainda não está consolidada.

Na distribuição regional dos depósitos minerais (Tabela 6) verifica-se que os países em desenvolvimento estão relativamente bem abastecidos de minérios de metais básicos, e com condições de abundância em alguns metais especiais (aplicáveis a produtos de alta tecnologia).

As previsões de consumo mundial de metais e seus respectivos minérios para as próximas décadas indicam um crescimento modesto, contudo positivo. As taxas anuais globais para metais de engenharia, como o ferro, cobre, estanho, zinco e chumbo, variam entre 1 e 3%. O consumo de alumínio, cromo, níquel, tungstênio, cobalto e outros metais usados na produção de aços especiais terá taxa de crescimento variando entre 3 e 4%, enquanto a demanda de metais de maior uso em áreas de alta tecnologia (ex.: nióbio, titânio, gálio, terras-raras) crescerá a taxas superiores a 5% (UNIDO, 1988).

A variação das taxas de crescimento de demanda de alguns metais básicos pode ser observada na Tabela 5.

TABELA 6: DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DE MINÉRIOS, PRODUÇÃO MINERAL E CONSUMO DE METAIS, 1985

MINÉRIO DE	PAÍSES		ECONOMIA CENTRALIZADA		INDUSTRIALIZADOS OCIDENTAIS		EM DESENVOLVIMENTO	
	RES.	PROD.	RES.	CONS.	RES.	PROD.	RES.	CONS.
Alumínio	4	13	21	21	26	44	67	43
Cobre	17	28	24	24	26	32	66	45
Chumbo	21	29	27	27	67	50	61	21
Zinco	14	26	28	28	64	53	67	22
Estanho	10	20	27	27	13	8	61	72
Ferro	40	40	41	41	34	31	45	29
Cromo	18	36	36	36	80	40	7	24
Manganês	37	48	47	47	47	24	16	28
Cobalto	32	13	4	4	4	13	64	74
Molibdênio	13	15	60	60	60	58	27	27
Níquel	24	30	34	34	34	42	42	28
Níobio	17	n.d.	3	3	3	25	81	75
Tântalo	13	n.d.	27	27	27	32	60	68
Titânio(rutilo)	7	4	55	55	71	71	38	26
Vanádio	41	43	59	59	59	57	0	...
Tungstênio	59	57	32	32	32	26	9	18
Zircônio	17	12	72	72	84	4	11	4
Ouro	15	22	72	72	61	61	13	17
Prata	19	48	81	81	52	52	0	0
Fosfato	24	22	40	40	36	36
Potássio	40	47	57	57	22	36	69	36
Fluorita	16	45	47	47	57	47	3	6
					54	28	30	27

Fonte: Kursten et al., 1988

OBS.: Reserva de Minério; Produção de concentrado baseado no metal contido; Consumo de Metal Refinado.

Dados em (%)

Dos países em desenvolvimento, o Brasil e a Índia despontam como os detentores de maior variedade de tipos de minérios.

Os aspectos políticos que se escondem atrás dessas estatísticas são fundamentais na constatação da força do bloco dos países em desenvolvimento na posse e produção do bem mineral. Ao se avaliar quais são os países desenvolvidos que detêm reservas dos minérios indicados na Tabela 6, assim como a produção de concentrado, verifica-se que eles apresentam sistemas econômicos e políticos antagônicos, além de estarem distantes um dos outros: URSS, EUA, Austrália, Canadá, e África do Sul.

Quanto aos países em desenvolvimento, verifica-se que a América Latina dependeria de pouquíssimos metais, até então desconhecidos em ocorrências economicamente viáveis no continente (ex.: vanádio, platina e potássio). Contudo, deter e conhecer o potencial geológico não traz regalias a um país ou um bloco de países. O controle da tecnologia do processamento mineral e metalúrgico é o primeiro passo para obtenção do metal básico, aumentando o seu valor em relação à matéria-prima (ou concentrado) e privilegiando o estabelecimento de políticas de consumo interno e exportação.

Com relação aos países periféricos, coloca-se a seguinte questão: será que eles precisam aumentar suas produções de metais para se desenvolverem, ou existe a intenção dos países centrais de transferirem os processos metalúrgicos, poluidores e demandadores de energia, como é o caso do alumínio, para o Terceiro Mundo, passando a serem importadores de metais e exportadores de produtos de alta tecnologia?

A Tabela 7 (Veiga e Assaz, 1987) apresenta as reservas brasileira, americana e mundial de vinte metais que são tratados como especiais, por suas aplicações e propriedades, ou até, por razões políticas e econômicas (para alguns países), como estratégicos. O cobre figura como elemento comparativo, que por

TABELA 7: COMPARAÇÃO ENTRE RESERVAS E DEMANDA FUTURA DOS METAIS ESPECIAIS

ELEMENTO	(t)		
	RES. BRASILEIRA/ DEMANDA ACUM. 1983 - 2000	RES. E.U.A./ DEMANDA ACUM. 1983 - 2000	RES. MUNDIAL/ DEMANDA ACUM. 1983 - 2000
BERÍLIO	5.523/ 800 ^(a)	73.000/ 6.300	385.000/ 11.000
COBALTO	116.000/ 10.200	862.000/ 180.000	8.300.000/ 540.000
COBRE	11.000.000/ 4.590.000	90.000.000/ 31.000.000	525.000.000/ 170.000.000
CROMO	6.160.000/ 1.175.000	0/ 4.900.000	4.650.000.000/ 45.920.000
GALIO	126.000 ^(b) / 3	2.000/ 290	1.160.000/ 740
HÁFNIO	19.080/ (c)	61.060/ 1.080	381.600/ 2.080
LÍTIO	4.000/ 3.360	408.000/ 58.000	8.250.000/ 160.000
MOLIBDÊNIO	100.000 ^(d) / 73.920	5.350.000/ 500.000	11.770.000/ 1.633.000
NIÓBIO	10.256.000 ^(e) / 23.500	0/ 90.000	10.990.000/ 395.000
NÍQUEL	5.450.000/ 320.000	2.540.000/ 3.450.000	102.000.000/ 16.330.000
OURO	1.270/ 1.210	3.110/ 1.617	45.100/ 20.840
PRATA	136/ 3.700	55.990/ 59.100	335.920/ 167.960
PLATINÓIDES	(f)/ 2	500/ 1.060	37.320/ 4.040
SILÍCIO	adequada ^(g) / 1.266.000	adequada/ 9.070.000	adequada/ 55.330.000
TÂNTALO	1.360/ 530	0/ 12.250	34.470/ 19.500
TERRAS RARAS	320.000 ^(h) / 40.000	5.200.000/ 460.000	48.000.000/ 810.000
TITÂNIO	136.000.000/ 709.000	19.430.000/ 9.980.000	274.000.000/ 38.090.000
TUNGSTÊNIO	11.630 ⁽ⁱ⁾ / 10.090	290.000/ 230.000	3.460.000/ 970.000
VANÁDIO	500.000 ^(j) / 13.610	2.180.000/ 120.000	16.560/ 790.000
ZIRCÓNIO	836.540/ 320.000	5.370.000/ 873.550	34.250.000/ 3.494.220

Fonte: Veiga e Assaz, 1987

(a) Be = Reservas brasileiras potenciais 60.000t; (b) Ga = Considerando 2,5 x 10⁹t de bauxita com 50ppm Ga; (c) Hf = Demanda brasileira dependente dos rumos do desenvolvimento nuclear; (d) Mo = Reservas potenciais; (e) Nb = Reservas nacionais e mundiais pela CBMM; (f) Pt = Não constam reservas brasileiras (consumo Pt 115 kg/ano (1985)); (g) Si = Reservas abundantes. Demanda inclui Si metálico e Si contido nos Fe-ligas em torno de 60%; (h) TR = Reservas e demanda em OTR + Y₂O₃. Demanda acumulada aproximadamente baseada no consumo aparente (73% cloretos, 18% compostos químicos e 9% mishmetal); (i) W = Reservas oficiais + reservas de Pedra Preta, Rio Maria, PA. (2.815t); (j) V = Reservas potenciais.

tanto tempo foi tratado como estratégico e carente no Brasil. A análise da Tabela permite inferir que, de minerais carentes na natureza, temos:

- ouro (as reservas brasileiras são subavaliadas);
- lítio (o potencial pegmatítico brasileiro é pouco conhecido; existe mais);
- molibdênio (realmente são precários o conhecimento de grandes jazidas e o abastecimento nacional);
- wolframita (pouco conhecido o potencial brasileiro);
- platina (não se tem notícias de ocorrências, ou as análises químicas são mal feitas), e
- prata (as reservas brasileiras são insignificantes; a prata secundária é a principal fonte de matéria-prima).

Também pode-se verificar que a maioria dos metais analisados tem caráter litófilo ou granitófilo, característico da evolução geológica e metalogenética dos terrenos brasileiros, incluindo-se, também, os depósitos de enriquecimento supergênico ou afetados pelo intenso intemperismo (típico de países tropicais). Vale acrescentar que não foram incluídas nessa avaliação as reservas de Pitinga, que alteram os valores de zircônio, terras-raras e tântalo.

Contudo, algumas considerações devem ser feitas. Por exemplo, as reservas geológicas referidas pelas companhias de mineração ao DNPM (de onde se obtiveram os dados) nem sempre podem ser consideradas como jazidas, ou seja, depósitos economicamente exploráveis. Da mesma forma, nem todos os depósitos minerais têm tecnologia apropriada, já desenvolvida. Um atenuante é o fato de que as demandas brasileiras projetadas são muito otimistas. Obtidas do II Plano Nacional de Metais

Não-Ferrosos, Consider (1987), as taxas de crescimento da demanda brasileira para os metais especiais foram, em alguns casos, consideradas idênticas às do mercado internacional. Esta avaliação merece ser apurada, pois esses metais, fazendo parte de um rol de elementos que integram os materiais de alta tecnologia, apresentarão taxas de crescimento de demanda mais elevadas nos países centrais.

Um estudo de substituição de materiais e suas conseqüências no sistema produtivo brasileiro poderia ser de grande utilidade para uma comparação com os países desenvolvidos, pois as características de demanda brasileiras são muito distintas. Por exemplo, a redução do consumo *per capita* de aço no Brasil, que em 1980 atingiu 172 kg e que hoje é inferior ao consumo argentino, chileno e mexicano, não está somente relacionada à entrada de materiais sucedâneos, como os plásticos, mas, principalmente, à queda do poder aquisitivo do brasileiro, à falta de investimentos em construções populares e ao próprio crescimento demográfico brasileiro, sem qualquer planejamento.

A análise de sucedâneos e concorrência entre os materiais deve enfocar duas categorias:

- a) os materiais de engenharia, com o que se fabricam peças;
- b) os materiais funcionais, com o que se fabricam componentes específicos de algumas peças.

Os materiais de engenharia são aqueles de maior demanda e sensibilidade no aspecto de mudanças de comportamento mercadológico. Assim, as indústrias automobilística, aeroespacial, de construção civil, naval, química, mecânica, entre outras, são os setores mais afetados por transformações no consumo de materiais.

Os materiais ditos funcionais, caracterizados pelas suas propriedades físicas e químicas, representam a maior parcela

econômica no quadro dos materiais avançados, mas não dos materiais convencionais. Suas propriedades elétricas, magnéticas, ópticas, químicas, biológicas são tão específicas que permitiram o desenvolvimento de novos produtos até então não contemplados. Sem dúvida estão substituindo outros materiais que, contudo, não apresentavam propriedades equivalentes para serem incorporados em produtos de alta tecnologia. Daí seu caráter de sucedâneo ser bastante questionável.

2.3 Sucedâneos e Concorrência entre Materiais de Engenharia

A avaliação da substituição de materiais pode ser apreciada quanto às suas características:

- a) materiais naturais x sintéticos, e
- b) entre os materiais sintéticos: metais, cerâmicos, polímeros e compósitos.

2.3.1 Materiais Naturais (ou Renováveis)

Numa primeira abordagem, Roze (1988) aponta algumas vantagens e desvantagens dos materiais naturais, incluindo aí os produtos de fontes renováveis, como: algodão, lã, seda, fibras vegetais, borracha, cera, óleos, madeira, papel, etc. São elas:

- a) os materiais sintéticos são demandadores de energia hidrelétrica ou de combustíveis fósseis, enquanto os materiais naturais só demandam energia solar;
- b) a produção de materiais sintéticos demanda tecnologia sofisticada e pessoal especializado, enquanto os materiais naturais são produzidos por maior quantidade de trabalhadores não especializados e mesmo marginalizados;
- c) materiais sintéticos podem ser altamente poluidores e requerem instalações complexas, enquanto os materiais naturais são pouco poluentes e de processamento simples;
- d) materiais sintéticos e seus subprodutos permanecem no meio ambiente enquanto os naturais, com poucas exceções, são biodegradáveis;
- e) alguns materiais sintéticos não têm a qualidade dos naturais; por outro lado, muitos materiais sintéticos apresentam

propriedades superiores aos naturais;

- f) o tempo de produção dos materiais sintéticos é menor do que o dos materiais naturais;
- g) menores áreas de terra são necessárias para a produção de materiais sintéticos;
- h) materiais sintéticos são menos susceptíveis à degradação intempérica do que os materiais naturais;
- i) os preços dos materiais sintéticos são influenciados pelo petróleo, pela matéria-prima ou pelo mercado, enquanto os dos materiais naturais são influenciados pelos fatores mercadológicos normais e, mais fortemente, pelos fatores climáticos, e
- j) a tecnologia de produção e comercialização dos materiais sintéticos é desenvolvida e controlada principalmente pelos países desenvolvidos, enquanto os materiais naturais são providos primordialmente pelos países em desenvolvimento.

As considerações acima, apesar de óbvias, ilustram o caráter político, econômico, social e ambiental da comparação entre os materiais. No Brasil estes aspectos são pouco observados, empresarialmente falando. Um exemplo clássico vem da borracha, onde o produto natural da seringueira (*Hevea brasiliensis*) chegou a marcar um ciclo no final do século passado e início deste. A produção de borracha a partir do petróleo só começou a ter expressão a partir de 1958 (em 1955 a borracha natural representou 56% da produção mundial). Em 1979 a produção mundial atingiu o pico de 13,3 milhões de toneladas, das quais 71% foram provenientes do processamento de derivados do petróleo. A partir de então, com o aumento do preço do petróleo, a participação das seringueiras na produção de borracha voltou a aumentar, situando-se próximo a 45%. No Brasil, com a dificuldade de fornecimento de matéria-prima, os fabricantes de artefatos de borracha importam 75% de látex natural da Malásia, e 15% de

borracha sintética, que processam, dos EUA, Japão, Alemanha e França. A indústria de pneumáticos reclama da qualidade do látex "selvagem" e por isso o País tende a desenvolver em maior escala as plantações racionais, principalmente em São Paulo.

Outro fato singular é a carência de madeira de lei como matéria-prima da indústria de móveis. A falta de planejamento e de replantio forçou a devastação de florestas e a introdução de materiais de baixa qualidade (ex.: aglomerados).

A concorrência entre materiais naturais e sintéticos é um ponto que deve ser aprofundado, principalmente no momento em que a componente ambiental apresenta um peso preponderante em processos produtivos. No mesmo escopo devem ser analisadas as vantagens e desvantagens de monoculturas extensivas e os aspectos sociais envolvidos. De qualquer maneira, os materiais naturais ou renováveis representam uma real oportunidade para o Brasil, que consegue reunir todos os fatores positivos (clima, mão-de-obra, área, etc) para se destacar como produtor. Não se trata de retornar à condição extrativista colonial, mas valorizar a cultura agrícola com produtos e subprodutos de maior valor agregado e com produção racional.

2.3.2 Materiais Sintéticos

O outro nível de concorrência ocorre entre os próprios materiais sintéticos. O processo de substituição se dá freqüentemente em direção à redução de custos, sem comprometimento da qualidade. A propriedade enfocada, novamente no âmbito da engenharia, é a resistência mecânica, ou a química e térmica. A propriedade elétrica não envolve mudanças no consumo de grandes massas. Mesmo a fibra óptica, que aparece como o sucedâneo inevitável do cobre em linhas de transmissão telefônica, não chega a afetar 2% da produção do metal.

Assim, as possibilidades de mudanças sensíveis na demanda de materiais devem se dar na seguinte ordem de preferência:

- a) metal substituindo metal;
- b) plástico substituindo metal ou outro plástico;
- c) cerâmica substituindo metal ou outra cerâmica, e
- d) compósitos substituindo metais, plásticos e cerâmicas.

A possibilidade de o metal ser o sucedâneo do plástico ou da cerâmica é uma alternativa pouco provável, a menos que o metal faça parte de um compósito (também chamado conjugado).

2.3.2.1 Metais

Os materiais que despontam como principais sucedâneos dos aços comuns são, principalmente, os aços microligados (para aplicações mais corriqueiras) ou o titânio, em funções estruturais mais nobres.

É interessante notar que os metais refratários (ex.: titânio, tungstênio, molibdênio, zircônio, tântalo e nióbio) são aqueles que, potencialmente, apresentam fortes tendências ao crescimento de consumo, já que são importantes elementos de liga para os aços especiais e, mesmo como elementos estruturais, mostram grande potencial de utilização. São designados metais refratários devido às altas temperaturas de redução dos seus óxidos, e utilizam, normalmente, sofisticados processos de extração (cloração, extração com solventes, etc) e de redução (com alumínio, magnésio, cálcio e sódio).

A resistência à corrosão, seja a baixas ou altas temperaturas, é uma propriedade importante, que coloca em concorrência os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos, sendo um mercado de grandes volumes de fornecimento. As indústrias química, naval,

civil, bélica e aeronáutica são alguns exemplos de mercados para os materiais resistentes à corrosão.

No Brasil, os trocadores de calor para indústria química e petroquímica, cujo mercado é disputadíssimo, são confeccionados preferencialmente com grafita (importada), depois com titânio (importado) e por fim com superligas de níquel (importado). Nos EUA a tendência é justamente inversa, uma vez que o preço das superligas (Hastelloy, Inconel, etc) é mais atrativo. Os plásticos procuram algumas brechas neste mercado introduzindo o termofixo de politetrafluoretileno (Teflon) e um novo produto, o termoplástico Halar (copolímero de etileno-cloro trifluoretileno).

Estes materiais, apesar de baixa eficiência de troca de calor, são empregados em meios corrosivos até 200°C. Os revestimentos plásticos de reatores, bombas, tubulações, etc., têm a preferência do usuário brasileiro, em relação aos revestimentos metálicos e vitrificados. Os vitrificados ainda são caros no País e apresentam inconvenientes quanto ao choque térmico, que limita a temperatura do reator em 300°C, e quanto aos reparos, que têm que ser feitos com tântalo metálico. Os revestimentos poliméricos anticorrosivos mais utilizados no Brasil e de menores custos são o Ebonite (butadieno-estireno) e o Derakene (resina ester-vinílica).

Dentre os metais de uso em engenharia resistentes à corrosão destacam-se as superligas de Ni-Cr (níquel-cromo), como: Inconel, Incolloy, Nimonic, Waspalloy, Hastelloy. Algumas delas foram desenvolvidas pela Cabot americana (hoje Haynes) há pelo menos 50 anos. O fato de várias patentes dessas ligas terem caído em domínio público, inclusive sendo fabricadas pela Eletrometal e Engemasa no Brasil, fez com que a Haynes desenvolvesse outras ligas com pequenas variações composicionais e, segundo o fabricante, melhor resistência à corrosão. Um exemplo é o *marketing* do Hastelloy C-22 (Ni, 22Cr, 13Mo, 3W, 3Fe), novo produto da Haynes para combater o seu próprio e clássico Hastelloy C-276

(Ni, 16Cr, 16Mo, 6Fe, 4W), que vem sendo fabricado por outras firmas. As superligas concorrem com o titânio nas aplicações de engenharia. O mercado americano de superligas de níquel é da ordem de US\$ 250 milhões anuais, enquanto no Brasil este mercado não atinge US\$ 3 milhões.

Um ponto interessante a ser investigado são os critérios que os engenheiros brasileiros adotam na especificação de materiais resistentes à corrosão. Em muitos casos, o projeto básico de uma fábrica já vem pronto do país de origem, com a especificação dos materiais. Outras vezes, o preço no Brasil dos metais especiais (ex.: níquel puro = US\$ 20/kg; titânio = US\$ 65/kg; Hastelloy C22 = US\$ 120/kg) remete o engenheiro e o empresário a pensarem em soluções caseiras, como o plástico. A existência de pequenos comerciantes de ligas especiais também avilta os preços, e assusta ainda mais o consumidor. O fato é que falar em superligas e titânio no Brasil é quase tabu para os fabricantes de equipamentos, pois eles não possuem grande intimidade no trato (soldagem, usinagem, etc.) com esses materiais, que, além disso, são de alto preço.

O Brasil, detentor das principais reservas minerais de titânio e grande produtor do óxido (50.000t/a e perspectiva para 110.000 t/a com a entrada da Dupont), ainda não produz o metal. O mercado de peças de titânio atinge anualmente cerca de US\$ 6 milhões, comercializando cerca de 70t/a. Esse mercado não inclui as próteses ortopédicas e odontológicas de titânio, que começam a ser fabricadas no País, a partir do metal importado, prevendo-se faturamento superior a US\$ 20 milhões/a.

A tendência mundial aponta que nas próximas décadas a grande demanda de novos metais e ligas, que justifique economicamente grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, ficará concentrada na classe mais comum dentre os materiais metálicos, ou seja, os aços. Apesar disso, grandes esforços estão sendo dirigidos para o desenvolvimento e produção

daqueles metais e ligas não-convencionais, considerados hoje estratégicos para os programas de defesa, espacial, energia nuclear e distribuição de energia por supercondutividade. O Brasil enquadra-se no acompanhamento desses desenvolvimentos, uma vez que o parque industrial de armamento para exportação é apreciável (Monteiro, 1987).

Em relação aos novos materiais metálicos, os desenvolvimentos se direcionam em duas linhas: novos processos produtivos (afetando inclusive a microestrutura) e novas composições químicas. As novidades internacionais em metais e ligas para engenharia podem ser relacionadas de acordo com a propriedade visada:

a) alta resistência à fadiga, ex.: ligas com processo de solidificação ultra-rápido resultando em tamanho de grãos muito pequenos ou até amorfos; aplicações aeronáuticas;

b) superplasticidade, conferindo maior capacidade de deformação, ex.: ligas de alumínio; aplicações aeronáuticas;

c) absorção de vibrações, ex.: ligas de manganês ou manganês-cobre; aplicações em equipamentos submetidos a alta vibração;

d) efeito de memória de forma, são ligas que retornam ao formato inicial à temperatura diferente daquela em que foram deformadas, ex.: ligas de níquel-titânio ou cobre-zinco-alumínio; aplicações em ortodontia, ortopedia, robótica, sensores de temperatura, controle remoto, etc.;

e) extrema resistência à corrosão em altas temperaturas; são as superligas (já comentadas), os aços inoxidáveis e os metais: níquel, titânio, tântalo, zircônio, tungstênio, nióbio e suas ligas;

f) ligas de alta resistência mecânica do tipo *maraging* e *inconel* 718, e

g) compostos intermetálicos à base de níquel-alumínio e

titânio-alumínio, que possuem alta resistência mecânica em elevadas temperaturas.

2.3.2.2 Cerâmicas

Entre os materiais cerâmicos de engenharia e de alta resistência química e térmica, podemos destacar a velha e tradicional porcelana branca. A usina piloto de química fina da FTI - Lorena possui os reatores, condensadores, secadores, filtros e outros equipamentos (importados), confeccionados com cerâmica branca. É no mínimo curioso observar que o Brasil, grande produtor mundial de cerâmica branca, não tenha se voltado para o mercado de equipamentos industriais utilizando a mesma tecnologia de conformação que se aplica a um vaso sanitário. No entanto observa-se e estuda-se atentamente a possibilidade de entrada das cerâmicas avançadas em aplicações em que, provavelmente, as cerâmicas convencionais poderiam ser, ao menos, testadas.

As cerâmicas (convencionais ou avançadas) com funções estruturais, conjugando suas propriedades de alta resistência mecânica, química, térmica e elétrica, representam a maior fatia do mercado de cerâmicas. Em 1987, o mercado mundial, representado pelas 73 maiores companhias, faturou US\$ 20,84 bilhões, sendo: 49,5% para o setor de vidros; 24,9% para as cerâmicas avançadas; 14,7% para as cerâmicas brancas; 9,5% para os refratários e 1,4% para os esmaltes para porcelanizar (Ceramic Ind., 1988).

A indústria cerâmica convencional brasileira ocupa um lugar de destaque no *ranking* mundial. Contudo, a falta de investimentos, tanto no parque produtivo como no desenvolvimento tecnológico, vem ameaçando a posição brasileira frente à concorrência internacional. É o caso do setor de revestimentos (piso

e azulejos) cerâmicos, onde o Brasil, segundo maior produtor mundial, abaixo da Itália, vem sendo ameaçado pela crescente presença da Espanha. Dados estatísticos apontam que, já no ano de 1990, a Espanha ultrapassou o Brasil em faturamento no setor de revestimentos cerâmicos.

A Tabela 8 apresenta dados referentes à produção, à exportação e ao consumo brasileiro de pisos e azulejos. É interessante notar a grande flutuação no consumo aparente brasileiro a partir do início dos anos 80. Isto certamente está relacionado à falta de uma política habitacional, somada aos problemas de inflação e recessão verificados na economia brasileira no mesmo período.

TABELA 8: PRODUÇÃO E CONSUMO APARENTE DE PISOS E

AZULEJOS NO BRASIL

8.1 Quadro comparativo da evolução de pisos cerâmicos no Brasil: (mil m²/ano)

Ano	Produção	Exportação	Consumo aparente	%
1970	17.670	—	17.670	—
1971	19.820	—	19.820	12
1972	22.030	—	22.030	11
1973	24.210	—	24.210	10
1974	29.890	—	29.890	23
1975	34.350	—	34.350	15
1976	38.078	475	37.621	10
1977	49.800	747	49.053	30
1978	53.600	911	52.689	7
1979	58.180	1.002	57.178	8
1980	62.000	2.700	59.300	4
1981	66.000	2.520	60.480	2
1982	61.354	1.050	59.204	-2
1983	57.054	1.350	57.604	-3
1984	51.841	1.026	51.342	-11
1985	59.575	839	57.881	13
1986	67.846	1.462	67.052	16
1987	71.091	1.968	64.864	-3
1988	81.920	3.898	72.843	12
1989	85.673	3.611	83.784	15

8.2 Quadro comparativo da evolução de azulejos no Brasil: (mil m²/ano)

Ano	Produção	Exportação	Consumo aparente	%
1974	39.981	1.119	38.247	—
1975	43.290	956	42.766	12
1976	48.075	825	47.721	12
1977	55.095	567	53.887	13
1978	60.249	1.045	57.476	7
1979	63.761	1.406	62.875	9
1980	67.753	3.308	65.134	4
1981	70.903	3.663	60.514	-7
1982	61.390	3.554	57.811	-4
1983	66.865	4.087	63.248	9
1984	66.706	5.603	62.305	-2
1985	69.929	6.642	63.704	2
1986	76.679	7.612	72.506	14
1987	83.637	11.748	67.453	-7
1988	92.048	14.362	68.870	2
1989	99.652	16.765	84.348	22

Fonte: Anfacer

O setor de revestimento cerâmico é um exemplo típico da situação da indústria cerâmica brasileira. Esse segmento praticamente nada investe em desenvolvimento tecnológico. A tecnologia utilizada pelas indústrias brasileiras é, na maioria dos casos, de origem italiana. Os fornecedores de matérias-primas também pouco fazem para melhorar ou controlar a qualidade destas, tornando obrigatório, aos fabricantes de produtos cerâmicos, a instalação de laboratórios de controle de qualidade e de unidades de processamento das matérias-primas naturais para elaboração da massa cerâmica.

No setor de refratários, os investimentos em novos processos nos últimos anos também foram paralisados. O setor siderúrgico é o grande consumidor de refratários; com a crise financeira observada nesse setor, fortemente estatal, a indústria de refratários vem sofrendo uma forte retração. A Tabela 9 fornece alguns dados referentes a produção, faturamento e investimentos realizados nos últimos anos no setor de refratários.

TABELA 9: DESEMPENHO DAS INDÚSTRIAS DE REFRAATÁRIOS

INDICADORES	1985	1986	1987	1988	1989
Faturamento (milhões de dólares)*	306	324	408	500	515
Produção (t)	714.842	782.795	784.444	714.667	655.795
Preço médio US\$/t	412	413	520	700	786
Investimento (milhares de dólares)	2.500	10.000	4.000	40	20
Percentual de investimentos	1,1	3,0	1,0	0,008	0,003

Fonte: Anuário Brasileiro de Cerâmica, 1990

* Câmbio oficial US\$ médio

Apesar da queda de produção, da ordem de 8,5% ao ano,

observada nos últimos dois anos, o setor de refratários tem apresentado um faturamento crescente; isto se deve ao aumento do preço médio dos produtos refratários, ocorrido principalmente pela introdução no mercado de novos produtos. É o caso dos tijolos de carbetto de silício autoligados produzidos pela Magnesita (que responde por 41% do mercado de refratários) destinados a altos-fornos e células de redução de alumínio.

Outro setor muito importante é o da indústria de vidro. O Brasil possui uma razoável capacidade de produção instalada e diversificada de vidros: embalagens 3.750t/dia, planos 2.020t/dia, domésticos 490t/dia, fibra têxtil 75t/dia, fibra isolante 65t/dia, iluminação 150t/dia, cinescópios 225t/dia, isoladores 70t/dia, garrafas térmicas 60t/dia, ampolas 40t/dia, oftálmico 10t/dia e laboratórios 12t/dia.

O setor de embalagens vem sofrendo uma forte concorrência com os plásticos (PET) e, principalmente, com o alumínio metálico. Para melhorar o desempenho do setor de vidros, é necessário aumentar a reciclagem desse material, que continua sendo muito pequena no Brasil, o que a torna inviável em processo industrial. Essas observações constam do Anuário Brasileiro de Cerâmica / 1990 - Panoramas Setoriais.

A partir de uma análise dos outros segmentos da cerâmica convencional, tais como: louça sanitária, fritas, vidrados, pigmentos e corantes, cerâmica branca, cerâmica vermelha (estrutural), abrasivos, etc, pode-se verificar que esses setores encontram-se numa situação semelhante àquela já relatada referente aos setores de revestimentos e refratários cerâmicos, ou seja, falta de investimentos no setor produtivo, conseqüentemente pouca modernização do setor e do desenvolvimento tecnológico.

Outro setor que apresenta grande potencial de crescimento no Brasil é o das cerâmicas avançadas.

As cerâmicas avançadas com aplicações estruturais incluem:

- cerâmicas covalentes: carбето de silício, nitreto de silício, sialon, nitreto de alumínio, carбето e nitreto de boro e diamante;
- óxidos cerâmicos: alumina, zircônia, óxidos de terras raras, magnésia, titânia, etc.

As ligações covalentes predominantes nos materiais cerâmicos não-óxidos proporcionam boa resistência mecânica em altas temperaturas, excelente resistência ao desgaste, baixas constantes dielétricas, alta condutibilidade térmica, ampla faixa de condutibilidade elétrica e alta resistência à corrosão. Alguns destes materiais são abaixo mencionados.

a) Carбето de Silício (SiC)

Apresenta dois estados polimórficos: fase alfa-hexagonal e beta-cúbica. A fase hexagonal é formada a partir da reação sílica-carbono a elevadas temperaturas, enquanto a fase cúbica é resultante da reação de compostos contendo silício e carbono. O carбето de silício é usado como componente de motores à explosão, selos para bombas, bicos resistentes à abrasão, peças para a indústria química, trocadores de calor, capas para termopar, etc. A Carborundum pretende introduzir no País as cerâmicas de SiC de baixíssima porosidade. Trata-se do Hexoloy, produto que já representa 70% do mercado americano de cerâmicas de carбето de silício. Este produto apresenta uma extraordinária resistência à corrosão quando comparado à alumina e ao carбето de tungstênio.

b) Nitreto de Silício (Si₃N₄)

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

O Si₃N₄ denso apresenta as seguintes propriedades: alta re-

sistência mecânica e dureza até elevadas temperaturas, alta resistência ao impacto, boa resistência à fluência, excelente resistência ao choque térmico, boa estabilidade química e térmica, boa resistência ao desgaste e corrosão, e alta resistência dielétrica. Em função dessas propriedades, o nitreto de silício apresenta um grande potencial para aplicações em turbinas de aviões, componentes automotivos, trocadores de calor e ferramentas de corte.

Os motores turbo HONDA já utilizam o nitreto de silício para confecção do rotor. A perspectiva de aplicação desse composto no Brasil para fins automotivos é vislumbrada pela NGK para um futuro de, no mínimo, 10 anos.

c) Sialon

A substituição do íon de nitrogênio no composto nitreto de silício pelo íon oxigênio (O²⁻) e, do mesmo modo, a substituição do íon silício (Si⁴⁺) pelo íon alumínio (Al³⁺) origina o composto (Si,Al) (O,N), o qual foi denominado sialon.

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

d) Nitreto de Alumínio (AlN)

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

A principal aplicação de AlN é como substrato de circuitos integrados, substituindo a alumina nessa aplicação. O AlN é visto

também como o principal candidato para substituir o óxido de berílio, tanto na indústria eletrônica como em outras aplicações mecânicas e eletromecânicas.

e) Carbetto e Nitreto de Boro e Diamante

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

Representam o principal mercado brasileiro das cerâmicas covalentes, alcançando cerca de US\$ 30 milhões, principalmente pelo alto valor unitário desses materiais (US\$ 10/grama).

Os nitretos de Si e Al, assim como o carbetto de silício especial, ainda não têm qualquer expressão no mercado nacional. A atitude de lançamento do Hexoloy (SiC) vislumbra a disputa do mercado de cerâmicas estruturais (guias-fios, tubos, cadinhos, selos mecânicos, etc) com os óxidos cerâmicos, onde domina a alumina, embora pretendam ganhar parcela do mercado das superligas e grafite. Ainda assim, o mercado de peças de alumina (especial) é reduzido, totalizando cerca de US\$ 20 milhões.

Quanto aos óxidos cerâmicos, são relacionados a seguir os mais comumente empregados na cerâmica avançada.

a) Alumina (Al_2O_3)

Alumina cerâmica calcinada é extensivamente aplicada em diferentes campos da tecnologia moderna. Este fato está relacionado às várias propriedades desse óxido, tais como resistividade elétrica, alta resistência à abrasão e ao desgaste, como alta resistência a altas temperaturas e o caráter inerte, associadas à grande disponibilidade e ao baixo custo dos pós de Al_2O_3 e à relativa facilidade de processamento e sinterização de peças cerâmicas.

O mercado nacional de aluminas para cerâmicas estruturais atinge 1700t/a³, sem a inclusão de refratários. Com a inclusão destes, o consumo nacional de alumina calcinada totaliza 8000t/a. A Alcoa iniciou no País, em 1987, a fabricação experimental de aluminas especiais de baixo sódio: APC 3017 = 3,0 μ m diâmetro médio de partículas e 0,17% Na_2O e a APC 2011 = 2,0 μ m diâmetro médio de partículas e 0,11% Na_2O . A resistência mecânica dos produtos sinterizados com estas aluminas tem sido objeto de reclamação dos consumidores. A melhor alumina de alta pureza produzida no País (em 1984) foi feita experimentalmente (20t/a) pela Metal Leve em conjunto com a UFSCar. O baixo consumo brasileiro (Tabela 10) inibiu futuros desdobramentos.

TABELA 10: CONSUMO BRASILEIRO DE ALUMINAS CALCINADAS EM 1989

ALUMINA	COMPONENTE	t	US\$ x 10 ⁶
Alta Pureza ($< 0,2\% Na_2O$)	Velas de ignição	1500	1,50
	Substratos CI	7,5	0,01
	Resistores e outros	300	0,30
Baixa pureza ($> 0,2\% Na_2O$)	Estruturais (tubos, cadinhos, guia-fios)	400	0,40
	Corpos moedores	1300	0,70

Fonte: Paschoal et al, 1990

³Dessas 1700t/a, 1300t/a são consumidas em corpos moedores, sendo empregadas aluminas calcinadas comuns do tipo A1 e A2 da Alcoa. Somente 400 t/a de alumina calcinada especial (ex.: A16-Alcoa ou C75 Alcan) são empregadas para confecção de produtos mais nobres.

b) Zircônia (ZrO_2)

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

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

A zircônia (ZrO_2) ainda tem participação muito modesta no mercado nacional. O consumo de 1 a 1,5 t/a restringe-se aos capacitores e em algumas cerâmicas estruturais (principalmente sensores de oxigênio para siderúrgicas).

Para capacitores, a zircônia é introduzida com função monolítica de formação do $BaZrO_3$ e $CaZrO_3$. Também é utilizada como *setter powder*, isto é, um meio inerte para a sustentação dos capacitores durante a sinterização.

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

c) Óxidos de Terras-Raras (TR_2O_3)

Os óxidos de terras-raras são utilizados como aditivos em cerâmicas à base de zircônia, havendo também aplicações em

cerâmicas de funções eletrônicas. A produção nacional de terras-raras contempla apenas os cloretos de terras-raras (67,2% de $TRCl_3$), óxidos de terras-raras (>92% de TR_2O_3), carbonatos de terras-raras, fluoretos de terras-raras, hidróxido de cério (98%) e mishmetal. A Nuclemon negociou a tecnologia de separação (individualização) de óxidos de terras-raras (leves, médios e pesados) com a firma japonesa Nissho Ioway (1988), embora a CNEN, através do IPEN, já apresentasse resultados bastante satisfatórios quanto ao domínio de tal tecnologia. A Nuclemon prevê a produção de cerca de 100 t/a de TR_2O_3 a partir de 1990. A produção atual é de cerca de 2000t/a de cloretos, 300t/a de mishmetal e 500 t/a de outros compostos de terras-raras.

d) Magnésia (MgO) e Titânia (TiO_2)

Aproximadamente 2/3 da produção de magnésia são consumidos na fabricação de refratários, usados, principalmente, na indústria siderúrgica. A magnésia provém da calcinação da magnesita (carbonato).

A principal aplicação da titânia (extremamente branca) é a pigmentação de tintas representando 50% do seu consumo, seguida da indústria de papel (26%), carga para plásticos (13%) e para borracha (2%), além de outros usos (8%), como o de cargas em alimentos. A produção atual é de 50.000t/a, feita pela Tibrás, com perspectivas de entrada em 1991 ou 92 da Dupont, produzindo 60.000t/a de TiO_2 por processo de cloração em leito fluidizado, a partir do concentrado de anatásio produzido pela CVRD em Araxá. O consumo doméstico é de cerca de 67.000t/a, o que atualmente força a importação. No Brasil, a firma Certec fabrica cerca de 10.000 guia-fios/mês para a indústria têxtil, utilizando 200kg/mês de TiO_2 .

Os outros segmentos de mercado de cerâmica avançada incluem produtos de grandes perspectivas de crescimento no País. É o caso dos suportes de catalisadores para a indústria química,

empregando aluminas e caulim; dos suportes de catalisadores para escapamento de veículos automotivos, à base de alumina/mulita ou cordierita, impregnado com metal nobre e terras-raras e, por fim, das vitrocerâmicas, que são vidros com adição de agentes nucleantes de controle de cristalização (ex.: TiO_2 , ZrO_2 , P_2O_5 , ou agentes metálicos) de modo a obter-se um produto com baixo coeficiente de dilatação térmica, baixa porosidade, etc. As vitrocerâmicas já estão sendo introduzidas no Brasil através da Corning, para painéis de uso doméstico (Vision), cujo preço unitário médio é de cerca de US\$ 25.

Finalmente, um segmento importante a ser mencionado é aquele que utiliza a técnica de *plasma-spray* para cobertura de peças com materiais cerâmicos, principalmente. Através da alta temperatura alcançada em uma tocha de plasma, pode-se fundir o composto cerâmico e aspergi-lo em superfícies sujeitas a severas condições de abrasão e corrosão. Um exemplo de aplicação está nas peças de turbina de jatos. A Varig emprega um zirconato de magnésio para a cobertura de proteção. No Brasil, além da Varig, a Cascadura, Rolls Royce, Brasimet, Mercedes Benz, Metal Leve, são algumas das firmas que utilizam a técnica de *plasma-spray*.

Destaque especial mereço a Metal Leve que tem desenvolvido os pistões de motores a diesel de cerâmica + metal (Al), aventando a possibilidade de entrar em produção utilizando técnica de *plasma-spray*.

2.3.2.3 Plásticos de Engenharia ⁴

Os principais plásticos de engenharia com funções estruturais

⁴O termo plástico de engenharia é normalmente usado para designar peças técnicas principalmente injetadas e por vezes extrudadas com funções: estruturais (82%), operacionais (9,3%), segurança (7%) e decorativas (1,7%). Exclui, por exemplo, embalagens, garrações, mamadeiras, etc.

são os termoplásticos que, em 1987, tiveram uma produção de 1,92 milhão de toneladas para um consumo aparente da ordem de 1,66 milhão de toneladas. Com a expectativa de crescimento do consumo a taxas de 12% a.a., espera-se que o consumo de termoplásticos em 1990 esteja na ordem de 2,3 milhões de toneladas (Abiquim, 1988; Química e Derivados, 1988).

As previsões de vendas de plásticos para 1990 consideram a possibilidade de faturamento de US\$ 2,6 bilhões no mercado interno, e US\$ 0,2 bilhão na exportação (Exame, 1990).

O presente trabalho enfoca mais especificamente os plásticos de engenharia, que representaram 34% do consumo de plásticos em 1987.

Os principais termoplásticos são a seguir listados, apresentando dados sucintos quanto ao destino da produção, com pequenos comentários sobre os deslocamentos que ocasionaram em outros materiais e seus mercados emergentes (Química e Derivados, 1988; Abiquim, 1988).

a) ABS (Acrilonitrila - Butadieno - Estireno)

O consumo em 1987 foi da ordem de 27.000t, sendo a Nitriflex e a Proquigel os dois únicos fabricantes nacionais. A demanda interna teve a seguinte configuração:

- indústria automobilística: 37%
- indústria eletroeletrônica: 30%
- brinquedos: 7%
- equipamentos de escritório: 7%
- telefonia: 6%
- construção civil: 2%
- outros: 11%

para a produção do náilon 6 e 6.6. O consumo desses plásticos para aplicações como plásticos de engenharia foi estimado em 2.366t para o tipo 6, e 11.200t para o tipo 6.6.

A divisão do consumo dos dois produtos foi:

Nailon 6	Nailon 6.6
embalagens: 40%	ind. automobilística: 40%
ind. automobilística: 25%	eletroeletrônica: 21%
eletroeletrônica: 20%	eletrodomésticos: 8,5%
eletrodomésticos: 8%	casa: 8,0%
outros: 7%	ind. mecânica: 5%
	outros: 17,5%

Os náilons ou poliamidas são normalmente empregados em peças que necessitem de maior resistência à temperatura. Os conectores e interruptores são alguns dos itens que utilizam as poliamidas na indústria automobilística.

d) Poliacetal

Este termoplástico ainda não é fabricado no País, mas o seu consumo em 1987 atingiu 4.000t. A taxa de crescimento desse produto é, potencialmente, de 20% a.a., caso se instale uma produção local. A divisão do consumo é:

- itens de consumo geral: 45%
- indústria automobilística: 30%
- eletrodomésticos: 15%
- outros: 10%

O ABS normalmente é utilizado em peças estéticas devido ao seu brilho e aparência. Na indústria automobilística, o ABS é usado em grades, molduras, capas, lanternas, painéis, etc. Os carros que mais utilizam o ABS são os da VW, consumindo em 1987, o Gol: 397t, o Parati: 245t, o Voyage: 551t. Na indústria eletrônica são as televisões os maiores demandadores de ABS, com cerca de 2.252t, seguidas pelos equipamentos de som, 1.040t (Datamark, 1988).

Os grandes concorrentes do ABS são o poliestireno e o polipropileno, que, embora não alcancem o acabamento superficial do ABS, têm custo menor.

b) EVA (Copolímero de etileno e acetato de vinila)

As capacidades instaladas da Poliolefinas e Politeno podem alcançar a produção de até 400.000t/a em suas fábricas multipropósitos com outros polímeros; contudo, o consumo interno (1987) foi de 18.000t, sendo divididas em:

- adesivos *hot melt* - 17%
- placas expandidas - 83% (sendo 70% para solados)

O EVA é um plástico que utiliza grandes quantidades de cargas minerais (até 200% de peso do plástico), principalmente o carbonato de cálcio. A aplicação maior desse plástico está nos calçados (sandálias principalmente).

Um emprego muito recente do EVA é na co-extrusão com outros plásticos, como o PEBD e PEAD, aumentando a resistência e a vedação de embalagens na indústria alimentícia.

c) Náilons ou Poliamida (Caprolactama)

Das 53.000t de caprolactama produzidas em 1987 pela Nitrocarbono, cerca de 42.000t destinaram-se ao consumo nacional,

Os itens que utilizam o poliacetal são os mais diversos, sendo os isqueiros (832t/a), fitas, presilhas, aparelhos de barbear, os principais demandadores.

e) Policarbonato

A Policarbonatos produziu, em 1987, 3.457t para um consumo interno de cerca de 3.000t, assim divididos:

- indústria automobilística: 17%
- mamadeiras: 15%
- blendas e compostos: 15%
- garrações de água: 15%
- eletroeletrônica: 14%
- eletrodomésticos: 4%
- diversos: 20%

Os principais itens automobilísticos foram pára-choques, caixas de fusível e lanternas.

f) Poliéster (insaturado)

A produção, em 1987, desta resina foi de 33.000t, efetuada por nove companhias, sendo as principais: Resana, Cersa, Alba, Hoechst e Embrapol. O consumo interno foi de 32.449t, sendo dividido em:

Reforçado:

- transporte: 15%
- laminados náuticos: 12%
- setor automobilístico: 10%

- construção civil: 10%
- equipamentos esportivos: 5%
- equipamentos anticorrosivos: 5%
- setor eletroeletrônico: 4%
- outros: 8% (maq. costura e ortopédicos)

Não Reforçado:

- massas plásticas: 24%
- *gel coat*: 5%
- mármore sintéticos: 1%
- botões: 1%

O reforço normalmente se faz com fibra de vidro, e as carrocerias de veículos representam o item de maior consumo (1.441t em 1987).

A aceitação do consumidor do composto de fibra de vidro com o poliéster vem crescendo, substituindo a madeira, ferro-fundido ou alumínio. A firma Fiberglass pretende aumentar a capacidade produtiva em 70% em 1990 (Exame, 1990).

g) Poliestireno (PS)

A capacidade instalada atual é de 210.800t/a, divididas entre Basf, EDN-BA, EDN-Sul, Monsanto, Proquigel, Resinor e Tupy. Das 157.602t produzidas em 1987, 133.000t foram consumidas internamente nos seguintes setores:

- descartáveis domésticos: 17%
- eletroeletrônica: 16%

- refrigeração: 13%
- descartáveis industriais: 11% (embalagens)
- brinquedos: 7%
- calçados: 6%
- eletrodomésticos: 4%
- utilidades domésticas: 3%
- construção civil: 3%
- artigos de escritório: 3%
- embalagens injetadas: 2%
- outros (indústria automobilística, embalagens industriais injetadas, materiais médico-farmacêuticos, etc): 15%

Os itens de maior consumo foram os utensílios de cozinha e gabinetes de eletrodomésticos.

O PS tem como grande concorrente o polipropileno.

h) Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

As quatro produtoras (Poliolefinas, Politen, Triunfo e Union Carbide) atingiram, em 1987, 630.549t de PEBD, das quais 462.000t foram consumidas internamente em:

- filmes para embalagens convencionais: 41%
- sacarias industriais: 17,5%
- moldagem por sopro: 8,5%
- filmes para embalagens de leite: 6,4%
- moldagens por injeção: 6,4%

- placas expandidas/calçados: 4%
- lonas: 3,5%
- revestimentos: 2,1%
- laminados: 1,4%
- outros (tubos, mangueiras, cabos, etc): 9,2%

O PEBD normalmente não é um plástico de engenharia com função estrutural, mas sua aplicação como tal vem crescendo.

i) Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

A produção da Eletrocloro, Polialden e Polisul atingiu (1987) 261.000t, das quais 194.000t foram demandadas pelo mercado interno, acusando um crescimento de 7% sobre o ano anterior. A divisão do consumo foi:

- embalagens: 42%
- utensílios domésticos: 14%
- filmes: 12,5%
- brinquedos: 11,5%
- fibras: 6%
- peças técnicas: 5%
- tubos e conexões: 1%
- outros: 8%

Uma das aplicações mais significativas foi em tanques de gasolina para a indústria automobilística, cuja produção foi iniciada pela Ford.

j) Polietileno Tereftalato (PET)

O produto é relativamente novo, com produção totalmente nacional, iniciada em 1988 pela ICI, com capacidade de 12.000t/a. Os principais mercados do PET são:

- chapas de raios X: 31%
- artes gráficas e microfilmes: 25%
- isolamento de motores elétricos: 16%
- fitas para computadores: 5%
- outros: 23%

A entrada do PET (1989) no setor de refrigerantes vem deslocando os vasilhames de vidro.

Como plástico de engenharia (de alto desempenho) existe o mercado de estrutura de capacitores.

l) Polipropileno (PP)

Da produção de cerca de 280.000t (1987) realizada pela Polibrasil, PPH e Polipropileno, 198.000t foram absorvidas pelos transformadores de resinas nacionais, com a seguinte divisão de consumo:

- embalagens: 23%
- indústria têxtil: 16%
- filmes: 14,5%
- fibras: 11%
- utensílios domésticos: 6%
- peças técnicas: 2,5%

- construção civil: 0,7%
- móveis: 0,6%
- outros: 25,7%

O PP tem sido uma das resinas mais bem sucedidas no Brasil em termos de substituição de outras (Datamark, 1988).

Como plástico de engenharia destaca-se seu crescimento na fabricação de pára-choques (Gol: 300,5t; Chevette: 244,6t; Escort: 63,4t, em 1987) substituindo o aço cromado.

A boa resistência química e térmica do PP tem ocasionado seu uso como revestimento de válvulas e tubulações na indústria química.

m) Cloreto de Polivinila (PVC)

Os produtores de PVC (Brasivil, CPC-BA, CPC-SP, CPC-AL, Eletronorte) trabalham quase à capacidade plena, produzindo, em 1987, cerca de 452.000t de PVC. O País consumiu 380.000t, sendo a divisão do consumo assim distribuída:

- tubos e conexões: 36%
- filmes: 17%
- compostos de PVC: 11,5%
- embalagens: 7%
- fios e cabos: 7%
- calçados: 6,5%
- móveis: 3%
- outros: 12%

O PVC é um dos mais utilizados plásticos de engenharia. Tomando-se como base os tubos, calçados, peças injetadas, mangueiras e brinquedos, que representam 61,4% do consumo total em 1987, o faturamento correspondeu a US\$ 175,4 milhões.

Outro plástico de engenharia (neste caso um termofixo) de bom desempenho estrutural é o politetrafluoretileno (PTFE) muito conhecido pelo nome comercial de Teflon, de um dos seus fabricantes.

A resistência à temperatura (200 a 250°C) confere ao PTFE um dos seus principais usos, que é na confecção de peças térmicas (juntas, válvulas, arruelas, etc). O consumo interno é estimado em 700t (1987), equivalentes a US\$ 17,9 milhões, sendo dividido em (Datamark, 1988):

- peças térmicas: 65%
- fitas: 25%
- revestimento: 10%

O preço do PTFE atingiu US\$ 25,64/kg em dezembro de 1987, sendo um dos principais obstáculos para seu uso extensivo. Se compararmos com o valor de US\$ 0,94/kg do PP, verifica-se que este termoplástico vem ganhando mercado do PTFE nas aplicações de revestimento de válvulas e tubulações.

Tomando os 5 principais termoplásticos, o mercado interno de 1988 e 1989 mostra um alto crescimento, como apresentado na Tabela 11.

TABELA 11: CONSUMO INTERNO DOS PRINCIPAIS TERMOPLÁSTICOS

TERMOPLÁSTICO	MERCADO INTERNO (t)		CONSUMO (%)
	89	88	
PP(polipropileno)	246.044	208.778	17,85
PEAD(polietileno de alta densidade)	216.990	186.832	16,14
PEBD(polietileno de baixa densidade)	504.230	433.730	16,25
PVC(cloreto de polivinila)	444.090	378.791	17,24
PS(poliestireno)	156.670	124.253	26,09
Total	1.568.024	1.332.384	17,69

Fonte: PPH

O consumo interno de termoplásticos empregados como plásticos de engenharia totalizou, em 1987, US\$ 661,3 milhões, sendo 563.246t utilizadas para este fim. Os plásticos de maior emprego foram: PVC (41,6%), PEAD (16,1%), PS (13,8%), PP (7,3%), Poliéster (5,8%) e ABS (4,8%), por tonelagem.

As resinas consideradas de alto desempenho representam apenas 4,18% da massa de plásticos de engenharia consumidos em 1987. Contudo, faturaram US\$ 108,4 milhões, o que corresponde a 16,4% do valor total (Tabela 13).

As chamadas resinas de alto desempenho são empregadas preferencialmente nos setores apresentados na Tabela 12.

TABELA 12: ALGUNS MERCADOS FINAIS DOS PLÁSTICOS DE

ENGENHARIA

PRODUTO	%	
	RESINAS DE ALTO DESEMPENHO	OUTRAS RESINAS
Móveis	71,7	28,3
Bicicletas	60,4	39,6
Eletroeletrônicos	49,2	50,8
Eq. telecomunic.	32,0	68,0
Bens de Consumo (*)	23,1	76,9
Eq. terraplanagem	16,7	83,3
Autopeças	15,3	84,7
Autopeças (reposição)	13,0	87,0
Eletrodomésticos	10,7	89,3
Motocicletas	7,1	92,9
Máquinas de escritório	6,9	93,1

Fonte: Datamark, 1988

TABELA 13 - CONSUMO⁽¹⁾ DOS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA NO

BRASIL EM 1987

PRODUTOS	TONELADAS	US\$ x 10 ⁶
Resinas de Alto Desempenho	23.551	108,4
Óxido de polifenileno (PPO)	950 ^(*)	6,1
^(*) Poliacetal (POM)	3.950	22,6
^(*) Poliamida 6 (PA.6)	2.550	7,8
^(*) Poliamida 6.6 (PA 6.6)	11.200	32,1
^(*) Poliamidas 11 + 12 (PA 11 e PA 12)	262	2,5
Polibutileno tereftalato (PBT)	1.300	7,0
^(*) Policarbonato (PC)	2.372	15,5
^(*) Politetrafluoretileno (PTFE)	455	11,7
Polivinil butiral	512	3,1
Outras Resinas	539.695	552,9
^(*) Acetato de celulose	476	1,8
Acrilonitrila, butadieno, estireno (ABS)	26.813	50,1
^(*) Cloreto de polivinila (PVC)	233.934	175,4
^(*) Copol. etileno e vinil acetato (EVA)	505	0,6
Copol. estireno e acrilonitrila (SAN)	2.500	5,1
Poliéster (insaturado)	32.449	70,7
Modiestireno (PS)	77.935	84,2
Poliétileno de alta densidade (PEAD)	90.720	75,3
^(*) Polietileno de baixa densidade (PEBD)	13.745	9,5
^(*) Polipropileno (PP)	41.058	34,1
Poliuretano (PU)	14.200	27,4
Resina acrílica	2.000	10,3
Resina fenólica	3.360	8,4
Total	563.246	661,3

Fonte: Datamark, 1988

(1) O consumo é de PPO/PS (50%) ou Noryl

^(*) Resinas que admitem cargas inorgânicas. As mais utilizadas nos plásticos de engenharia são o CaCO₃, fibra de vidro, grafita, molibdenita e talco.

Pode-se verificar pela Tabela 13 que os produtos que consomem resinas de alto desempenho são os de maior valor agregado. O setor que consome maior massa desses tipos de resinas é o automobilístico (4.643t ou 23,4%) seguido dos bens de consumo (10,5%) e eletrodomésticos (10,2%).

As substituições entre as resinas são um processo freqüente, fruto da pesquisa e da necessidade de redução de custos dos setores consumidores. As mais significativas substituições no período 1988-1989 estão apresentadas na Tabela 14.

TABELA 14 - SUBSTITUIÇÕES MAIS SIGNIFICATIVAS (1988-89)

MATERIAL NOVO	MATERIAL VELHO	PRODUTO	MODELO	TONELADAS
PPO/PS	ABS	Autopeças	Voyage	265,83
PPO/PS	ABS	Autopeças	Gol	187,84
PA 6	PA 6.6	Eletroeletrônicos	Vários	149,10
PU	PS	Máquinas de escritório	Terminais de comunicação	133,00
PPO/PS	ABS	Autopeças	Parati	118,32
PS	ABS	Máquinas de escritório	Maqs. escrever	65,53
PEAD	PP	Aparelhos domésticos	Utens. cozinha	50,16
PS	PU	Produtos industriais	Balanças eletrônicas	11,74
ABS	PS	Máquinas de escritório	Teclados	10,45

Fonte: Datamark, 1988

O óxido de polifenileno (PPO) com poliestireno (PS), substituindo o ABS, é a principal mudança observada. Somente no setor automobilístico, incluindo 7 marcas de automóveis, a substituição do ABS projeta a cifra de 634,11t. A razão é o ganho da resistência mecânica. O PPO combinado com 50% de PS forma um dos mais promissores plásticos de engenharia, o Noryl. O consumo de PPO/PS em 87 foi 950t, sendo metade na indústria automobilística.

A projeção de crescimento para as resinas que compõem os plásticos de engenharia prevê, para 1992, um consumo 3,8 vezes maior de PA do que em 1987; 3,5 vezes para o POM; 2,7 vezes para o PPO; 2,5 vezes para o PET; 2,3 vezes para o PBT e 2,0 vezes para o PTFE.

Enquanto isso, as resinas convencionais terão um aumento de consumo modesto, de 1,9 (para o EVA) a 1,04 (para o PU) em relação a 1987. A resina acrílica e o acetato tendem a ter diminuído o consumo.

Os plásticos de engenharia encontram na construção civil seu maior mercado (36,1%), seguido dos aparelhos domésticos (15,6%), dos bens duráveis (10,2%), dos produtos industriais (7,6%) e dos automóveis (6,9%). Estes últimos, se comparados com os mercados de países desenvolvidos, são consumidores ainda pequenos de plásticos (Tabela 15).

TABELA 15 - CONSUMO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

PLÁSTICOS	BRASIL (85)	BRASIL (87)	EUROPA	EUA	JAPÃO
Resinas de alto desempenho (kg/veículo)	2,12	5,19	13,0	15,8	10,5
Outras resinas (kg/veículo)	14,23	36,11	50,2	68,2	49,0

Fonte: Datamark, 1988

A Tabela 15 traz alguns inconvenientes para se obter uma clara comparação. Um deles é a unidade, muitas vezes utilizada, - kg/veículo - que é difícil de mensurar, uma vez que os carros brasileiros são menores. Contudo, é clara a firme determinação dos países centrais em substituir os metais pelos plásticos de

maior tecnologia, reduzindo peso e custos. Assim, o fator de conversão utilizado nos EUA é de 0,4 libras de plástico por libra de aço, esperando uma taxa de crescimento de 20% a.a. até 1991.

As novas resinas aplicadas em automóveis são apresentadas na Tabela 16.

TABELA 16 - APLICAÇÕES AUTOMOTIVAS DE ALGUMAS NOVAS RESINAS

DESIGNAÇÃO COMERCIAL	RESINAS (BLENDAS)	APLICAÇÕES
XENYOY	PC/PBT	Pára-choques e laterais
LOMOD	Elastômero termoplástico/ Borracha termofixa	Partes frontais e traseiras, painéis, grades, dutos de ar
NORYL GTX	PPO/PA	Pára-choques, painéis, estruturas

Fonte: J. Metals, 1986

No cenário internacional, as blendas ou ligas de plásticos despontam como uma tendência. Já em 1983, a General Electric vendia nos EUA 91.000t de Noryl (PPO/PS). As poliamidas, o poliacetal e o policarbonato apresentam considerável aumento de resistência quando misturados com outros elastômeros.

Outros desenvolvimentos vêm ocorrendo no sentido de estender as cadeias de algumas resinas termofixas. O Kevlar (da Du Pont) é um dos exemplos comerciais, com aplicação aeronáutica, usado como matriz de compósitos com fibras de carbono. Outros compostos, ainda em fase de pesquisa, são o polibenzobistiazol, o polibenzobisoxazol e o polibenzoxazol.

Novos plásticos também têm sido investigados a partir da síntese de novos monômeros. O bisfenol A, por exemplo, pode

ser usado para produzir resinas epoxy (termofixo) e policarbonatos (termoplásticos). O maior progresso na criação de novos plásticos é creditado aos programas de computação, que são capazes de desenhar as cadeias poliméricas, prevendo suas propriedades, a partir de dados fundamentais, com variação de aproximadamente 10% das propriedades medidas (Moseley & Nowak, 1986).

O crescimento do setor de plásticos no Brasil traz a reboque o crescimento do setor Petroquímico e de Química Fina (em parte) como fornecedores das matérias-primas. As firmas que participam da produção do produto final, as resinas, apresentam reduzida participação estatal, sendo 69% empresas nacionais e 31% multinacionais, para os termoplásticos, e 36% empresas nacionais, 62% multinacionais e 2% estatais, para os termofixos. A Química Orgânica Básica, como um todo, compõe-se de 55% de empresas brasileiras, 39% de multinacionais e 6% de estatais. O valor da produção da Química Orgânica Básica em relação aos outros setores químicos representa cerca de 55% contra 20% da Química Fina, 23% da Química Inorgânica e 2% dos Produtos Químicos Naturais (dados referentes a 1986, CDI-GS III, 1988).

A previsão de desembolso em investimentos fixos na indústria química atinge, de 1988 a 1992, US\$ 5,33 bilhões, sendo US\$ 3,1 bilhões em projetos em execução. Dos projetos em análise no CDI (hoje SDI) até 87, a Química Orgânica Básica representava 85% do valor de investimentos até 1992, enquanto a Química Inorgânica 10,5%, e a Química Fina 4,5%. As resinas poliméricas para a indústria de plásticos representam mais de 90% do valor da produção do setor de Química Orgânica.

As empresas petroquímicas nacionais investem apenas 1% dos seus faturamentos líquidos em pesquisa, pretendendo, a partir de 1990, chegar a 2,5%, que são compatíveis com os níveis internacionais. Essa preocupação com a atualização tecnológica evidencia as perspectivas positivas do setor para os próximos

anos (Exame, 1990).

2.4 Sucedâneos e Concorrência entre os Materiais Funcionais

Quando os materiais assumem funções específicas, como, por exemplo, eletroeletrônicas, magnética, óptica, química, térmica, biológica, nuclear, etc, estes são classificados, freqüentemente, como materiais funcionais.

No item 2.3 foram avaliados os principais materiais de engenharia, isto é, materiais cuja componente (ou função) mecânica é fundamental.

Neste item será dada maior atenção aos materiais com função eletroeletrônica, magnética e óptica, dada a grande importância econômica e estratégica representada por esses segmentos.

2.4.1 Materiais com Função Eletroeletrônica

A grande revolução tecnológica observada nas últimas décadas está intimamente ligada à evolução da microeletrônica; vale dizer, dos materiais eletroeletrônicos. Neste particular, sem sombra de dúvidas, o grande destaque fica para os materiais cerâmicos avançados. Basicamente, as cerâmicas eletrônicas formam os componentes que compõem os equipamentos eletrônicos, incluindo computadores, sistemas de telecomunicações, aparelhos de audio, TV, etc. Eles podem ser usados como:

- componentes ativos, na forma de semicondutores para controlar a voltagem e a corrente elétrica;
- componentes passivos, como capacitores e resistores, moderando a corrente elétrica;
- componentes eletromecânicos, como ferrites e piezoelétricos,

e

- componentes eletroópticos, etc.

Na Tabela 17 são apresentadas as principais funções desempenhadas pelas cerâmicas eletrônicas, acompanhadas dos materiais mais comumente empregados nestas funções em aplicações específicas.

TABELA 17 - PRINCIPAIS FUNÇÕES E APLICAÇÕES DAS CERÂMICAS ELETRÔNICAS

FUNÇÃO	MATERIAL	APLICAÇÃO
Isolante	Al ₂ O ₃ , SiC(+BeO), AlN	Substrato circuito integrado
Dielétrica	BaTiO ₃ , BaZrO ₃	Capacitor
Piezoelétrica	Pb(Zr,Ti)O ₃ , SiO ₂ , ZnO	Transdutor, filtro, vibrador
Piroelétrica	PZT	Detetor de I.V.
Ferroeétrica	PLZT	Memória óptica
Semicondutor	SiC, LaCrO ₃ , SnO ₂ , ZnO, BaTiO ₃	Elemento resistência, eletrodo, termistor, varistor
Supercondutor	YBa ₂ Cu ₃ O ₇	
Condutor iônico	β-Al ₂ O ₃ , (Zr,Y)O ₂	Bateria Na-S, sensor oxigênio
Emissor eletrons	LaB ₆	Catodo de <i>electron beam</i>
Luminescente	Y ₂ O ₂ S:Eu, Al ₂ O ₃ :Cr	Laser, catodo luminescente
Transluzente	Al ₂ O ₃	Tubo lâmpada Na
Reflexão	SnO ₂ , TiO ₂ , ferrite	Conservação energia
Guia luz	SiO ₂ - fibra	Comunicação óptica
Magnética	ZnMnFe ₂ O ₄ - ferrites moles BaO.6Fe ₂ O ₃ - ferrites duros SrO.6Fe ₂ O ₃ - ferrites duros	Gravações magnéticas, motores, sistemas alto-falantes

Fonte: Adaptação da tabela apresentada em Fine Ceramics, Shimroku Saito, p.240

Para se ter uma idéia da importância dos materiais cerâmicos eletrônicos, basta lembrar que a indústria eletrônica mundial

faturou em 1987 aproximadamente US\$ 426 bilhões na fabricação de equipamentos eletrônicos, e é o segmento industrial que mais consome os materiais cerâmicos avançados, como pode ser observado na Tabela 18.

TABELA 18 - MERCADO MUNDIAL DE CERÂMICAS AVANÇADAS
(milhões de dólares)

INDÚSTRIA	1985	1990	2000
Automobilística	53	634	5.700
Eletrônica	1.708	3.740	11.360
Óptica	—	1	111
Energia avançada	—	—	360
Ferramentas corte	14	92	500
Outras indústrias	80	225	690
Aeroespacial	20	30	65
Biocerâmicas	—	10	30
Total	1.875	4.732	18.816

Fonte: Ceramic Bulletin, vol. 67, 1988, p.1984.

Pelos dados apresentados na Tabela 18, pode-se verificar que o segmento de cerâmica eletrônica representou mais de 90% do mercado das cerâmicas avançadas. Na Tabela 19 são apresentadas as cerâmicas eletrônicas de maior consumo nos Estados Unidos. Estatísticas mundiais revelam um consumo de materiais cerâmicos eletrônicos semelhante ao mercado americano, com destaque para substratos e envólucros (*packaging*) de circuitos integrados e capacitores cerâmicos.

TABELA 19 - MERCADO DE CERÂMICA ELETRÔNICA - EUA
(milhões de dólares)

PRODUTO	1987	1992	T. DE CRESC. a.a. %
<i>Packaging</i> circuito integrado, incluindo substrato	818	1440	12
Capacitores	609	740	4
Ferrites: moles	140	224	10
duras	190	320	11
Piezoelétricos	70	115	10
Sensores	70	85	4
Carbeto silício eletrônico	50	58	3
Filmes finos	250	440	12
Total	2.197	3.422	9

Fonte: Ceramic Bulletin, vol. 67, 1988, p.1984

Em circuitos integrados eletrônicos (IC) os materiais cerâmicos vêm substituindo os plásticos na função de substrato e envólucro. A alumina, com grau de pureza entre 94 e 99,9%, tem sido usada para este fim. Contudo, os novos circuitos integrados tornaram-se mais rápidos e menores, exigindo novos requisitos dos substratos, como maior capacidade de dissipação térmica, além da proteção mecânica do *chip*. Neste sentido, nitreto de alumínio, carbeto de silício e o composto cordierita/mulita se apresentam como uma alternativa à alumina, com vantagem na condutividade térmica e ajuste ao coeficiente de expansão térmica do silício metálico (como é o caso do primeiro, AlN) ou na constante dielétrica (cordierita/mulita).

Capacitor cerâmico é um componente usado para armazenar energia elétrica, bloquear o fluxo de corrente e controlar o fluxo de corrente alternada. O material base dos capacitores cerâmicos é o titanato de bário (BaTiO₃). Inúmeros aditivos óxidos são

misturados ao titanato de bário para melhorar ou mudar a constante dielétrica deste. É o caso dos óxidos de zircônio, bismuto, neodímio, cálcio, magnésio, estrôncio, etc.

Materiais piezoelétricos são componentes acústicos que, quando comprimidos, convertem energia mecânica em energia elétrica e vice-versa. São usados em acelerômetros, sensores de pressão, receptores e transmissores, em aplicações ultrassônicas, microfones, etc. Em equipamentos eletrônicos, os materiais piezoelétricos tornaram-se indispensáveis, como televisão, rádio FM, entre outros. O material base usado na manufatura de piezoelétricos cerâmicos é a mistura entre titanato de chumbo (PbTiO_3) e zirconato de chumbo (PbZrO_3). Quando o óxido de lantânio (La_2O_3) é adicionado à mistura de titanato e zirconato de chumbo, é possível formar um material policristalino com alta qualidade óptica. Este material, também conhecido por PLZT, forma as chamadas cerâmicas eletroópticas.

As cerâmicas semicondutoras podem adquirir diferentes funções, tais como:

- a) resistores não-lineares ou varistores;
- b) termistores NTC ou coeficiente negativo de temperatura;
- c) coeficiente positivo de temperatura, PTC, e
- d) sensores.

Os varistores ou resistores não-lineares são componentes cerâmicos que exibem uma relação corrente-voltagem altamente não-linear. Esta característica é fundamental para proteção de equipamentos e sistemas elétricos contra uma eventual flutuação na corrente elétrica. Estes componentes são usados nos modernos equipamentos, como televisão, permitindo a estes operarem, indistintamente, em 110 ou 220 volts. São também usados em sistemas de pára-raios. A composição típica de um varistor é, aproximadamente, 97% de óxido de zinco (ZnO), acrescido de

aditivos como óxidos de bismuto, antimônio, cobalto, manganês e cromo.

Cerâmicas com coeficientes negativos de temperatura (NTC) são usadas para medir e controlar, com precisão, a temperatura em vários equipamentos e sistemas, como os computadores, automação industrial, equipamentos domésticos, fornos, reatores industriais, etc. Desta forma foram desenvolvidos termistores para baixas, médias e altas temperaturas. Os principais materiais desenvolvidos para este fim são: NiO-TiO_2 , $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$, $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$, SiC-B , $\text{SnO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$, CoO-TiO_2 e $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Cerâmicas com coeficiente positivo de temperatura (PTC), por outro lado, podem ser usadas para dar partidas em motores, como elemento de resistência, entre outras aplicações. O material-base para as cerâmicas tipo PTC é o titanato de bário, contendo pequenas adições (menor que 0,3%) de lantânio, antimônio, bismuto e nióbio.

Para a utilização das cerâmicas como sensores de gases, faz-se uso da mudança na resistividade destas quando expostas em uma atmosfera gasosa. Gases combustíveis podem diminuir a resistividade de cerâmicas à base de SnO_2 e ZnO , devido à transferência de elétrons causada pela reação química dos gases com a superfície do sensor. O uso de certos aditivos pode aumentar a sensibilidade e seletividade do sensor, como é o caso da adição de prata em SnO_2 , ou PdCl em ZnO , para determinação de hidrogênio, bem como a adição de $\text{NiO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ em ZnO para determinação de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Os sensores de umidade podem ser do tipo condutor iônico, usando-se cerâmicas porosas do tipo $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$, $\text{TiO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$, $\text{ZnCr}_2\text{O}_4\text{-LiZnVO}_4$. Sensores de umidade tipo condutor eletrônico são observados em compostos do tipo $(\text{Ca, Sr, La})(\text{Sn, Ti})\text{O}_3$.

Uma classe muito importante de sensores, e que tem experi-

mentado um rápido crescimento no consumo, é a de sensores de oxigênio. Cerâmicas condutoras iônicas (ions de oxigênio) tais como ZrO_2 , CeO_2 , ThO_2 e Bi_2O_3 , na estrutura tipo fluorita, são usadas para determinar o teor de oxigênio dissolvido em aços em aciarias, para controlar a atmosfera de fornos de tratamentos térmicos industriais e o gás de escape dos automóveis.

Uma classe da cerâmica eletrônica de desenvolvimento bastante recente e que apresenta um grande potencial de aplicação é a cerâmica supercondutora. De fato, até 1987, conhecia-se este fenômeno apenas em algumas ligas metálicas, como NbTi e Nb_3Sn , quando resfriadas a uma temperatura próxima do zero absoluto. O desenvolvimento da cerâmica supercondutora, com uma temperatura crítica (-100K) muito superior a das ligas metálicas, abriu uma porta para o desenvolvimento tecnológico de alcance ainda não totalmente vislumbrado. Já se cogita o uso das cerâmicas supercondutoras na tecnologia de transporte de trens por levitação magnética, para geração, transmissão e armazenamento de energia elétrica, em substratos de circuitos integrados, em sensores magnéticos, etc. O material mais estudado para este fim foi o composto $YBa_2Cu_3O_7$, embora já se tenham informações de novas formulações de cerâmicas avançadas supercondutoras.

Dados referentes ao mercado brasileiro de cerâmicas avançadas são apresentados na Tabela 20. Pode-se observar que, também no caso brasileiro, o maior mercado de cerâmicas avançadas é relacionado às cerâmicas eletroeletrônicas (>45%), com destaque para o segmento de isolantes, onde as velas de ignição são responsáveis por 80% deste segmento, ou 60% do segmento eletroeletrônico. Aluminas especiais (baixo teor de sódio) são utilizadas para este fim e são totalmente importadas. Os principais produtores de alumina no Brasil apontam o reduzido mercado nacional como fator limitante à produção de aluminas especiais no País.

TABELA 20 - MERCADO BRASILEIRO DE PRODUTOS FINAIS SELECIONADOS QUE UTILIZAM CERÂMICAS AVANÇADAS

ÁREA	FUNÇÃO/ SEGMENTO	1989		1994		TAXA CRESC. a.a
		US\$ 10 ⁶	%	US\$ 10 ⁶	%	
Cerâmicas Eletroeletrônicas	Isolantes	67,6	27,2	90,5	14,5	6
	Ferrelétricos	28	11,2	58,8	9,4	16
	Semicondutores Piezoelétricos	17 n.d.	6,8 —	69,1 n.d.	10,1 —	30 n.d.
Cerâmicas Magnéticas	Ferrites duras	7,5	3,0	10	1,6	6
	Ferrites moles	15	6,0	26,4	4,2	12
Cerâmicas Ópticas	Fibras ópticas	25	10,0	89,3	14,3	29
	Tubos Al_2O_3 translúcida	8,5	3,4	19,4	3,1	18
	Outros*	10	4,0	14,7	2,3	8
Cerâmicas Mecânicas	Superabrasivos**	27,3	11,0	67,9	10,8	20
	Estruturais	20	8,0	22,1	3,6	2
Cerâmicas Nucleares	Elementos combustíveis	3,5	1,4	15,8	2,5	35
Outros componentes de cerâmicas avançadas	Catalisadores automotivos	—	—	110	17,6	—
	Outros***	20	8,0	38	6,1	14
TOTAL (Cerâmicas Avançadas)		249,4	100	626	100	14,2

Fonte: Veiga et al., 1989.

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

*Componentes para óptica avançada (equipamentos de laser etc.).

**Não foi considerado o mercado de nitretos de silício e silóns.

***Valores estimados (catalisadores para indústria química, sensores, vitrocerâmica etc.).

n.d. = Não determinado.

Outro segmento importante no Brasil é o dos capacitores (materiais ferrelétricos) cerâmicos, representando aproximadamente 25% do setor eletroeletrônico. A principal matéria-prima, titanato de bário, é fabricada no Brasil pela Certronic, embora haja uma certa restrição no mercado interno quanto à qualidade desse produto. Juntamente com titanato de bário usa-se uma série de aditivos, como zirconatos, titanatos e estannatos de metais alcalinos terrosos, além de óxidos de neodímio, bismuto, entre outros. Parte desses insumos são importados. O consumo de pós cerâmicos para capacitores é avaliado em 160t/ano a um preço médio de US\$ 7/kg e o mercado do produto final (capacitores cerâmicos) atinge a cifra de US\$ 15 milhões/ano.

Os varistores, componentes usados em pára-raios, aparelhos eletrodomésticos e sistemas de telefonia para proteção contra picos de tensão, têm um mercado avaliado em US\$ 12 milhões/ano. Os termistores tipo NTC e PTC têm um mercado estimado de US\$ 5 milhões no Brasil, onde 80% dos componentes são importados.

2.4.2 Materiais com Função Óptica

Na moderna tecnologia as informações são conduzidas por pulsos de luz, utilizando-se *laser* ou um diodo como fonte de luz, e vidro de sílica ou fibra óptica como meio de transmissão. Os pulsos luminosos são transmitidos através da fibra óptica a uma velocidade muito maior do que um sinal elétrico através de um cabo coaxial, conseguindo transferir uma quantidade muito maior de informações. Dessa forma, as fibras ópticas deverão substituir parte significativa dos cabos de cobre.

Na telecomunicação por fibras ópticas usam-se minúsculas fibras compostas por dois vidros com índices de refração diferentes para servirem como guia óptico para a luz. A sílica é também

usada em outros dispositivos ópticos, como também em componentes eletrônicos.

O cristal de quartzo é dividido em três tipos:

a) **classe A:** cristal límpido, com 65 a 100% aproveitável como material piezoelétrico, de grande uso na eletrônica como controlador, estabilizador e medidor de frequência, transdutor de ultrassom, microfones, radares, alto-falantes;

b) **classe B:** cristal hialino, e

c) **classe C:** cristal hialino com mais de 40% de imperfeições.

As lascas são selecionadas de acordo com a aparência do material:

a) **lascas de primeira:** fragmentos perfeitamente transparentes, não-opalescentes;

b) **lascas de segunda:** fragmentos apresentando grau médio de opalescência e imperfeições visíveis, e

c) **lascas de terceira:** fragmentos opalescentes, de aspecto leitoso, com maior concentração de imperfeições.

A exportação brasileira de quartzo é principalmente de lascas de terceira, representando 95% do total em peso. O cristal de rocha em lascas é destinado à fusão para obtenção do quartzo fundido, para produção de ligas, ferrosilício e produção de cristal sintético. A partir do quartzo fundido obtêm-se os bastões e as fibras ópticas. Nesse caso são utilizadas lascas de primeira. As propriedades ópticas do quartzo fundido são diferentes das do cristal de rocha, possuindo menor índice de refração; possui também características elétricas bastante interessantes, como alta resistência elétrica a temperaturas elevadas e excelentes propriedades dielétricas. O conjunto de suas propriedades torna o quartzo fundido um material de grande relevância, utilizado nos seguintes setores:

a) **indústria óptica:** fabricação de lentes, prismas e espelhos;

b) **indústrias de equipamentos elétricos:** fabricação de peças/componentes, como envoltórios de arcos elétricos das lâmpadas de vapor de mercúrio, sódio e de raios ultravioletas, como isolante em retificadores de vapor de mercúrio em condensadores elétricos, em fornos elétricos, etc;

c) **indústria química:** recheios e revestimentos de colunas e vasos de concentração, isolante térmico sob forma de fibra ou lã de quartzo;

d) **equipamentos de precisão:** componentes de aparelhagem para análise instrumental e microbalanças de alta sensibilidade, e materiais diversos de laboratórios;

e) **metalurgia do silício:** matéria-prima para fabricação do silício grau eletrônico, usado para semicondutores e componentes de circuitos integrados, e de silicões, dos quais deriva extensa linha de lubrificantes, e

f) **telecomunicações:** fabricação de fibras ópticas.

O Brasil ocupa uma posição de destaque na área do cristal e lascas de quartzo por possuir a maior reserva mundial. Os volumes oficiais das reservas brasileiras referem-se ao quartzo industrial comum, com teores que variam entre 90 a 99% de SiO_2 . Em 1987 foram avaliadas em 47,4 milhões de toneladas, distribuídas nos Estados de Minas Gerais (52%), Pará (24%), Santa Catarina (18%) e Bahia (2,5%).

A produção brasileira de cristal natural grau eletrônico e lascas sempre representou mais de 95% da oferta mundial. O Brasil é o único produtor dos grandes cristais grau eletrônico, e responde pela oferta quase total das lascas adequadas aos setores de ponta das indústrias de quartzo sintético e fundido com alto grau de pureza. Atualmente existe uma empresa nacional - ABCXTAL - que produz quartzo sintético e fibra óptica. No setor de

quartzo fundido, o Brasil está totalmente à margem do mercado por falta de uma tecnologia própria.

As poucas indústrias existentes se limitam a produzir vidros e lâmpadas, mas não produzem quartzo fundido de alta pureza para utilização em fibra óptica. Para este fim, a empresa ABCXTAL importa quartzo fundido da Alemanha. O mercado brasileiro de fibras ópticas em 1989 foi da ordem de US\$ 25 milhões (Tabela 20) e deverá crescer nos próximos 5 anos a uma taxa de aproximadamente 30% ao ano. Com essa previsão, este segmento deverá faturar em 1994 cerca de US\$ 90 milhões, o que configura uma oportunidade bastante interessante, embora a política atual de reserva de mercado possa se constituir num fator limitante para o crescimento do setor.

2.4.3 Materiais com Função Magnética

Os materiais, de um modo geral, podem ser classificados, segundo suas propriedades magnéticas, em três categorias:

a) **diamagnéticos,** caracterizados pelo fato dos átomos não produzirem momento magnético permanente quando submetidos a um campo magnético. Isto porque a intensidade de magnetização dentro do material age na direção oposta à do campo magnético aplicado. Como exemplo: cobre, ouro, prata e zinco.

b) **paramagnéticos,** caracterizados por átomos cuja intensidade de magnetização tem a mesma direção do campo magnético aplicado, originando um momento permanente. Exemplos: alumínio, manganês, cromo, estanho, platina, etc.

c) **ferromagnéticos,** caracterizados por átomos que possuem momentos magnéticos permanentes, os quais estão alinhados mesmo na ausência de um campo magnético externo. Entretanto, com o aumento da temperatura, estes materi-

ais transformam-se em paramagnéticos, e a temperatura de transição é denominada ponto de Curie.

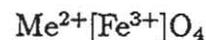
Os materiais ferromagnéticos, também conhecidos por ímãs, são subdivididos em duas categorias: magnetos moles e duros. A principal diferença entre essas duas categorias está na resistência à desmagnetização imposta pelos materiais ferromagnéticos. Os magnetos moles não oferecem, praticamente, nenhuma resistência; isto significa que a força coercitiva (H_c) é praticamente nula. Já os magnetos duros ou permanentes possuem altos valores de H_c e B_r (indução magnética remanescente). Um critério para comparar a qualidade de um ímã (ou magneto) permanente é avaliar o produto de energia máxima $(BH)_{max}$. Quanto maior for este valor, melhor será o ímã permanente.

Os materiais magnéticos moles são utilizados em uma vasta gama de aplicações, envolvendo engenharia de comunicação, na fabricação de motores, geradores, transformadores, bem como em inúmeros aparelhos eletrodomésticos, de instrumentação, dispositivos, etc.

O ferro puro seria um metal ferromagnético ideal, se não fosse a sua baixa resistividade elétrica, tornando-o inadequado para aplicações em circuitos de correntes alternadas, as quais constituem cerca de 75% das aplicações industriais dos materiais magnéticos. Entretanto, com a adição de alguns elementos de liga, como, por exemplo, carbono, silício, alumínio, níquel, etc, a resistividade do ferro aumenta, tornando possível a sua aplicação em circuitos de corrente alternada. São muito conhecidas as ligas Fe-Si, neste sentido: Fe - 1,5% Si, usada para pequenos motores e geradores; Fe - 3,2% Si, com textura ou grãos orientados, para fabricação de transformadores de alta eficiência. Existe, comercialmente, uma quantidade razoável de ligas magnéticas moles à base de ferro, níquel ou cobalto, contendo vários elementos de liga.

Outra importante família de materiais magnéticos moles é a das ferrites, um material cerâmico constituído à base da estrutura do composto $MgAl_2O_4$ ou AB_2O_4 .

As ferrites moles apresentam composição do tipo:



onde $Me^{2+} = Ni, Co, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd$.

As ferrites mais usadas são aquelas de Ni/Zn e Mn/Zn, em aplicações como: indutores, osciladores, filtros, divisores de frequência e transformadores de pulso.

O avanço na tecnologia dos ímãs permanentes (magnetos duros) começou no início dos anos 30, com o desenvolvimento de uma série de ligas ternárias de ferro, cobalto com adição de molibdênio e tungstênio, denominadas Remalloy. Estas ligas foram substituídas pelas ligas desenvolvidas à base de níquel-ferro-alumínio, comercialmente designadas ALNICO. A Tabela 21 apresenta algumas composições típicas do ALNICO e a correspondente propriedade magnética.

TABELA 21 - COMPOSIÇÃO E $(BH)_{max}$ DOS PRINCIPAIS MAGNETOS PERMANENTES

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	$(BH)_{max}$ [MG O _c]
Remalloy	12Co, 20Mo, Fe	1,40
ALNICO I	12Al, 20Ni, 5Co, Fe	1,35
ALNICO II	10Al, 17Ni, 12,5Co, 6Cu, Fe	1,65
ALNICO III	12Al, 25Ni, Fe	1,35
ALNICO IV	12Al, 28Ni, 5Co, Fe	1,30
ALNICO V	8Al, 14Ni, 24Co, 3Cu, Fe	5,00
FERRITE BÁRIO	BaO. 6 Fe ₂ O ₃	1,00
FERRITE BÁRIO	BaO. 6 Fe ₂ O ₃ , orientado	3,25
Sm-Co	SmCO ₅	24,00
Sm-Co-Fe-Cu	Sm(Co,Fe,Cu) ₇	26,40
Sm-Co-Fe-Cu-Zr	Sm ₂ (Co,Fe,Cu,Zr) ₁₇	30,20
Nd-Fe-B	Nd ₂ Fe ₁₄ B	36,00

Outra classe de material magnético permanente, de grande importância tecnológica, é a das ferrites duras. Conhecidas como ferrites de bário ou de estrôncio, estas cerâmicas possuem uma estrutura hexagonal, com a composição base BaFe₁₂O₁₉, ou seja BaO.6Fe₂O₃. São usadas em alto-falantes, motores, fechos magnéticos, placas magnéticas, entre outras aplicações. A Tabela 21 apresenta algumas propriedades magnéticas alcançadas por esses ímãs permanentes. Na Tabela 22 são apresentados alguns dados referentes ao mercado brasileiro de ferrites, que é da ordem de US\$ 22,5 milhões. É interessante notar que o produto final, feito por sinterização dos pós, agrega um valor da ordem de 10 vezes aos insumos.

TABELA 22 - MERCADO BRASILEIRO PARA CERÂMICAS MAGNÉTICAS

FERRITE	MATÉRIA PRIMA		PRODUTO FINAL	
	t/ano	US\$ 10 ⁶ /ano	t/ano	US\$ 10 ⁶ /ano
Dura	3.800*	0,8	3.600	7,5
Mole	5.000***	1,5	5.000***	15,0
Total		2,3		22,5

*17% BaCO₃/SrCO₃ - 83% Fe₂O₃

**30 a 40% ZnO/NiO/MnO - 60 a 70% Fe₂O₃

***estimativa de ferrites de Mn/Zn e Ni/Zn.

Existem três grandes fabricantes de ferrites duras no Brasil, com a seguinte participação:

Philips Components - 35%

Supergauss - 35%

Eriez - 30%

As ferrites moles de Mn/Zn são produzidas no País pela Philips, Thornton e Imox. As ferrites de Ni/Zn são fabricadas pela Imox e Sontag.

A Tabela 21 apresenta também algumas ligas magnéticas duras, à base de terras-raras. É o caso das ligas de samário-cobalto, e variantes desta, bem como da liga neodímio-ferro-boro, que, como pode ser observado pelos valores de $(BH)_{max}$, trata-se de superímã à base de terras-raras. Com propriedades magnéticas bastante elevadas em comparação aos ímãs tradicionais, os magnetos de terras-raras foram substituindo os primeiros, principalmente em aplicações onde a redução do tamanho das peças era importante. As aplicações desses ímãs são em diversos campos: interruptores e relés, elementos de

comandos mecânicos e válvulas, sistemas de ignição automática, acelerômetros e giros, tubos de microonda e filtros, etc. A primeira utilização de SmCo₅ em grande escala foi em impressoras de computadores e em motores de corrente contínua.

Os ímãs à base de Sm-Co foram desenvolvidos no início dos anos 70, porém a sua produção em escala comercial sofreu um certo atraso devido às dificuldades operacionais e, principalmente, ao elevado custo do produto final. Com a rápida redução no custo de fabricação desses ímãs houve um aumento bastante acentuado no volume de produção.

No início dos anos 80 foi desenvolvida uma nova família de ímãs permanentes à base de terras-raras: as ligas neodímio-ferro-boro, que apresentaram, como vantagem, melhores propriedades magnéticas e menor custo, já que o preço do neodímio é muito menor (quase a metade) do que o do samário; o mesmo valendo para o ferro e boro em relação ao cobalto.

O mercado desses ímãs no Brasil ainda é muito incipiente, principalmente porque os componentes eletrônicos importados, já possuem, incorporados, os ímãs de terras-raras, como é o caso de certos motores de passo e alto-falantes, entre outros.

2.4.4 Materiais com Funções Biológicas

Materiais com funções biológicas são assim designados por atuarem no organismo de modo inerte ou ativo. Para uma análise sucinta da importância crescente desses materiais, podemos dividi-los em:

- materiais para implantes (metais, cerâmicas, plásticos e biológicos), e
- minerais para cargas de fármacos.

Em termos de materiais para implantes, o mercado mundial (1986) apresentou um faturamento de US\$ 3,5 bilhões, com perspectivas de atingir US\$ 9,5 bilhões em 1986, segundo estimativas de Hench, 1986. Os principais itens para os resultados de 1986 foram: lentes intraoculares (US\$ 400 milhões), marcapasso (US\$ 285 milhões), prótese femoral, implantes dentários (US\$ 150 milhões) e válvulas cardíacas (US\$ 80 milhões).

Os biomateriais são ditos ativos quando se integram ao organismo através de reações superficiais com as células, tendo propriedades de biocompatibilidade e bioaderência.

O conceito de materiais bioinertes tem sido combatido pela observação de necrose celular na interface do implante, limitando o tempo de vida do biomaterial. De fato, nenhum material é absolutamente inerte no corpo, sempre haverá uma reação do tecido adjacente com o material. Após 20 anos de pesquisa de interface material-tecido, chegou-se à conclusão que os materiais bioativos apresentavam os melhores resultados na ligação tecido-material. Nas aplicações ósseas os materiais bioativos de melhores propriedades são aqueles de composição química próxima ao do osso: Bioglass, Ceravital, Durapatite, compósitos com Bioglass ou materiais com cobertura desses materiais.

O Bioglass foi desenvolvido em 1969, obtendo-se a melhor composição com 45% SiO₂, 24,5% Na₂O, 24,5% CaO e 6% P₂O₅. Em 1984, a primeira operação humana, na Universidade da Flórida, implantou com sucesso o osso médio do ouvido, fabricado de Bioglass, devolvendo a audição para a paciente. Em 1987, o mesmo material recebeu a licença da Associação Americana de Dentistas para ser implantado.

A hidroxiapatita (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂) é outro tipo de cerâmica, no caso cristalina, com composição muito próxima à do osso. Os processos de preparação são vários, sendo um deles a síntese hidrotermal a partir de misturas de acetato

monohidratado de cálcio ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e trietil-fosfato ($(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{PO}$).

No Brasil, o Dr. Romualdo Rossi, da Faculdade de Odontologia da USP, desenvolveu a síntese da hidroxiapatita e a vem aplicando com sucesso em operações buco-maxilofaciais. O preço do composto, próximo ao do ouro (US\$ 15/grama), é um dos impeditivos da maior difusão desse material para as operações plásticas restauradoras.

A maior parte dos implantes cirúrgicos (odontológicos e cardíacos) são feitos a partir do carbono pirolítico, carbono vítreo e carbono depositado por vapor. O carbono é biocompatível, não-reativo com os tecidos e de boa resistência mecânica. As válvulas de coração feitas com carbono pirolítico atestam a resistência à abrasão e à fadiga do material.

A alumina tem sido investigada e empregada como cabeça femural em prótese de quadril. Apesar da boa resistência à abrasão, alguns pesquisadores consideram-na inapropriada, devido à facilidade de propagação de trincas. Contudo, a alumina vem ganhando mercado em aplicações odontológicas.

Os metais são amplamente utilizados em próteses ortopédicas. O aço inoxidável F138 ou 316-L ($\text{Fe-17Cr-13Ni-2,5Mo}$), fabricado pela Eletrometal, é o material mais usado em próteses móveis e fixas. Este último encontra como concorrente o Vitalium (Co-28Cr-6Mo-2Ni) fabricado pela Eletrometal, e importado em grande parte e, recentemente, o titânio puro ou sua liga chamada "aeronáutica" (Ti-3Al-2,5V ou Ti-6Al-4V) importada, forjada pela Eletrometal. A biocompatibilidade da película de dióxido de titânio, formada na superfície da prótese, confere aos implantes de titânio a melhor biocompatibilidade entre os metais, não necessitando de cimento para fixação da prótese ao osso. A introdução do titânio em próteses ortopédicas nacionais é recente, sendo produzidas a partir de 1989 pelas firmas

Baumer, Impol e Ortossíntese, utilizando forjamento a quente (Baumer) e usinagem (Impol e Ortossíntese). A Baumer, recentemente, adquiriu um equipamento de *plasma-spray* objetivando fazer cobertura de hidroxiapatita ou Bioglass nas próteses metálicas, aumentando ainda mais sua biocompatibilidade.

Os plásticos têm sido aplicados nas próteses femurais, fazendo o papel da cartilagem que preenche a cavidade da cabeça do fêmur (acetábulo). Utiliza-se o polietileno de ultra-alta-densidade, no Brasil fabricado pela Day Brasil e Rohm & Hass, e usinado pelas firmas de biomateriais. Esse plástico tem sido objeto de preocupação dos médicos, uma vez que arranham com facilidade, aumentando o atrito na articulação. A alumina tem sido investigada como sucedâneo do polietileno.

Alguns compósitos de plásticos (politetrafluoretileno) e carbono ou alumina têm sido utilizados, com cobertura de *plasma-spray*, para prótese de joelho, quadril e outras cirurgias plásticas. A conjugação de fibras de carbono com ácido poliático (polímero) tem sido capaz de fabricar tendões artificiais.

O conceito de materiais bioabsorvíveis pelo organismo tem sido defendido por alguns autores. Nesses casos, os compostos poliméricos são investigados, embora os materiais biológicos sejam os mais adequados. Neste sentido, o IPT e alguns pesquisadores da USP vêm investigando as algas (e outros vegetais) como materiais para reconstituição da pele queimada. O INCOR utiliza tecidos de órgãos de animais para recobrimento e fabricação de válvulas cardiovasculares.

Uma outra classe de materiais com funções biológicas é a dos minerais utilizados como cargas em fármacos. Todos estes minerais apresentam especificações rígidas, principalmente quanto aos níveis de metais pesados. A maioria dos minerais é usada como excipiente, isto é, substância inerte que serve como veículo dos fármacos. Outros minerais apresentam propriedades ativas,

como o caulim e a atapulgita, que são utilizados, tanto como excipientes quanto como remédios, por suas propriedades de absorção de substâncias tóxicas no organismo.

Alguns materiais utilizados na farmacopéia são apresentados na Tabela 23:

TABELA 23 - ALGUMAS CARGAS MINERAIS UTILIZADAS NAS FARMACOPEIA

MINERAL	FUNÇÃO	% DE CARGA
BENTONITA	- Agente gelificante de suspensões - Absorvente	0,5-5,0 1,0-2,0
GIPSITA (<99%)	- Diluente de comprimidos (excipiente) - Gesso ortopédico	94
CAULIM	- Agente de suspensões - Absorvente gastrointestinal - Emplasto - Pó cirúrgico	7,5-55 53 25
MAGNESITA	- Excipiente - Absorvente de líquidos flavorizantes e colorizantes de comprimidos	45 0,5-1,0
TALCO	- Lubrificante de comprimidos - Absorvente (pó cirúrgico) - Excipiente - Cobertura de comprimidos	1,4 90-99
DIÓXIDO DE TITÂNIO	- Cobertura de comprimidos (agente branqueador) - Protetor dermatológico contra luz ultravioleta - Agente de suspensão	33
BARITA (>95%)	- Agente de contraste para raios X gastrointestinal - Cimento dental e ortopédico	

Fonte: Adaptação de Russell, 1988.

Alguns destes minerais são produtos de precipitação química (ex.: gipsita - CaSO_4 e magnesita - MgCO_3) atingindo a pureza especificada. Os preços dos minerais para fármacos atingem de 5 a 10 vezes o preço dos concentrados minerais similares para uso cerâmico. Por exemplo, o talco cirúrgico (grau farmacêutico) custa de 750 a 850 libras esterlinas/t, enquanto o grau cosmético atinge, em Londres, 170 a 190 libras/t. As quantidades envolvidas são pequenas, e caracterizam os produtos como de Química

Fina ou de Mineração Fina.

2.5 Compósitos

Os compósitos ou materiais conjugados já são utilizados há bastante tempo. Vamos considerar que um compósito é um produto da mistura de dois ou mais materiais, com propriedades próprias e diferentes dos constituintes que o geraram (Anderson & Lux, 1986). Assim, podemos incluir uma extensa listagem de produtos, como esta folha de papel (celulose + caulim), ou o concreto (cimento + pedra), ou os tubos de encanamentos (PVC + calcita), ou as carrocerias dos *buggies* (poliester + fibra de vidro) ou mesmo as casas de "sopapo" (argila + fibra vegetal).

De fato, a mistura adequada de metais, cerâmicas e plásticos, entre si ou entre eles, confere maior qualidade aos produtos, onde o principal objetivo é o aumento da resistência (ainda que sob altas temperaturas).

Podemos dividir os compósitos da mesma forma que os outros materiais, em de alta e de baixa tecnologia. Isto não significa que um possa ser considerado como novo material, e outro como velho. Muitos novos compósitos estão sendo desenvolvidos com tecnologia simples (mas é tecnologia), como o cimento-náilon, que na Europa está substituindo o cimento-amianto por questões ambientais. No Brasil, a Eternit vem substituindo o amianto por lixo (e este é um velho material) e agora pesquisando outras fibras vegetais e minerais.

A presença de fibras no reforço de matrizes plásticas, cerâmicas ou metálicas é o grande direcionamento das pesquisas em compósitos. As fibras vegetais, como o bagaço de cana, o bambu, o sisal, a juta, entre outras, têm sido difundidas por Anderson & Lux (op.cit.) como materiais baratos e regionais, adequados ao emprego em compósitos estruturais nos países em desenvolvimento. Neste caso, os polímeros e os materiais cerâmicos

(cimentos e argilas) são as matrizes de interesse. Uma comparação das propriedades mecânicas obtidas com as fibras artificiais e naturais (vegetais e minerais) no reforço do cimento pode ser observada na Tabela 24.

TABELA 24 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS OBTIDOS COM FIBRAS E CIMENTO

COMPOSTOS OBTIDOS COM:	LIMITE DE RESISTÊNCIA (GPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	ALONGAMENTO (%)
FIBRAS			
Vidro	2100-3500	77	2-3,5
Asbesto	3500	196	2-3
Carbono	2450-3150	345-415	1
Aço	1050	210	4
Polipropileno	400	7,7	8
Algodão	280-840	5,6-11,2	5-10
Sisal	840	9-5	3-7
Cânhamo	385	—	1,8
Cimento Portland	3-14	7-28	0,05

Fonte: Anderson & Lux, 1986.

Os compósitos fabricados com fibras vegetais apresentam resistência inferior ao amianto (asbesto) e à fibra de vidro. Contudo, fica claro que reforçam o cimento puro, não permitindo a propagação de trincas. Na Índia também é praticado o reforço de resinas poliméricas, onde destaca-se o poliéster, com fibras naturais. As vantagens das fibras naturais são evidentes, quanto ao barateamento e à regionalização dos insumos, além de possibilitar a utilização de materiais rejeitados, como os bagaços de cana, frutas, etc.

Uma aplicação interessante de compósitos de baixa tecnologia vem sendo estudada pela PPH no Brasil. Esta empresa utilizou;

experimentalmente, os sacos de rafia (polipropileno) como reforço de barragens ou mesmo contenção de encostas, em matrizes de cimento ou mesmo argila. O custo do material reforçante é baixo, de fácil manuseio e proporciona um reforço adequado, substituindo o aço em algumas aplicações.

Os compósitos avançados, ou de alta tecnologia, ainda têm suas aplicações restritas às indústrias de ponta como aeronáutica, nuclear e, pitorescamente, a de artigos esportivos. Esta última, com maior desenvolvimento no Japão, utiliza como material de base, via de regra, os plásticos de engenharia (termoplásticos e termofixos) e as fibras de carbono, cerâmicas, bojo e Kevlar. Este último é o nome comercial da Du Pont para designar a fibra de poli-p-benzamida (família do náilon), que também é conhecida como *aramid*. O preço da Kevlar é da ordem de US\$ 20/kg, com aplicação aeroespacial (40%), marinha (40%), vários (20%).

As fibras de carbono são mais aplicadas nos compósitos que necessitam de boa resistência e leveza. No Brasil é reconhecida a aplicação dessas fibras, ainda importadas, em raquetes de tênis e em óculos. Estes últimos, comparativamente, custam o dobro das armações de resina, mas concorrem em preço com os metais folheados. O precursor mais utilizado na fabricação de fibras de carbono é a poliacrilonitrila, cuja carbonização em atmosfera inerte a 1300°C produz material de alta resistência. No Brasil, a produção de fibras de carbono ainda se restringe aos laboratórios (ex.: CTA).

Os compósitos de grafita-epoxy, pesando 1,3 vezes menos que o alumínio e mais resistente, é um dos principais sucedâneos do metal na indústria aeronáutica, embora sua participação em aeronaves de passageiros do tipo Boeing 757 e 767 só atinja 5% das suas estruturas (Balazik & Klein, 1987). O conservadorismo a mudanças de materiais na indústria de aeronaves comerciais deve-se, principalmente, aos investimentos em maquinários

feitos por aquelas empresas e pelos óbvios cuidados com a segurança, uma vez que não se conhece o desempenho desses materiais novos, a longo prazo. Um período de 15 a 20 anos é o prazo de segurança que a Boeing usa para experimentar um novo produto antes de introduzi-lo em linha de fabricação (LNETI, com pessoal). Como a velocidade de introdução dos compósitos na aviação militar é maior (5 a 10 anos), é possível que a aviação civil assimile algumas experiências, encurtando o tempo do processo de substituição.

Já as fibras cerâmicas são reconhecidas há pelo menos 30 anos como reforçantes do polímeros. As mais usadas são a fibra de vidro e, eventualmente, lã de rocha. Outras cerâmicas têm sido desenvolvidas, como os carbeto e nitreto de silício. *Whiskers* (partículas de $10\mu m$) de carvão de silício podem ser produzidos pela carbonização de casca de arroz a $1800^{\circ}C$. O IPEN vem pesquisando essa rota, a partir da pirólise de palha de arroz.

O reforço de matrizes metálicas utiliza as fibras cerâmicas ou metálicas, que normalmente são metais de baixo peso específico, como o alumínio, cobre, magnésio e titânio, visando a aplicação do compósito na indústria aeronáutica. As matrizes de níquel ou cobalto encontram sua utilização em equipamentos de troca térmica sujeitos a meios corrosivos, ou em geradores de energia (ex.: turbinas). O processo de extrusão ou laminação do pó metálico, misturado a *whiskers* de carvão de silício, tem sido um dos processos mais estudados.

A produção de pós metálicos é uma das tecnologias mais importantes a ser dominada para obtenção do precursor para a matriz do compósito. O processo, conhecido como atomização, consiste em transformar a liga ou metal fundido em pó de granulometria inferior a $50\mu m$, através de resfriamento rápido com jatos de água, ar ou gás inerte. Posteriormente, a conformação do pó pode ser realizada por prensagem (quente ou fria), extrusão, laminação ou sinterização. A metalurgia do pó é um

dos processos de fabricação utilizados para materiais avançados metálicos, como o $SmCo_5$ (superímã) e contatos elétricos do tipo Ag-W, Ag-WC, Ag-Ni, Ag-CdO, Ag-grafita, Cu-W, etc. A metalurgia do pó tem tido pouca atenção dos institutos de pesquisa no Brasil, sendo o IPT o centro de melhores instalações (atomização e prensagem).

A produção de um compósito bastante popular no Brasil, o metal duro (WC-Co) já atinge um faturamento de cerca de US\$ 150 milhões. Este *cermet* (designação de um compósito obtido pela sinterização ou reação de um metal e um material cerâmico) e suas derivações são usadas em aplicações que exigem alta resistência à abrasão, como as ferramentas de corte.

Os compósitos avançados de matrizes cerâmicas são desenvolvidos quando se busca alta resistência mecânica e térmica em um produto. As turbinas, os motores de combustão, os equipamentos de energia nuclear e os foguetes são alguns dos possíveis empregos desse tipo de compósito. Embora os materiais compósitos possuam um grande potencial de aplicação, a utilização real desses materiais nesses setores não deverá ocorrer nos próximos anos devido, principalmente, à baixa resistência à fratura dos materiais cerâmicos, o que demandará intensivos estudos científicos e tecnológicos para o total controle dessas propriedades. As matrizes cerâmicas mais estudadas para fins estruturais são: a alumina, o carvão de silício, o nitreto de silício e a zircônia. Os materiais reforçantes podem ser as fibras cerâmicas ou metais. Um exemplo deste tipo de compósito é a fibra de carbono reforçando a matriz de carbono.

2.6 A Questão das Novas Tecnologias

Até aqui discutimos o emprego de materiais quanto à concorrência entre eles e os sucedâneos. Muitos destes últimos ga-

nharam o rótulo de “novos materiais”, que, segundo Lastres, 1988, “é o termo para designar os materiais do novo ciclo de produção: aqueles que, dadas suas propriedades especiais, deslocarão e já vêm deslocando vários dos atualmente considerados materiais tradicionais”. A busca por melhores propriedades dos materiais tem sido perseguida desde o início deste século e os deslocamentos ocorridos em vários ciclos de “transmaterialização”.

Qualquer propriedade dos materiais (ex.: supercondutividade, magnetismo, etc.) quando plotada contra o tempo (anos) apresenta uma curva exponencial com sua maior inflexão nos anos 70 e 80. Trata-se, portanto, de um ganho tecnológico em curto espaço de tempo, se comparado com a história de evolução dos materiais. Realmente, o tempo caracteriza o novo, mas isto é fruto de um natural apoio de décadas de pesquisa básica que deságua na aplicação tecnológica. Aliás, este é o fator diferenciador, a tecnologia. Mesmo os materiais ditos convencionais ganharam maior espaço para a extensiva utilização com a mudança no processo de produção, acarretando uma maior produtividade, aumento na escala de produção e maior lucratividade.

A questão do desempenho dos materiais em serviço parece ter maior importância do que o desempenho de materiais com significativo ganho no consumo energético. A redução de energia é uma decorrência da aplicação dos materiais avançados. Se compararmos o gasto energético de fabricação de quase todos os materiais avançados (ex.: titânio, zircônio, nióbio, zircônia, alumina) verificamos que são demandadores de energia maiores do que muitos dos materiais tradicionais. Contudo, com a maior sobrevida e desempenho, esses materiais de maior tecnologia, a médio e longo prazos, apresentam balanços energéticos favoráveis.

Os países centrais, estabilizados em suas infra-estruturas na década de 70, procuraram expandir seus domínios econômicos

para os países periféricos. A tecnologia passou a ser o objeto de negociação de maior valor, se comparado com a matéria-prima, e os materiais são depositários e precursores desses avanços. Por exemplo, a produtividade na usinagem de aços tradicionais é incrementada se a ferramenta de corte é feita com nitreto cúprico de boro (novo material comercializado a partir de 1969). Contudo, este material exige um equipamento de usinagem moderno, computadorizado e de alta velocidade. Então, o conceito de desempenho das propriedades de um novo material tem que estar associado ao desenvolvimento de tecnologias adjacentes, que talvez até necessitem dos novos materiais ou materiais de alta tecnologia.

O trabalho de Queiroz e Mitlag, 1989, enfoca alguns aspectos extremamente relevantes na caracterização dos materiais e sua interligação com a tecnologia que os fabrica, e para qual eles são fabricados.

O cenário tecnológico desenhado para o futuro próximo não faz distinção entre as ciências protagonistas das mudanças. A questão do desempenho dos materiais e dos próprios processos para fabricá-los agrega os conceitos mais diversificados e até espalhados (ou curtamente vistos apenas pelos especialistas e não pelos generalistas). A biotecnologia é um bom exemplo dos frutos que os estudos multidisciplinares podem colher. A aplicação da biotecnologia aos problemas metalúrgicos e de seus efluentes criou a biometalurgia, cujo potencial rapidamente presenciamos na mineração de ouro, substituindo a clássica e poluente ustulação de sulfetos auríferos (antes de cianetá-los).

Os claros avanços da ciência dos materiais são provenientes do melhor conhecimento da física do estado sólido, que possibilitou, inclusive, a projeção e previsão das propriedades. A extensão da aplicação destas propriedades é uma questão meramente comercial.

A entrada dos materiais avançados no mercado apresenta pelo menos duas estratégias:

- aplicação onde eles são absolutos por suas propriedades, e
- substituição de materiais tradicionais.

No primeiro caso destacam-se, por exemplo, as cerâmicas funcionais (eletroeletrônica, ópticas e magnéticas), cuja fabricação viabilizou o emprego de sensores, *lasers* e o próprio desenvolvimento da informática.

No segundo caso há de se diferenciar a aplicação do material avançado de desempenho superior, viabilizando um efeito multiplicativo ou dando longevidade ao produto, de uma aplicação com fins exclusivamente comerciais. Exemplos, como a fibra óptica substituindo o cobre, a cerâmica substituindo o alumínio em motores automotivos, o titânio substituindo o aço inox em próteses, são característicos do ganho de qualidade que esses materiais proporcionaram aos produtos. Já os mercados conquistados pelos plásticos de engenharia, em muitos casos, permitem a introdução de modelos de consumo que interessam particularmente aos agentes produtores, seja na redução de custo, seja na rápida obsolescência que ocasiona aos bens de consumo. Embora a preocupação de manter o bom desempenho esteja presente, os interesses comerciais são decisórios na substituição, por exemplo, do aço cromado pelo Noryl nos pára-choques de automóveis. A redução de peso e, conseqüentemente, a redução do consumo de combustível, é uma decorrência propalada, mas muito provavelmente não foi a motivação maior pelo desenvolvimento e ação de substituição. É mais real acreditarmos que o plástico no pára-choque custa menos ao fabricante, que, ao contrário do que ocorreu em outros países, não diminuiu o preço do carro nacional.

A indústria automobilística é um bom campo de estudos da lógica das empresas multinacionais, transformando o estilo de consumo de materiais, adaptando-os aos seus interesses. Parece-

nos, e no Brasil isto é claro, que a competitividade em preço e economia de combustível passou a ser assunto de menor apelo mercadológico. Os novos modelos de automóveis procuram difundir preferencialmente os conceitos de conforto, aparência e maior potência, e nisso os materiais avançados ainda são excelentes veículos propagandísticos. Naturalmente que eles são também grandes instrumentos de avanço tecnológico, mas cabe analisar mais profundamente se essa ponderação é mais relevante do que os fins comerciais.

Celso Furtado, em 1987 ("Transformação e crise na economia mundial"), já verificava esses aspectos em relação aos novos produtos, observando: "considerando que uma parte importante de sua produção é consumida por uma parcela pequena da população mundial, a perpetuação desse modelo requer um fluxo permanente de novos produtos e modelos, além de exigir uma rápida obsolescência dos bens de consumo" (Queiroz e Mitlag, 1989).

Recentes medidas do governo brasileiro objetivam modernizar a indústria, aumentando sua produtividade e competitividade no mercado internacional, através de uma crescente capacitação tecnológica, entendida como promoção da capacidade de selecionar, absorver, melhorar ou desenvolver tecnologias. Como bem observa o Dr. Ennio Candotti (Folha de São Paulo 29.07.90, p.A-3), o projeto de governo apoia-se em um tripé: mercado, capacitação tecnológica e sistema educacional. Em termos de educação, o País ocupa o 88º lugar no mundo, ainda com 20 milhões de analfabetos.

Os investimentos públicos em ciência e tecnologia representam 0,65% do PIB (US\$ 1,5 bilhão), que ainda são baixos se comparados aos investimentos em outros países (Coreia 2% do PIB, Itália 1,5% do PIB, Japão 2,8% do PIB). Na Tabela 25 apresenta-se a evolução dos investimentos nacionais em Ciência e Tecnologia entre 1970 e 1989. É evidente que o esforço brasileiro neste

segmento é insuficiente para acompanhar a evolução tecnológica mundial.

Outro dado que chama atenção, no caso brasileiro, é a participação bastante reduzida do setor privado nos investimentos em Ciência e Tecnologia. Para efeito de comparação, a Tabela 26 apresenta a contribuição relativa aos setores público e privado nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento para diferentes países. Nota-se claramente a grande diferença entre Brasil (6% do setor privado) e outros países desenvolvidos. As empresas privadas nacionais devem, a curtíssimo prazo, reverter esta situação sob pena de ficarem alijadas do mercado. As empresas brasileiras ou instaladas no Brasil investem cerca de US\$ 400 milhões anuais. As áreas favorecidas são: química, petroquímica, metalmeccânica e informática.

Quanto ao mercado, o poder de compra do brasileiro é um fator determinante, e o consumidor está farto de produtos caros e de baixa qualidade.

O momento é de grande reflexão quanto à situação paradoxal que vive o País. O favorecimento do empresário nacional não significa necessariamente a melhoria das condições para o consumidor, e, da mesma forma, a maior opção de compra para o consumidor não significa que colocará o produtor nacional, principalmente o pequeno, em condições competitivas internacionais.

O fato é que a tecnologia vem assumir seu papel preponderante nos anos 90, modificando as relações comerciais e o perfil do consumo.

TABELA 25 - EVOLUÇÃO DOS INVESTIMENTOS NACIONAIS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA COM RELAÇÃO AO PIB

PAÍS	%				
	1970	1975	1980	1985	1989
União Soviética	3,40	3,80	3,60	—	—
Estados Unidos	2,70	2,32	2,41	2,70	2,80
Alemanha Ocid.	2,30	2,45	2,38	2,70	2,85
Japão	1,79	2,10	2,21	2,80	2,92 ⁽⁸⁸⁾
França	2,0	1,82	1,82	2,30	2,33
Suécia	—	1,15	1,26	2,65	2,99 ⁽⁸⁷⁾
Canadá	1,24	1,10	1,10	1,26	1,29
Itália	0,85	0,79	0,76	1,12	1,25
Brasil	0,18	0,53	0,59	0,70	0,60

Fonte: CNPq e Anpei 1970 a 85; CNPq e OECD para 1989

TABELA 26 - INVESTIMENTOS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO SEGUNDO A FONTE DE FUNDOS (GOVERNO E EMPRESAS)

PAÍS	GOV. (%)	EMPR. (%)
JAPÃO	28,0	72,0
ALEMANHA	44,8	55,2
GRÁ-BRETANHA	49,8	50,2
EUA	50,0	50,0
FRANÇA	58,4	41,6
BRASIL	94,0	6,0

Fonte: OCDE e CNPq

Fonte: CNPq e Anpei 1970 a 85; CNPq e OECD para 1989

3. MINERAIS X MATERIAIS: IDÉIAS PARA PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO

A partir do panorama mundial da ciência e tecnologia dos materiais e seus reflexos no Brasil, é necessário perceber como o setor de matérias-primas pode atuar na área de materiais. É reconhecido que a matéria-prima mineral tem pouca importância nos produtos de alta tecnologia ou nos novos materiais. Mesmo as cerâmicas avançadas, com um mercado brasileiro de US\$ 250 milhões de dólares, apresenta apenas US\$ 19 milhões referentes aos insumos especiais. Então, talvez a criatividade esteja em usar os velhos e convencionais materiais para agregar valor. Neste processo, o fundamental é tecnologia e multidisciplinaridade. O engenheiro "mineral" não pode se especializar em uma ou outra operação unitária sob o risco de não acompanhar a evolução tecnológica hoje em curso no mundo.

A entrada do empresário mineral na área da ciência dos materiais pode se dar através da operação unitária ou da matéria-prima (insumo).

A operação unitária envolvida na tecnologia dos materiais abrange operações mecânicas de conformação de pós cerâmicos, moldagem (cerâmicas e resinas), laminação (cerâmica e metais), extrusão, prensagem, etc.

Já na obtenção de matérias-primas (insumos), a identidade das operações envolvidas com o processamento mineral é grande. Trata-se de obter o insumo a um passo na frente da concentração mineral, propício à confecção de produtos. Inevitavelmente a transformação ou purificação química deve estar presente, não sendo suficiente apenas o beneficiamento físico para se obter o insumo.

A transformação de um minério em um material de uso (peça)

cumprir, via de regra, as seguintes etapas:

Minério → Concentrado → Insumo → Peça ou Material

A primeira etapa é conhecida como beneficiamento mineral e é bem dominada no País, apresentando razoável capacidade técnica com bom acompanhamento das inovações através de contatos, congressos e literaturas.

O segundo passo envolve os processos hidro, piro e eletrometalúrgicos, ou seja, ação química em cima do concentrado.

O terceiro passo envolve a ciência dos materiais propriamente dita, com a investigação microestrutural orientando as operações de conformação e fabricação dos materiais, cujas propriedades são requeridas.

Naturalmente que um grupo de pesquisa de materiais atua preferencialmente no terceiro passo dessa cadeia de transformações; contudo, a vocação do minerador nacional ainda é fortemente centrada no primeiro. Assim, não se pode desprezar esta experiência e deve-se reforçar a segunda etapa, sempre visando a evolução para a terceira, que é onde se agrega mais valor e se vê o resultado prático da elaboração de um material, qual seja, sua utilização ordinária.

Recapitulando o rol de materiais comentados ao longo deste trabalho, podemos agrupá-los em :

- a) materiais "naturais" ou renováveis;
- b) materiais estruturais;
- c) materiais funcionais, e
- d) biomateriais.

Os insumos de cada um desses materiais listados serão, a seguir, comentados. O estreito contato do pesquisador do in-

sumo com o usuário (fabricante da peça) trará conhecimentos quanto às características, às propriedades e ao próprio processo de fabricação (ex.: prensagem, conformação, moldagem, extrusão, etc).

As linhas de pesquisa e desenvolvimento (idéias) sugeridas devem, contudo, ser avaliadas com maior crítica, cabendo a esses autores apenas divulgar pontos de reflexão colhidos ao longo de suas experiências profissionais.

É importante frisar que, independente da característica da instituição que se dedica à P&D (universidade, centro de pesquisa ou empresa), a passagem de uma idéia para uma oportunidade precisa ser avaliada, não só sob seus aspectos técnicos, mas econômicos, sociais, ambientais, etc.

A melhor política para concretizar uma oportunidade é a pesquisa por decisões sucessivas. O ensaio exploratório deve ser sempre bem visto num país de poucos recursos financeiros. A partir daí, monta-se a estratégia de pesquisa. O produto dessa pesquisa é novamente avaliado, verificando-se a necessidade (ou se vale a pena) de maiores investimentos em aprofundamento da investigação, ou se já está maduro para uma primeira abordagem de engenharia (mesmo a nível conceitual). A engenharia básica já é um grande passo para se coroar uma oportunidade.

Parecem óbvias essas etapas acima descritas, mas tanto o pesquisador quanto o empresário nacional conversam em línguas diferentes, quando não reconhecem o que é uma idéia e o que é uma real oportunidade, mensurada em seus riscos.

3.1 Insumos para Materiais Naturais

A forte característica dos materiais naturais ou renováveis é que o gasto de energia para fabricá-los é por conta da natureza;

contudo, alguma ajuda pode ser empreendida, através do uso de fertilizantes adequados, por exemplo. Um dos grandes problemas brasileiros é a baixa qualidade dos solos, já lixiviados de nutrientes, pois cerca de 2/3 do território nacional são cobertos por latossolos. O uso de fertilizantes tradicionais, nessa situação, apresenta custos elevados, tem baixa eficiência pelo excesso de solubilidade e complexação pelos hidróxidos do solo, além de não suprir a carência de micronutrientes.

A tentativa de se introduzir uma agricultura com padrões importados e a utilização de insumos convencionais (fertilizantes e agrotóxicos) em clima tropical vem sendo questionada. É necessário procurar soluções adaptadas às condições climáticas e pedológicas, que, venham a se traduzir na procura de fontes de fertilizantes de baixos custos, na utilização de depósitos minerais (e finos) de baixo teor e no atendimento às necessidades regionais. Dentre as alternativas possíveis destaca-se o termofosfato, que na sua forma tradicional, traz as seguintes vantagens:

- além de fornecer fósforo às culturas, tem a propriedade de corrigir parcialmente a acidez do solo;
- pode ser fabricado com dosagens específicas de macro (inclusive o potássio) e micronutrientes;
- evita a complexação dos nutrientes pelos hidróxidos do solo;
- tem efeito prolongado na fertilização, e
- sua tecnologia é simples e nacional, exigindo apenas energia.

Destacam-se na produção mundial de termofosfato o Japão e a Coreia, com 550.000 t/a e 150.000 t/a, respectivamente, e a China, com quase um milhão de toneladas anuais.

A produção brasileira de termofosfato magnésiano fundido, em 1986, representou cerca de 2,0% (180.000 t/a) da produção nacional de fertilizantes fosfatados. A produção é realizada pela Mitsui, Cooperativa de Cotia e Níquel do Brasil.

Pela grande aceitação do produto na agricultura brasileira e pela limitação dos produtos às matérias-primas (escória de Fe-Ni e rocha fosfática bitolada), parece claro que o mercado é ávido a novos produtores e produtos, principalmente incorporando novos nutrientes.

No País, o CETEC-MG e o IPT-CEFER vêm investigando os processos de fabricação de termofosfatos calcinados e fundidos, sofrendo, contudo, atualmente, os problemas de desmantelamento de equipe e falta de verbas. Recentemente, a CVRD realizou testes, com sucesso, na produção de termofosfato potássico.

Dentro dessa categoria de insumos para materiais "naturais" ou renováveis, podemos incluir as cargas minerais para papéis. As cargas pigmentadas de maior uso na indústria de papéis são: caulim, carbonato de cálcio (natural ou precipitado), dióxido de titânio, sulfoaluminato de cálcio, óxido de zinco, sulfato de bário e talco.

O uso de cargas minerais pelo setor de papel é dividido em duas aplicações: como carga interna em processos de colagem e como revestimento da superfície do papel. A colagem é um conjunto de operações que visa tornar o papel resistente à penetração de líquidos. O agente deve ser hidrofóbico, distribuir-se homogeneamente pela folha e ser passível de retenção pela fibra. Há dois tipos de colagem: ácida (o caulim é a principal carga) e alcalina (mistura de caulim e carbonato de cálcio). As cargas devem ser brancas e com granulometria controlada:

. tamanho máximo:	8 a 10 μ m
. % menor que 2 μ m:	50-70%
. % menor que 1 μ m:	22-30%
. % menor que 0,5 μ m:	15%
. tamanho médio:	1,8-2 μ m

Dá-se o nome de revestimento ao tratamento da rede fibrosa por um material que se aloja na e/ou sobre a folha durante o resfriamento e secagem. A finalidade é tornar a superfície do papel lisa e uniforme pela adição de pigmentos de partículas muito pequenas (0,1 a 5 μ m), permitindo melhor contato com a prensa. O recobrimento é formado por um pigmento e um adesivo.

No Brasil utiliza-se o caulim (paulista) para colagem (ácida), e para revestimento o caulim Amazon 88 (da Cadam) com alvura de 86,5% G.E. (consumo interno de cerca de 70.000 t/a), e o carbonato de cálcio precipitado (consumo interno de cerca de 7.500 t/a) com alvura superior a 95% G.E.

A perspectiva de entrada do carbonato de cálcio natural no setor de papel é visualizada pela English China Clay como promissora, tanto para o revestimento, quanto pela possibilidade de modernização das indústrias brasileiras, trocando sua tecnologia para a colagem alcalina. Atualmente a ECC produz em São Paulo cerca de 1.000t/mês de calcita moída vindas do Espírito Santo, competindo com o produto precipitado da Química Indústria Barra do Piraí.

A Klabin-PR tem feito testes utilizando o talco paranaense como matéria-prima para revestimento.

O fosfogesso é outro insumo que vem sendo testado com

sucesso na indústria papelreira, podendo substituir o caulim como carga.

O mercado dessas cargas para papéis é extremamente competitivo entre os produtores de insumos, e as empresas consumidoras apresentam como trunfos de barganha de preço as especificações, pouco acessíveis aos produtores de matérias-primas. A presença de um intermediador e laboratório atestador da qualidade (até melhorando-a) das cargas minerais dissiparia o clima de suspeita que paira neste meio, reduzindo o poder decisório dos fabricantes de papel e abrindo mercado para pequenos produtores, próximos dos centros consumidores. A aproximação com os produtores de calcita do Espírito Santo seria um primeiro passo no reconhecimento dos problemas do setor de matérias-primas.

3.2 Insumos para Materiais de Engenharia

Sob este título caberia uma grande gama de materiais a serem investigados. Na divisão feita no corpo deste trabalho observamos que os materiais de engenharia incluem os metais, cerâmicas e polímeros.

3.2.1 Insumos Para Metais e Ligas

Os insumos para metais e ligas de interesse a curto prazo seriam aplicados aos:

- aços microligados;
- superligas e metais resistentes à corrosão, e
- superímãs.

Os clássicos insumos para os aços microligados são as ferro-

ligas. A produção nacional e a exportação de ferro-ligas podem ser observadas nas Tabelas 27 e 28. É interessante notar que,

TABELA 27 - EXPORTAÇÃO DE FERRO-LIGAS

LIGA	Toneladas			US\$/1000(FOB)		
	1989	1988	(%) 89/88	1989	1988	(%) 89/88
Fe Mn AC	38.656	44.375	(12,9)	194.041	16.714	13,9
Fe Si Mn	52.909	62.546	(15,4)	33.627	27.664	21,6
Fe Mn MC/BC	2.250	2.501	(10,0)	1.728	1.590	8,7
Fe Si 75%	162.077	175.035	(7,4)	132.432	134.781	(1,7)
Fe Si 45% ⁽¹⁾	16.829	18.938	(11,1)	5.582	5.356	4,0
Fe Ca Si	26.732	24.858	7,5	29.439	25.907	13,6
Si Metálico	85.653	60.310	42,0	94.131	70.807	32,9
Fe Cr Ac	23.135	34.486	(32,9)	18.998	28.869	(34,2)
Fe Si Cr	—	—	—	—	—	—
Fe Cr BC	65	80	(18,8)	86	98	(12,2)
Fe Ni AC	—	—	—	—	—	—
Fe Ni BC	12.684	10.184	24,5	38.784	29.628	30,9
Fe Si Mg	7.437	7.144	4,1	6.535	6.662	(1,9)
Fe Si Zr	750	519	44,5	767	529	45,0
Fe Nb	15.382	14.269	7,8	120.109	102.354	17,3
Fe Mo	—	—	—	—	—	—
Fe V	56	—	—	1289	—	—
Fe Ti	—	—	—	—	—	—
Fe W	—	—	—	—	—	—
Fe P	—	—	—	—	—	—
Cr Metálico	—	—	—	—	—	—
Mn Metálico	—	—	—	—	—	—
Inoculantes	6.474	2.379	172,1	6.368	2.189	190,9
Total	451.089⁽²⁾	475.624	(1,4)	508.916⁽²⁾	453.157	12,3

Fonte: Produtores/ABRAFE

TABELA 28 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE FERRO-LIGAS

(t)

Tipos de Liga	1989 (Jan./Dez.)	1988 (Jan./Dez.)	(%) 89/88	1989 (Jan./Dez.)	1988 (Jan./Dez.)	(%) 89/88
Fe Mn Ac	154.305	161.896	(4,7)	16.190	10.103	60,2
Fe Si Mn	208.262	193.490	7,6	18.952	20.829	(9,0)
Fe Mn MC/BC	26.363	18.692	41,0	2.416	971	148,8
Fe Si 75%	278.787	259.692	7,4	21.167	22.555	(6,2)
Fe Si 45%	8.207	7.846	4,6	604	260	132,3
Fe Ca Si	33.020	31.519	4,8	2.780	3.140	(13,8)
Si Metálico	116.779	79.287	47,3	10.699	7.961	34,4
Fe Cr AC	101.264	6.329	(13,0)	7.712	11.634	(33,7)
Fe Si Cr	8.939	9.177	(2,6)	831	236	252,1
Fe Cr BC	12.003	13.695	(12,4)	1.133	1.208	(6,2)
Fe Ni AC	1.477	2.265	(34,8)	230	131	75,6
Fe Ni BC	33.520	31.665	5,5	2.821	1.667	69,2
Fe Si Mg	15.864	17.000	(6,7)	766	1.490	(48,6)
Fe Si Zr	1.392	793	75,5	124	101	22,8
Fe Nb	16.378	19.106	(14,3)	1.866	751	148,5
Fe Mo	332	427	(22,2)	5	29	(82,8)
Fe V	302	261	15,7	10	57	(82,5)
Fe Ti	430	549	(21,7)	10	62	(83,9)
Fe W	22	133	(83,5)	—	6	—
Fe P	1.928	1.469	31,2	248	225	10,2
Cr Metálico	135	155	(12,9)	4	13	(69,2)
Mn Metálico	116	77	50,6	—	—	—
Inoculantes	12.098	7.678	57,6	1.086	753	44,2
Total	1.031.922	973.201	6,0	89.582	84.182	6,4

Fonte: Produtores/ABRAFE

*Fe Si até 50%

desta variedade de produtos, muitos deles são feitos em pequenas firmas, utilizando processo rudimentar de aluminotermia. As escórias desses processos são ainda muito ricas em ferro-ligas, não havendo um bom processo de reciclagem. Muitas das matérias-primas empregadas na fabricação de ferro-ligas são óxidos dos elementos, importados. Outros novos produtos poderiam ser estudados de modo a empregarem concentrados minerais de médios teores, cuja aplicação hidrometalúrgica demandaria alto consumo de ácido (ex.: concentrado de bastnaesita de Morro de Ferro - MG, na produção de Fe-Si-terras-raras ou minério de Uaupés para fabricação de Fe-La-Nb-Si).

Outra linha de pesquisa interessante seria a utilização de sucatas ou rejeitos industriais na fabricação de ferro-ligas. Um trabalho recente da Paulo Abib Engenharia S.A. demonstrou a viabilidade técnica de extração de vanádio de catalisadores inativos utilizados nas fábricas de ácido sulfúrico. Estes catalisadores apresentam teores de 3 a 5% de vanádio, e após lixiviação chega-se a um produto (predominante V_2O_3) com 36%V, cujo emprego para fabricação de ferro-ligas é possível. Da mesma forma existem cinzas de caldeiras, que queimam óleo pesado, cujo teor de óxido de vanádio atinge 52%. Vários outros catalisadores e borras industriais possuem teores interessantes de outros metais como níquel, molibdênio, titânio, etc, que através de estudos de extração, poderiam ser reciclados, diminuindo até a dependência externa de alguns desses metais nas indústrias de ferro-ligas.

Um pequeno forno elétrico (50 kVA) com capacidade de 30kg/h seria o equipamento suficiente para serem iniciadas atividades de pesquisa neste setor tão próspero. Outras linhas de pesquisa seriam relacionadas ao aproveitamento de subprodutos gasosos (ex.: K_2O) e das escórias (ex.: termofosfato) para fins mais nobres.

Um produto correlato bastante interessante é a liga Al-Si, que poderia ter ampla aplicação na siderurgia, substituindo o

Al em pó empregado no acalmamento de aços. Essa liga já é produzida na URSS (deve-se verificar se existe patente soviética depositada no Brasil em nome da All-Union Research and Design Institute of Al, Mg and Electrode Industries - VAMI, Leningrad) aproveitando minérios de alto teor de sílica e alumina, como por exemplo: cianitas, silimanitas, caulinitas e bauxitas. O processo soviético é uma redução carbotérmica em forno elétrico, utilizando minérios rejeitados para a produção de alumina e obtendo a liga 58-60Al/34-38Si. A liga, por si só, apresenta boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão, que permitiram sua utilização como material estrutural. Para um país silicoso e aluminoso como o Brasil, esta parece ser uma alternativa apropriada aos seus recursos naturais.

Os insumos visualizados para a fabricação de superligas e metais resistentes à corrosão são difíceis de serem generalizados numa mesma categoria. As superligas, por exemplo, apresentam, como elementos majoritários, normalmente, o níquel, cobalto e o ferro, com proporções variadas de cromo, molibdênio, tungstênio, nióbio, como microconstituintes, o titânio, tântalo, lantânio, zircônio, alumínio, boro, etc. Não se trata de propor que se pesquise a formulação de superligas, embora esta área seja carente no País (normalmente esta pesquisa é feita por poucas universidades e pela Eletrometal e Engemasa fabricantes de tarugos e chapas de superligas de níquel), uma vez que isto faria parte do terceiro passo na transformação de um minério em um material de uso ordinário.

Mais uma vez as bolsas de resíduos divulgados pela ABIQUIM e órgãos ambientais estaduais trazem uma grande relação de possíveis matérias-primas para obtenção dos insumos, como níquel, cobalto, etc. Por exemplo, a Ultrafértil gera 9t/a de catalisadores inativos com 13,5% de NiO e 5 t/a de catalisadores com 3,3% CoO e 14% MoO. Como esta firma, existem pelo menos uma centena de outras oferecendo seus resíduos carregados de

metais pesados, que, em última análise, lhes causam grandes dores de cabeça para armazená-los, uma vez que o descarte é proibido. A outra opção é o aproveitamento de pequenas jazidas com alto teor desses metais (níquel, cobalto, molibdênio e tungstênio).

Já os metais resistentes à corrosão, como titânio, zircônio, nióbio, tântalo e tungstênio apresentam grande potencial de crescimento. O domínio da técnica de carbocloração é fundamental no processo extrativo a partir do concentrado mineral ou do ferro-liga. A capacitação na técnica de cloração é de suma importância, pois nela reside o futuro da metalurgia dos metais especiais. No Brasil a PUC-RJ, IPEN, CTA e CVRD são os grupos mais engajados com as pesquisas de cloração. A Eletrocloro (Solvay) e a Dupont são empresas com *know-how* neste assunto.

3.2.2 Insumos para Cerâmicas de Engenharia

Podemos dividir as oportunidades de pesquisa e desenvolvimento em cerâmicas de engenharia em duas linhas:

- cerâmica convencional, e
- cerâmica avançada.

Alguns dos problemas relativos às indústrias de cerâmica tradicional (vermelha ou branca) são:

- constância na qualidade do fornecimento de matérias-primas;
- lavra e meio ambiente das argilas, e
- abastecimento de madeira (combustível).

A grande variação do tipo de matéria-prima que os produtores têm enviado às fábricas está obrigando os fabricantes de cerâmica

a se verticalizar. Os produtores de matérias-primas não visualizam uma oportunidade, a exemplo do que já ocorre nos EUA, que é a transformação dos minerais (argilas) em especialidades químicas. Trata-se de fornecer misturas de minerais para diversas finalidades no preparo de cerâmicas, com o devido controle de qualidade, especificações e posologia. Os trabalhos nessa área se iniciaram, levantando-se os problemas e cenários para a cerâmica convencional, e dirigindo-se estudos junto aos mineradores e consumidores, de modo a se alcançar a condição de colocar no mercado o minério com "bula". É uma filosofia muito aplicada na indústria de fertilizantes e ração animal, onde os compostos já vem formulados e indicados os procedimentos de aplicação. Da mesma forma, enxergam-se os insumos para cerâmicas, onde, através de aditivos como dióxido de titânio, zirconita, magnésia, talco ou wollastonita, misturados à clássica argila caulínica, conferem melhores propriedades mecânicas às peças e melhor campanha de queima. A wollastonita, com produção mundial próxima de 150.000t/a, desponta como um mineral que confere ótimas propriedades mecânicas às cerâmicas, prevenindo trincas durante a queima. A wollastonita sintética é produzida pela sinterização de calcário e sílica (patente IPT). Para se chegar a este ponto é necessário um planejamento de estudo à médio prazo para a capacitação pessoal e material (ex.: fornos). Alguns parceiros importantes neste processo de capacitação seriam: SENAI, IPEN, UFSCar, IPT e INT, além dos próprios produtores de cerâmica.

Um segundo ponto de intervenção bastante profícua para P&D seria no auxílio aos mineradores nos procedimentos de lavra de argila com menores impactos ambientais. Sendo materiais de baixo preço, os custos de lavra, beneficiamento e transporte são decisivos. As jazidas, via de regra, localizam-se próximas de centros urbanos, que são consumidores de telhas, tijolos ou louças, ocasionando freqüentes problemas ambientais (ex.: degradação visual, assoreamento de cursos d'água, etc). A

técnica de preenchimento de cavas poderia ser estudada, isto é, coloca-se o material estéril (ex.: solo) da próxima cava no local escavado anteriormente, avançando-se, por trincheiras, as frentes de lavra.

O impacto ambiental não se restringe apenas ao minerador. As olarias utilizam extensivamente a madeira nativa como meio de combustível. As investidas do CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, no passado, procurando utilizar a turfa como sucedâneo, apresentaram bons resultados e deveriam ser retomadas com apoio estadual e da própria ABC - Associação Brasileira de Cerâmica.

Um dos maiores problemas da indústria de vidro e cerâmica é o controle do ferro presente nas matérias-primas. Esse elemento é indesejável pelos danos que acarreta ao produto final, tais como manchas, diminuição de resistência, etc. Além disto, o ferro é um dos fatores de inviabilização do aproveitamento de inúmeras reservas de matérias-primas minerais. A distância das boas jazidas da fábrica e do centro consumidor tem levado os produtores de vidros a procurarem incentivar a reciclagem. A falta de um processo eficiente de reciclagem, com o desaparecimento do garrafeiro (recicla garrafas inteiras) e o surgimento do caqueiro (recicla cacos de vidro adulterados com metais para aumentar o peso), tem levado os produtores a procurarem soluções de tratamento físico e químico de minérios de baixa qualidade.

A falta de experiência dos produtores de vidros no tratamento de minérios abre uma boa oportunidade para atuação em P&D. Os processos biometalúrgicos poderiam também ser investigados. A utilização de fungos do tipo *Aspergillus Niger* na geração de ácidos orgânicos pode ser uma alternativa interessante (Industrial Minerals, Mar 86, p.81-84) na lixiviação dos óxidos hidratados de ferro que contaminam as matérias-primas.

Novamente é necessário o contato do pesquisador com os

agentes desse mercado de vidros (principalmente), tentando identificar os problemas e situando-se mais próximo da realidade industrial.

Os insumos para cerâmicas estruturais avançadas, que poderiam ser enfocados para estudos, são a seguir sugeridos:

- nitretos e carbetos;
- zircônia;
- terras-raras e ítria, e
- alcóxidos.

Os processos clássicos de fabricação de nitretos envolvem: reações carbotérmicas de redução, reações em fase líquida e gasosa e nitretação de pós. As operações unitárias são muito similares àquelas envolvidas nos processos pirometalúrgicos. Uma rota alternativa a ser investigada é a redução da sílica pelo NH_3 a altas temperaturas (acima de 1.200°C), para obter o Si_3N_4 . Uma opção interessante seria a utilização de tocha de plasma.

Os nitretos de titânio, alumínio e silício teriam, a curto prazo, interesse de repasse tecnológico para os fabricantes de ferramentas de corte. Somente a longo prazo vislumbram-se as aplicações, como a confecção de peças para motores, onde o domínio tecnológico de fabricação do pó poderia ser um ponto de incentivo para a indústria nacional desenvolver novas aplicações. A avaliação do mercado potencial poderia ser efetiva contactando e atraindo os fabricantes de ferramentas de corte (ex.: Norton, Sandvik, Christense Roder, Winter, Carborundum, 3M, etc.) Estudos americanos prevêem que até o ano 2000 os nitretos irão substituir 15% do mercado dos carbetos em ferramentas de corte (máximo 30% de substituição). O mercado brasileiro de insertos é dominado pelo metal duro ($\text{WC} + \text{Co}$), consumindo cerca de 500t/a e faturando aproximadamente US\$ 150 milhões anuais. Mesmo uma parcela reduzida de substituição (ex.: 2%) que

possa vir a ocorrer no mercado nacional, nos próximos 5 anos, já justifica o investimento em P&D.

Deve-se destacar também o composto nitreto de alumínio pelo uso potencial como substrato de circuitos integrados em microeletrônica.

Em relação à zircônia, os processos usados para abertura do minério zirconita têm sido a fusão alcalina, a cloração e, mais recentemente, a fusão a plasma. O processo usando a fusão alcalina já foi estudado por algumas Universidades, como o Instituto de Química - Araraquara/UNESP e UFSCar e aprofundado e consolidado em uma planta piloto no IPEN-CNEN/SP. Já se cogita, inclusive, a produção industrial de óxido de zircônio no Brasil pelas firmas Paranapanema e Samitri, utilizando o processo de fusão alcalina. Quanto ao processo de cloração, algum esforço tem sido realizado pela PUC-RJ, CTA-São José dos Campos e IPEN/CNEN-SP no sentido de desenvolver essa tecnologia aplicada à metalurgia do zircônio, e tudo indica que os custos envolvidos no processo de cloração são muito superiores quando comparados aos custos do processo de fusão alcalina.

Em relação ao processo de obtenção de zircônia por fusão a plasma, praticamente não há nada sendo feito neste sentido no Brasil, embora seja uma rota altamente promissora. Uma linha para P&D seria o desenvolvimento e aplicação da tecnologia de fusão a plasma, não somente visando a obtenção de zircônia, mas também, e principalmente, de vários insumos de importância comercial. De fato, a tecnologia de plasma, embora de recente desenvolvimento, vem sendo incorporada em inúmeros processos, com grande destaque para o setor de recobrimento superficial. A tecnologia de plasma propriamente dita vem sendo objeto de estudo de alguns grupos no Brasil, principalmente o IPT. Contudo, a aplicação desta tecnologia para obtenção de pós cerâmicos é uma etapa desconhecida dos brasileiros. Neste sentido, vale também lembrar que os materiais cerâmicos covalentes

também podem ser obtidos por plasma.

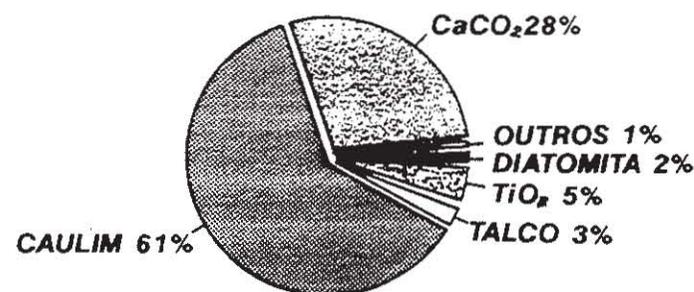
Ainda em relação à zircônia, embora tenha havido um grande progresso tecnológico quanto à obtenção deste material com alto grau de pureza, é ainda necessário o desenvolvimento, em bases industriais, do processo de estabilização da zircônia. Aqui também há um grande espaço para atuação em P&D. Este mesmo raciocínio pode-se aplicar ao caso das terras-raras, cuja tecnologia de separação ainda é muito incipiente no Brasil, como também para os compostos tipo alcóxidos, um importante insumo para materiais de alta importância tecnológica.

3.2.3 Insumos para Plásticos de Engenharia

As cargas minerais utilizadas em plásticos são aquelas que necessitam de maior aporte para o reconhecimento da melhoria das propriedades.

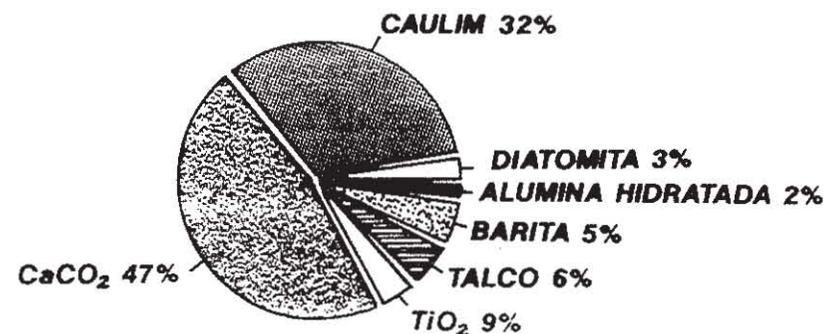
Abre-se um parêntese para se comentar sobre o mercado nacional de cargas minerais, que representa 5% do mercado americano. Os principais insumos podem ser observados na Figura 2. Os mercados consumidores são: indústria de plásticos, papel, tintas, borracha, tapetes, laminados asfálticos, alimentos, etc. Em todos estes segmentos é notória a falta de um laboratório neutro de controle de qualidade, intermediando negociações entre produtores (a maioria pequenos empresários) de matérias-primas e consumidores. Aliás, o setor de minerais industriais, que experimenta um crescimento anual de 4%, é caracterizado

PRODUÇÃO BRASILEIRA DE TIPOS SELECIONADOS DE CARGAS MINERAIS (1987)



TOTAL = 1×10^6 t

CONSUMO DOS MAIORES TIPOS DE CARGAS MINERAIS, USA, (1987)



TOTAL = 20×10^6 t

FIG. 2 - PRODUÇÃO E CONSUMO DE CARGAS MINERAIS

Fonte : HARRIS, 1988.

pela participação de 42% de pequenos produtores.

Especificamente no caso dos plásticos, buscaram-se cargas de minerais, observando as seguintes características:

- razão de aspecto (forma das partículas);
- tamanho e distribuição de tamanho de partículas;
- área superficial específica;
- natureza química da superfície;
- fração volumétrica máxima de empacotamento;
- pureza química, e
- agentes de acoplamento, tensoativos, agentes de molhamento, lubrificantes.

No reforço mecânico de plásticos, os minerais de aspectos lamelares apresentam os melhores desempenhos (ex.: grafita, talco, caulim, agalmatolito, wollastonita, mica).

Já nos plásticos de isolamento elétrico, a presença de água estrutural restringe o uso do mineral como carga: é o caso dos caulins e talcos. O carbonato de cálcio aparece como uma carga de baixo custo e boas características. A Tabela 29 apresenta a previsão do consumo de carbonato de cálcio (natural e precipitado) pelos setores industriais brasileiros.

TABELA 29 - PREVISÃO DO CONSUMO BRASILEIRO DE CARBONATO DE CÁLCIO POR SETOR

SETOR	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Plásticos (1)	97.800	103.520	109.650	116.160	123.240	130.635	138.600
Tintas (2)	41.600	43.700	46.800	48.100	50.500	53.100	56.700
Tapetes (3)	8.500	9.000	9.500	9.900	10.400	10.900	11.400
Lam. Asfáltica (4)	6.700	7.000	7.300	7.670	7.870	8.200	8.500
Borracha (5)	9.500	10.000	10.500	11.000	11.500	12.100	12.800
Papel (6)	7.200	7.400	7.600	7.900	8.100	8.300	8.600
Total	171.300	180.620	190.350	200.630	211.610	223.235	235.600
Total Natural	124.062	130.951	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total Precip.	47.238	49.669	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Nota:

- (1) Inclui PVC, PP, EVA, PEED, participação do CaCO₃ppt 26% em 1987;
- (2) CaCO₃ppt participa com 22,4% em 1988;
- (3) Predominante calcita moída;
- (4) Predominante calcita moída;
- (5) CaCO₃ppt participa com 66% em 1988;
- (6) Total participação do CaCO₃ppt n.d. - não determinado

Fonte: Alvarinho & Veiga, 1989.

As Tabelas 30 e 31 apresentam, respectivamente, a projeção de consumo de CaCO₃ no setor de plásticos, e o percentual de carregamento desta carga mineral.

TABELA 30 - PROJEÇÃO DO CONSUMO FÍSICO BRASILEIRO DE CaCO₃ (NATURAL + PRECIPITADO) NO SETOR DE PLÁSTICOS

	(t)						
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PVC	65.200	69.700	74.600	79.800	85.400	91.400	97.800
PP	1.000	1.150	1.300	1.500	1.750	2.000	2.300
EVA	19.900	20.500	21.100	21.700	22.400	23.000	23.700
PEBD	11.700	12.170	12.650	13.160	13.690	14.235	14.800
Total	97.800	103.520	109.650	116.160	123.240	130.635	138.600

Fonte: Alvarinho & Veiga, 1989

TABELA 31 - PRODUÇÃO NACIONAL (1987) EM TONELADA DOS PRINCIPAIS PLÁSTICOS E PERCENTUAL DA CARGA DE CARBONATO DE CÁLCIO NO PLÁSTICO

PLÁSTICO	PRODUÇÃO	% CARGA MINERAL (CaCO ₃) NO PLÁSTICO
PVC	451.555	16*
PP	279.5607	40**
EVA	17.456	100-200***
PEBD	630.549	60****

*Tubos e conex. 20%, Fios e Cabos 40%, Calçados 5%, Filmes 12%, outros 5%
 **Somente no injetado
 ***Solado
 ****Somente em placas expandidas

O carbonato natural de maior consumo no setor é proveniente da firma cearense Carbomil, cujos preços (posto SP) de produtos variam de US\$ 72,50/t (produto C-500) a US\$ 203,00/t (C-600L - com cobertura de estearato). O carbonato natural do Carbomil de melhor qualidade é o Extra 800, com tamanho médio de partículas da ordem de 2µm e preço de US\$ 174,00/t (CIF,SP). Ao se comparar com os carbonatos de cálcio precipitados, da Quimica Industrial Barra do Piraí, estes últimos apresentam preços muito maiores, sendo o produto Barralin, que compete com o natural no mercado de plásticos, vendido a US\$ 518,00/t (FOB Barra do Piraí-RJ).

Os problemas tecnológicos envolvidos no mercado de cargas de plásticos permitem vislumbrar uma grande perspectiva de atuação em P&D. Por exemplo, o carbonato de cálcio natural de origem biológica da Carbomil apresenta-se naturalmente muito fino, mas a alvura de 80% é limitante no uso extensivo da carga. O mesmo problema enfrenta uma pequena mineração chamada Carbonal localizada no município de Mangas-MG, fronteira com a Bahia. O alvejamento de carbonatos de cálcio só tem sido pesquisado utilizando-se processos físicos de beneficiamento de minérios (ex.: floculação, flotação, classificação). Abre-se também a perspectiva de utilização das calcitas capixabas; contudo, o processo de pulverização ainda tem que ser estudado e implantado. O baixo preço (US\$ 73,50/t, CIF SP) destes carbonatos e a alta alvura (> 90% G.E.) são características animadoras para que haja maior utilização desses produtos naturais. É preciso trabalhar junto com os produtores do Espírito Santo e os misturadores de resinas do Rio e São Paulo (que são mais de 5.000) para difundir o uso do produto natural.

A Tabela 30 dá idéia do potencial de consumo de carbonato de cálcio natural, que atualmente compete no mercado de quase 190.000t anuais de cargas, sendo o excedente utilizado como corretivo de solos. Na Tabela 32 apresenta-se a capacidade instalada de produção desse insumo.

TABELA 32 - CAPACIDADE INSTALADA DE PRODUÇÃO DE DE CARBONATO DE CÁLCIO NATURAL E DOLOMITA

EMPRESA	UF	CAPACIDADE INSTALADA (t/m)		TIPO DE PRODUTOS
		Atual	Futura	
Dolomia	SP	3.000	3.000	Dolomita -325#
Inacarb	ES	6.000	6.000	Dolomita -325# Calcita -325#
Mocal	ES	12.000	15.000 (90)	Calcita -325# Dolomita -325#
Minebra	SP	500	500	Calcita -325# retirando-se do mercado
Brasilminas	MG	3.000	3.000	Calcita -325#
Curuçá	SP	1.500	1.500	Calcita* -600#Micron. Dolomita -500#
Nemer	ES	10.000	13.500 (89)	Calcita* -400#Micron. Dolomita -600# em 89
Poulver	RJ	4.500	4.500	Calcita -325# Calcita -325#Micron.
Minerosul	MG	3.000	4.000	Calcita -325#Micron. Calcita -600# Calcita -500#
Carbomil	CE	5.000	5.000	Calcita 90% -6µm Friável
Gran. Martins	ES	5.000	8.000 (89)	Calcita -325#
Dolomil	PB	3.000	3.000	Dolomita -325#
Poulver	NE SE	4.000	6.000	Calcita -325# Friável -5#
ECC	SP	830	960 (89)	Calcita 90% -2µm Mofda
Total (t/m)		61.330	73.960	—
Capacidade Anual		735.960	887.520	—

*Capacidade de produzir calcita e/ou dolomita

O potencial de crescimento mundial do consumo de carbonato de cálcio natural é bastante relevante. As Tabelas 33 e 34 apresentam o consumo de cargas minerais no mercado de plásticos e borracha na Europa e EUA.

No Brasil, ao contrário da tendência mundial, observa-se o crescimento gradativo do carbonato de cálcio precipitado (artificial), que em 1987 representava 25% do carbonato carregado nos plásticos. Este fato resulta da falta de especificações, tecnologia, difusão, pesquisa aplicada e assistência técnica para aumentar a confiabilidade do consumidor no insumo mineral. A assistência técnica nessa interface minerador-consumidor é importantíssima e carente, pois trata-se de "culturas químicas" diferentes: o minerador está acostumado com produtos inorgânicos naturais, e o consumidor (fabricante de compostos resínicos), com produtos orgânicos. A assistência técnica e comercial da Química Industrial Barra do Piraí é eficiente no convencimento do consumidor e na colocação do seu produto, mesmo que a preço sete vezes superior ao do produto natural.

A entrada no mercado de especialidades como o carbonato de cálcio com cobertura de estearato (melhorando a hidrofobicidade e aumentando a dispersão em resinas) encontra resistências ainda maiores, muitas vezes pela simples ignorância dos consumidores quanto às vantagens técnicas desse material.

Se o quadro de falta de assistência técnica, especificações e controle de qualidade ocorre na área dos carbonatos de cálcio, insumo de maior consumo, pode-se imaginar o que deve ocorrer para a introdução de novos produtos, como o caulim calcinado e a wollastonita como carga de polímeros. A carência de institutos de pesquisa e universidade envolvidos com as tecnologias das cargas minerais é assunto já comentado nos dois congressos sobre cargas minerais (1988 e 1990) em Ponta Grossa - PR.

TABELA 33 - CONSUMO EUROPEU DE CARGAS MINERAIS PARA PLÁSTICOS E BORRACHA

MATERIAL	1982(t)	1987(t)
Carbonato*	830.000	895.000
Talco	62.000	80.000
Asbestos	12.000	6.000
Outros silicatos**	24.000	34.000
Outros minerais***	32.000	45.000
Total de cargas minerais	960.000	1.060.000
Fibra de vidro-microesferas****	190.000	225.000
Total	1.150.000	1.285.000

Fonte: Plastic Consult SrL, Milão, Itália

*Exclui Carpetes

**Caulim, micas, wolastonita

*** ATH, sílica e outros

****Incluindo microesferas de sílica

TABELA 34 - ESTIMATIVA DO CONSUMO AMERICANO DE CARGAS MINERAIS PARA O SETOR DE PLÁSTICO

MATERIAL	1980	1985	1990
Carbonato de cálcio	1.095,0	1.597,7	2.891,8
Talco	113,6	181,8	293,2
Asbesto	235,5	293,2	365,0
Argilas	76,4	99,5	130,0
Mica	0,5	0,5	0,6
Misc. silicatos	8,2	13,2	21,4
Sílica	39,0	74,1	140,0
Outros minerais	11,4	12,7	14,5
Outras cargas	745,3	1.067,5	1.536,3
Total	2.324,9	3.522,1	5.392,8

Valores em 1000t

OBS.: Pode-se verificar que em 1980 o carbonato de cálcio corresponde a 47,1% de todas as cargas, aumentando para 50,5% em 1985 e 53,6% em 1990.

Fonte: Business Communication Co.

3.3 Insumos para Materiais Funcionais

Como já observado no item anterior, os insumos, mesmo para os materiais de alta tecnologia, agregam pouco valor quando comparados aos produtos finais.

No caso dos materiais funcionais esta afirmação é parcialmente válida, uma vez que, como no caso das cerâmicas avançadas, há necessidades de insumos de alto grau de pureza e com propriedades físicas bem definidas. A título de comparação, pode-se exemplificar a zircônia, que assume os seguintes preços FOB:

Produto	US\$/ton
minério (zirconita)	200 a 300
zircônia (99,7%)	8.000 a 20.000
zircônia estabilizada	50.000

Na Tabela 35 apresenta-se o mercado brasileiro de algumas matérias-primas utilizadas na cerâmica avançada, sendo em 1989 da ordem de US\$ 20 milhões. O mercado brasileiro de peças finais, como já visto anteriormente, foi da ordem de US\$ 250 milhões.

Não considerando o caso do diamante sintético e do óxido de urânio, dois insumos muito especiais, praticamente todas as matérias-primas citadas na Tabela 35 são passíveis de análise e estudo. A falta de experiência brasileira nesta área é gritante. Poucos insumos produzidos no Brasil, neste segmento, se encontram dentro das especificações exigidas pelos consumidores.

TABELA 35 - MERCADO BRASILEIRO DE ALGUMAS
MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS (1989)

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

O caso do titanato de bário (= 160t/ano) é típico. Produzido por uma empresa nacional, este material não atende às qualificações exigidas para capacitores especiais.

3.4 Insumos para Materiais com Funções Biológicas

Dentre os materiais apresentados no item 2.5 deste trabalho, observa-se que o mercado nacional desses materiais ainda é desconhecido. Somente no que diz respeito às próteses ortopédicas metálicas, onde ainda predominam os implantes femurais de aço inoxidável, o mercado brasileiro atinge US\$ 20 milhões. A recém-produção de próteses de titânio criou a necessidade de se ter um laboratório de controle de qualidade em biomateriais. Este laboratório atenderia aos produtores de próteses ortopédicas e odontológicas, entre outros, dando assistência técnica na produção, aferindo propriedades físicas e químicas dos produtos e melhorando a qualidade dos implantes nacionais. Vale ressaltar que na área ortopédica atuam 24 empresas carentes de um sistema ágil de controle de qualidade.

A área de síntese de biovidros e hidroxiapatita seria um primeiro estágio (fabricação do insumo) para se atuar nessa área com uma pequena infraestrutura laboratorial.

Da mesma forma, vislumbra-se grande oportunidade de atuação na área dos minerais farmacêuticos, iniciando-se, da mesma forma que os biomateriais, por um trabalho de reconhecimento dos agentes deste mercado.

Uma das áreas mais distantes da ciência dos materiais e que demanda verdadeiras fortunas de produtos é a odontologia. No País, os cursos sobre materiais dentários não são proferidos pelos engenheiros de materiais ou metalúrgicos, mas pelos próprios dentistas. A evolução da qualidade dos materiais é avaliada, dessa forma, apenas pelo desempenho clínico. Muito recente-

mente a Universidade de Bauru, Departamento de Odontologia, criou o CEIMPO - Centro de Estudos de Implantes Odontológicos, procurando preencher essa lacuna. A multidisciplinaridade do assunto exige um contato estreito entre dentista e engenheiro. É outra oportunidade para atuação em P&D procurando inicialmente identificar os produtos utilizados nos reparos, implantes, e até na profilaxia (ex.: diatomita) tentando reproduzi-los em laboratório.

3.5 Tecnologia Ambiental

É notório o que as firmas mineradoras causam de impacto ambiental. A deposição de rejeitos, a lavra predatória, a captação de água e os efluentes são alguns dos problemas enfrentados nas minerações. Se observados mais de perto, pode-se perceber que a maior parte dos concentrados é produzida nas minerações localizadas junto às jazidas, freqüentemente em áreas não-urbanas (exceções são os portos de areia para fábricas de vidros e outros minerais industriais que não suportam os custos de transporte). O maior impacto é causado à população pelas indústrias que se localizam próximo às cidades. Para exemplificar, a SABESP (dados de jul/90) estima que cerca de 2.500.000t/a de lixo industrial são produzidos na Grande São Paulo, sendo 33% da indústria metalúrgica e 9% da indústria química. Destes, 187.000t/a são resíduos químicos de alta periculosidade, que exigem maior controle. Mesmo assim, cerca de 100t/dia de resíduos, contendo metais pesados, são dispostos em locais absolutamente inapropriados.

Se computarmos o lixo doméstico, rejeitos vegetais e animais, rejeitos minerais e industriais, existem no País cerca de 180 milhões de toneladas anuais de rejeitos recicláveis (Pinto, 1989).

Há um enorme campo de trabalho aplicado a partir de contatos com as indústrias metalúrgicas, primordialmente, e de mineração. Alguns potenciais materiais recicláveis de interesse da indústria são listados a seguir, sendo alguns deles já mencionados por Pinto (1989):

- escórias metalúrgicas, visando tanto a recuperação de metais (ex.: escórias de ferro-ligas, escórias da metalurgia da columbita-tantalita), quanto o uso das escórias como corretivos de solos e fertilizantes (existem estudos da UFMG, do Prof. Rubens Correia, da adição de fosfatos às escórias de aciaria);

- cinzas de combustão, seja de carvão mineral ou vegetal, como de óleos pesados, visando recuperar metais pesados como o vanádio (a Ultrafertil oferece 10t/a de resíduo, com 52,3% V_2O_5 e 5,3% NiO; O "minério" de vanádio brasileiro apresenta 0,75% V_2O_5);

- borra ácida de reciclagem de óleos combustíveis, gerada na hidrogenação com ácido sulfúrico e filtragem com terra *fuller*; a reciclagem de óleos automotivos no Brasil é bastante grande: só em São Paulo, uma firma visitada, Braslub, produz 900.000 t/mês, de óleo rerrefinado, gerando 300t/mês de borra ácida com média de 40% de ácido sulfúrico; a preocupação é tanta, quanto ao destino da borra ácida, que o Sindicato Nacional dos Rerrefinadores de Óleo oferece um prêmio para quem apresentar soluções;

- poeiras *fly ash* de aciarias, normalmente constituídas de mistura de hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4), em granulometria extremamente fina; pode-se estudar procedimentos de reciclagem desse "minério", ou emprego na fabricação de pigmentos à base de óxido de ferro;

- ácido fluossilícico, gerado no ataque do concentrado apatítico com ácido sulfúrico, para fabricação de superfosfato triplo; o potencial brasileiro de produção é de 20.000 t/a de

H_2SiF_6 mas só se recuperam 9.500 t/a, o restante vai para a atmosfera constituindo poluição; a recuperação do ácido fluossilícico pelas indústrias de fertilizantes é simples (lavador de gases); este ácido é importante matéria-prima para fabricação de fluoretos. Só a CNQB (Votorantim) produz 6.000t/a de Na_3AlF_6 supridos por importações a US\$1,200/t; existem pelo menos 40 tecnologias internacionais para transformação do ácido fluossilícico em fluoretos.

- metais preciosos a partir de refugos odontológicos; uma das grandes fontes de renda do *Salvation Army* americano são os metais preciosos que se recuperam de cuspideiras de consultórios odontológicos; no Brasil, o desenvolvimento de retenedores de metais pesados poderia ser o primeiro passo para evitar o descarte destes valiosos poluentes para o esgoto; a recuperação hidrometalúrgica reciclaria os metais (Pt, Au, Ag, Hg) de uso odontológico;

- A carnalita é um mineral ($10KCl.MgCl_2.6H_2O$) que é rejeitado no processo de mineração da silvinita (minério de potássio) de Sergipe; a reação da carnalita com rocha fosfática a $500^\circ C$ é capaz de gerar fosfato de magnésio e cloreto de potássio; também existe possibilidade de aproveitamento da carnalita em fornos elétricos com escórias.

Uma característica de extrema importância para atuação nessa área de reciclagem industrial é a agilidade nas negociações com as empresas, pois estas não querem comprar nada, nem tampouco mais um problema, pelo contrário, querem se livrar deles. Portanto, os profissionais devem ser sutis, ágeis na pesquisa e nos resultados, com apresentação de uma solução, e não propostas de estudos.

Outro ponto importante na pesquisa ambiental é a capacitação de medição de poluentes, onde os equipamentos móveis ganham maior relevância. Deve-se ter claro os objetivos da insti-

tuição: se o importante é dar soluções aos problemas de rejeitos, ou medir seus impactos ambientais. A clareza da ponderação destes dois pontos caracterizará a postura da instituição frente às indústrias e ao público. Evidentemente esses objetivos não podem ter o mesmo peso, pois, infelizmente, a imagem do monitoramento ambiental para as empresas está, no Brasil, muito ligada à legislação, inspeção, alarme, ou mesmo, corrupção, mas nunca ligada à reciclagem ou soluções práticas para os efluentes.

A fabricação de equipamentos antipoluentes ou mesmo de equipamentos analíticos pode constituir-se numa importante área de P&D.

4. OBSERVAÇÃO FINAL

A nova "revolução industrial" vem trazer novas posturas que, para os subdesenvolvidos, precisam ser muito bem decifradas, sob o risco de, mais uma vez, ficarmos perplexos diante das maravilhas tecnológicas do Primeiro Mundo, reproduzindo chavões. A exemplo das revoluções industriais anteriores, o homem continua sendo o sujeito das mudanças e objeto direto das suas conseqüências. A visão generalizada da abrangência dessas mudanças necessita de rápida análise, pois as inovações começaram ontem e avançam em ritmo avassalador.

É necessário assumir posturas institucionais diante desse quadro. O campo de estudos em materiais pode ser uma ótima interface de atuação, pois há bons reflexos nos produtos ordinários de fim de linha, com os quais o pesquisador mineral pouco se importou até hoje, embora deles seja um consumidor. A verticalização do trabalho dos profissionais, seja em estudos, seja em pesquisas laboratoriais, irá contribuir, em muito, para a formação de uma nova identidade das instituições que se dedicam a pesquisa e desenvolvimento nessa área.

O enfoque primordial numa visão integrada de ciência dos materiais/mineração analisa o material pelo seu uso final. A partir daí cria-se uma malha tecnológica que estudará os precursores e intermediários quanto aos aspectos de disponibilidade de matérias-primas e tecnologia. Este é o melhor caminho para despertar a criatividade do pesquisador e voltar sua atenção para os recursos (humanos e materiais) abundantes no País, desmistificando a alta tecnologia e a sofisticação (inclusive econômica) que nelas vêm embutidas. Aliás, esta mistificação é a própria essência do subdesenvolvimento.

5. BIBLIOGRAFIA

- 1- *Anuário da Indústria Química Brasileira*. São Paulo, 1988. 256p.
- 2- *Bolsa de Resíduos*. v.11, abr./jul., 1988. 37p.
- 3- Estatísticas. *Metalurgia*, v.46, n.388, p.217-21, 1990.
- 4- ALVARINHO, S.B.; VEIGA, M.M. Estudo de Mercado de Carbonato de Cálcio para Cargas. In: Paulo Abib Engenharia S.A. contr. 973-01; doc. 000-724-001, 20/01/1989, 91p.
- 5- ANDERSON, E.; LUX, B. Potential Applications of Composite Materials and Associated Technology in Developing Countries. (UNIDO/IS; 600). In: *Mineração e Alta Tecnologia*: CETEM, Rio de Janeiro, 1989.
- 6- BALAZIK, R.F.; KLEIN, B.W. The Impact of Advanced Materials on Conventional Nonfuel Mineral Markets: Selected Forecasts for 1990-2000. Washington: Bureau of Mines, 1987 (Inf. circ. 9150), 1987, 18p.
- 7- BORETOS, J.W. Advances in Bioceramics. *Adv. Cerm. Materials*, v.2, n.1, p.15-22, 1987.
- 8- CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Relatório Anual de Atividades: Grupo Setorial III - Ind. Químicas, Petroquímicas e Farmacêuticas, 1987, Brasília, abril, 1988. 343p.
- 9- GIANTS in ceramics/International. *Ceramic Industry*, p. 19-22, Dec. 1988.
- 10- Plastic continue strong. *Chemical Week*, p.42-9, Dec. 21/28, 1988.
- 11- GHOPPLET, M.; THIERRY, J.P. Biomedical Materials. *ATAS Bull.*, p.56-9, 1988.

- 12- CLARKE, G.; WATSON, I. Minerals for Plastics. Filling a Need. *Ind. Minerals*, p.21-49, Mar. 1980.
- 13- PLÁSTICOS de Engenharia no Brasil, multicliente. 2 ed. São Paulo: DATAMARK, 1988. 2v.
- 14- BALANÇO de cada setor. *Exame*, maio 1989, 162p.
- 15- BALANÇO de cada setor. *Exame*, julho 1990, 106p.
- 16- FLEMINGS, M.C. Structural Materials: Metals, Ceramics, Polymer and Composites. *ATAS Bull.*, p.31-42, 1988.
- 17- FLEMINGS, M.C. Functional Materials: Electronics, Information and Sensor. *ATAS Bull.*, p.43-8, 1988.
- 18- FOSTER, R.J. Potentially Critical Materials. Washington: U.S. Bureau of Mines, 1988. 65p. (Open File Report 28-88).
- 19- GONZALEZ - VIGIL, F. New Technologies, Industrial Restructuring and Changing Patterns of Metal Consumption. *Raw Materials Report*, v.3, n.3, p.11-31, 1984.
- 20- HARRIS, T.S. Export Opportunities for Brazilian Filler Minerals in the United States. In: II Simpósio de Cargas Mineraias, 2., Ponta Grossa, 1988. *Anais*. p.131-44.
- 21- HATTORI, T.; IWADATE, Y; KATO, T. Hydrothermal Synthesis of Hydroxiapatite from Calcium Acetate and Triethyl Phosphate. *Adv. Ceram. Materials*, v.3, n.4, p.426-8, 1988.
- 22- HENCH, J.W. The Development and Business Potential for Bioceramics. In: Encontro Estadual sobre Novos Materiais, 2., Rio de Janeiro, 2-4 ago, 1989. p. 84a-84i.
- 23- HENCH, L.L. Ceramics for Osseo - Integrated Implants. *Adv. Ceram. Materials*, v.1, n.4, p.306-24, 1986.
- 24- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Oportunidades Tecnológicas e Industriais para Mineraias Estratégicos. Estudo de Casos: Silício, Quartzo e Terras-Raras; relatório para FINEP. São Paulo, 1988. 3v. (AETEC 27189/89).
- 25- JETRO New Products Resulting from Advances in Materials Technologies. *ATAS Bull.*, p.80-93, 1988.
- 26- AUTOMOTIVE Plastic Use Increases, *Journal of Metals*, p.62, mar. 1986.
- 27- KOUZNETSOV, A. Materials Technology and Trade Implications. *ATAS Bull.*, p.67-71, 1988.
- 28- KURSTEN, M.; BLUMEL, G.; LAHNER, L.; SCHMIDT, H. Raw Materials Resources. *ATAS Bull.*, p.24-30, 1988.
- 29- MACHADO, I.F. Recursos Mineraias: Política e Sociedade. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 1989. 410p.
- 30- MONTEIRO, S.N. Caracterização, Perspectivas e Oportunidades para Novos Metais e Ligas Especiais. In: Tendências e Perspectivas na Área dos Novos Materiais. Sem. ABM. São Paulo, Jul. 1987, p. 115-202.
- 31- MORGAN, J.D. U.S. and the world mineral positions, 1985 to the year 2000. *Min. Eng.*, v.38, n.4, 1986.
- 32- MOSELEY, J.D.; NOWAK, R.M. Engineering thermoplastics: Materials for the future. *Chem. Eng. Progress*, June 1986, p.49-54, Jun. 1986.
- 33- PASCHOAL, J.O.A.; VEIGA, M.M.; AFONSO, A. Insumos para Cerâmica Avançada. Encontro Nacional Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia. *Anais*. v.2 p. 1150-66. Salvador 9-12 set. 1990.
- 34- Carbonato de Cálcio como Insumo da Indústria de Papel - Situação Atual e Perspectivas. contr. 840-01; doc. 000-202-001, 31/8/1987. São Paulo: Paulo Abib, 1987. 45p.
- 35- Prospecção de Oportunidades nos Setores de Cerâmicas Avançadas e Novos Materiais Metálicos. contr. 992-01 (ABIPTI); doc. 000-141-001, 15/6/1989. São Paulo: Paulo Abib, 1989. 148p.
- 36- Recuperação de Vanádio de Catalisadores. Rel. final. contr. 024-01; doc. 000-141-002, 25/11/1988, São Paulo: Paulo Abib, 1988. 28p.

- 37- PINTO, M.A.S. Rejeitos nas Indústrias. *Metalurgia*. v.45. n.374, p.61-9, 1989.
- 38- POWER, T. Wollastonite - Performance Filler Potential. *Ind. Minerals*, p.19-34, Jan. 1986.
- 39- QUEIROZ, S.R.R.; MITLAG. H. A Emergência dos Novos Materiais: Seu Significado e Impacto Econômico no Brasil. *Interciência*, v.14, n.2, p.59-67, 1989.
- 40- Resinas - A Saída para o Mundo. *Química e derivados*, p.58-64; set. 1988.
- 41- ROSSI, R.A. O Desempenho de Espécies Mineraias em Promover Características de Reforço para Termoplásticos. In: Simpósio de Cargas Mineraias. 2., Ponta Grossa, 1988. *Anais*. p.161-86.
- 42- ROZE, J.A. Comparison of Natural and Synthetic Materials. *ATAS Bull*, p.76-79, 1988.
- 43- RUSSEL, A. Minerals in pharmaceuticals. *Ind. Minerals*. p.32-43, Aug. 1988.
- 44- UNIDO. Discussion Meeting on Advanced Materials for Developing Countries. Vienna, Dec. 7-10, 1987. In: *Mineração e Alta Tecnologia*. CETEM, Rio de Janeiro, 1988.
- 45- VEIGA, M.M.; ASSAZ. Matérias-Primas para Metais e Ligas Especiais. In: *Tendências e Perspectivas na Área dos Novos Materiais*. Sem. ABM. São Paulo, jul. 1987, p.97-114.
- 46- VEIGA, M.M.; SOARES, P.S.M.; SILVA, A.P.; ALVARENHINO, S.B. Estudo do Mercado Brasileiro de Cerâmicas Avançadas. *Cerâmica*. v.35, n.239, p.6A-20A, 1989.
- 47- WILSON, W.G.; HEASLIP, L.J.; SOMMERVILLE, I.D. Rare Earth Additions in Continuously Cast Steel. *J. Metals*, p.36-41, Sept. 1986.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

- 01- Quem é Quem No Subsolo Brasileiro (Francisco Rego Chaves Fernandes)
- 02- A Política Mineral na Constituição de 1967 (Ariadne da Silva Rocha Nodari)
- 03- Mineração no Nordeste - Depoimentos e experiências (Manuel Correia de Andrade)
- 04- Política Mineral do Brasil - Dois ensaios críticos (Osny Duarte Pereira, Paulo César de Sá e Isabel Marques.)
- 05- A Questão Mineral da Amazônia - Seis ensaios críticos (Francisco Rego Chaves Fernandes, Roberto Gama e Silva, Ana Maria Botelho da Cunha, Saulo Rodrigues Pereira Filho e Maria Júlia Rocha Marques; Wanderlino Teixeira de Carvalho e Manuela Carneiro; Breno Augusto dos Santos; Armando Alvares Cordeiro e Arthur Luiz Bernardelli; Paulo César de Sá e Isabel Marques.)
- 06- Setor Mineral e Dívida Externa (Maria Clara Couto Soares)
- 07- Constituinte: A nova política mineral (Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira.)
- 08- A Questão Mineral na Constituição de 1988 (Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas Bôas.)
- 09- Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais (Paulo Sá)
- 10- Política Científica e Tecnológica: no Japão, Coréia do Sul e Israel. (Abraham Benzaquen Sicsú)
- 11- Legislação Mineral em Debate (Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque)
- 12- Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração (Ana Maria B. M. da Cunha)
- 13- Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil (Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel)

