

ELEMENTOS ESTRATÉGICOS E GEOPOLÍTICOS DA EVOLUÇÃO RECENTE DOS MATERIAIS

Sarita Albagli

SED 30

NCT

CNPq

CETEM

CE
Ex. 2

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Fernando Henrique Cardoso
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: José Israel Vargas

PRESIDENTE DO CNPq: José Galizia Tundisi
DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO: Marisa B. Cassim
DIRETOR DE PROGRAMAS: Eduardo Moreira da Costa
DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA: José Ubyrajara Alves
DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO: Derblay Galvão

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Juliano Peres Barbosa

Membros Internos: Fernando Freitas Lins; Luiz Gonzaga S. Sobral; Vicente Paulo de Souza e João Alves Sampaio (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Antônio Eduardo Clark Peres; Celso Pinto Ferraz e Achilles Junqueira

DIRETOR: Roberto C. Villas Bôas

DIRETOR ADJUNTO: Juliano Peres Barbosa

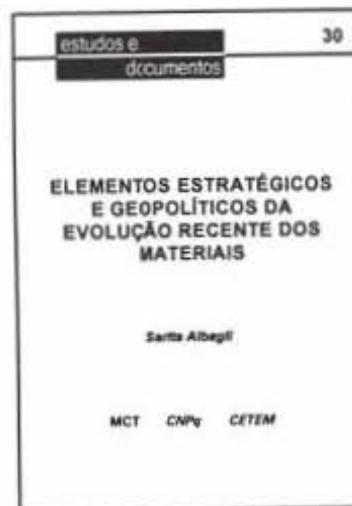
DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM): Fernando Freitas Lins

DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME): Ronaldo Luiz C. dos Santos

DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI): Luiz Gonzaga S. Sobral

DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES): Carlos César Peiter

DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD): Antônio Gonçalves Dias



ISSN - 0103-6319

Sarita Albagli

Socióloga; M.Sc. em Engenharia da Produção (Área de Política de Ciência e Tecnologia). Doutoranda em Geografia. Pesquisadora do CNPq/IBICT e Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação (Convênio CNPq/IBICT-UFRJ/ECO).

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

Auto: 006238

1996

CT-006756-8

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

CONSELHO EDITORIAL

Editor

Ronaldo Luiz C. dos Santos

Conselheiros Internos

Maria Laura T. M.G. C. Barreto, Carlos César Peiter, Francisco E. de Vries Lapido
Loureiro, Francisco R. C. Fernandes.

Conselheiros Externos

Luis Henrique Sanchez (USP), J. R. Andrade Ramos (UFRJ), Eduardo C. Damasceno
(USP), Saul Barisnik Suslick (UNICAMP), Abraham Benzaquem Sicsu (Fundação
Joaquim Nabuco), Helena Maria Lastres (IBICT), Hildebrando Hermann (UNICAMP),
Rupen Adamian (COPPE/UFRJ)

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

Celso de O. Santos COORDENAÇÃO EDITORIAL

Vera Lúcia Ribeiro e Regina Maria de O. Martins EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Jacinto Frangella ILUSTRAÇÃO

Albagli, Sarita.

Elementos estratégicos e geopolíticos da evolução recente dos materiais/Sarita Albagli - Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996.

53p.: il. - (Série Estudos e Documentos, 30)

1. Novos materiais. 2. Geopolítica. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série

ISBN 85-7227-077-9

ISSN 0103-6319

CDD 620.112

APRESENTAÇÃO

A presente monografia, de autoria da Tecnologista Sarita Albagli, leva o leitor à reflexão sobre alguns tópicos relacionados à geopolítica dos materiais.

Elaborado como ponto de partida para um maior aprofundamento sobre as questões relacionadas à compreensão do papel desempenhado pelos materiais no mundo moderno, apresenta fatos e argumentos de interesse a todos aqueles, que se dedicam ao estudo e à pesquisa desta área de alto significado econômico e estratégico.

Creio que, mesmo defasado no tempo, mas não muito, tal como advertido pela autora, este trabalho é elemento importante para o conhecimento do elo pesquisa-produção de materiais.

Rio de Janeiro, abril de 1996.

Roberto C. Villas Bôas
Diretor

CETEM
BIBLIOTECA

Reg. N.º 2385 Data 25/03/96

CETEM

11 B - 7063

COL. DE VOL VOL N.º

DATA 25/06/96

REG. N.º

BMB

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OS MATERIAIS E A GEOPOLÍTICA	6
2.1 O Caráter Estratégico dos Materiais	6
2.2 O Setor Mineral no Contexto Geopolítico do Pós-Guerra	9
3. OS NOVOS MATERIAIS	14
4. A SITUAÇÃO DO BRASIL	24
4.1 O Setor Mineral em Questão	24
4.2 A Estratégia Brasileira para os Materiais Avançados: breve retrospectiva	25
4.3 Capacitação Nacional em Materiais Avançados	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
BIBLIOGRAFIA	47

1. INTRODUÇÃO¹

O desenvolvimento tecnológico recente dos materiais apresenta importantes implicações de natureza político-estratégica, diante dos seus impactos sobre os padrões tecno-produtivos, das economias, sobre os estilos de vida e de consumo das sociedades, sobre as relações do Homem com o seu meio ambiente e sobre os termos que regem as relações internacionais.

Neste trabalho analisam-se as implicações de ordem geopolítica, em especial no que concerne às relações entre países centrais e países periféricos, geradas a partir do desenvolvimento dos chamados "novos materiais", considerando o papel até então desempenhado pelas matérias-primas minerais. Mais particularmente, discute-se de que maneira esse processo se expressa no Brasil, e que estratégias deve o país adotar nesse contexto emergente.

Tal análise é realizada a partir do reconhecimento da existência e inter-relação de três processos, que constituem assim os elementos de contorno do trabalho e que são brevemente situados a seguir:

1. O reordenamento do panorama geopolítico mundial. No plano econômico, uma crise mundial gestada na década de 60 tem início nos anos 70, sinalizada pela crise do petróleo, a desvalorização do dólar, o crescimento das faixas de pobreza e

¹ Este trabalho foi originalmente elaborado em 1992, no âmbito da primeira etapa do projeto de pesquisa "Materiais Avançados e Desenvolvimento Sustentável: Estratégias para o Brasil", desenvolvido pelo CETEM com o apoio do International Development Research Center (IDRC) do governo do Canadá. Algumas mudanças nos cenários político-econômico e tecnológico ocorreram desde então que não puderam ser analisadas com maior profundidade no trabalho, sendo apenas brevemente indicadas nesta publicação.

do desemprego, a elevação das taxas inflacionárias e das dívidas externas dos chamados países de "Terceiro Mundo". No plano político, as mudanças no quadro mundial tornam-se mais visíveis a partir do desmantelamento do bloco soviético em fins da década de 80, e da relativa deterioração econômica e perda de prestígio político dos Estados Unidos. A era da bipolaridade dá lugar à emergência de novos centros de poder, constituindo-se novos blocos regionais organizados em mercados integrados. O cenário mundial é também marcado pela crescente internacionalização das economias, com o aumento da presença e da influência das corporações transnacionais. Nesse movimento de globalização, questiona-se cada vez mais o poder dos Estados-Nações, especialmente perante o fortalecimento das teses neo-liberais - que não excluem o protecionismo considerado válido e defensável quando do interesse dos países e conglomerados hegemônicos - e perante a expansão dos movimentos separatistas, a partir de motivações étnicas e religiosas.

2. A alteração da base técnico-científica e dos padrões econômico-produtivos da base material. A transformação da base técnico-científica mundial ocorre a partir dos países centrais, como resposta à situação de crise geral, manifestada nos anos 70. A chamada revolução tecnológica, caracterizada pelo advento das "novas tecnologias", particularmente a microeletrônica, a biotecnologia, os novos materiais e as novas fontes energéticas, apresenta amplas repercussões de caráter sócio-econômico (alterações nos estilos de vida e padrões de consumo; na ética e na cultura; no processo produtivo e na organização do trabalho; nos termos de intercâmbio internacional); geopolítico (alterações no equilíbrio de forças entre as nações); e ambiental (alterações nos padrões de consumo de energia e de recursos naturais). Tal transformação exige elevados investimentos em pesquisa, em infra-estrutura e na formação de recursos humanos altamente qualificados, fazendo com que os países menos desenvolvidos tecnologicamente tendam a perder, ou a ver redefinidas, o que antes eram consideradas suas vantagens comparativas, tais

como, recursos naturais abundantes e mão-de-obra barata. Ao mesmo tempo, o acesso aos novos conhecimentos científicos e tecnológicos torna-se mais restrito, em razão da importância estratégica que eles assumem em termos econômicos e políticos.

3. A valorização, nas estratégias de desenvolvimento, de novas relações homem-natureza, a partir da agudização da problemática ambiental. A expansão econômica do pós-guerra levou a uma excessiva pressão sobre os recursos naturais mundiais. De início, a incorporação do progresso técnico às atividades produtivas não se fez acompanhar de preocupações e precauções quanto aos desequilíbrios e impactos gerados nos sistemas naturais e sociais. Daí ter o agravamento e a globalização da problemática ambiental passado a ser um dos elementos centrais do quadro de crise geral. O movimento de conscientização mundial a respeito dessa questão inicia-se nos anos 60, intensificando-se a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Estocolmo (1972) e culminando com a Conferência do Rio (1992). A partir do Relatório "Nosso Futuro Comum" ou "Relatório Brundtland" (1987), ganha projeção a tese do desenvolvimento sustentável, colocando a necessidade de uma alteração na qualidade do desenvolvimento mundial, a fim de torná-lo menos intensivo em matéria-prima e socialmente mais equitativo em seu impacto. Isto pressuporia uma "nova ordem internacional", em que a transferência de tecnologias ambientalmente adequadas aos países de menor desenvolvimento tecnológico constituiria um pré-requisito para a realização desse modelo de desenvolvimento em escala global.

É no contexto desse conjunto de transformações no cenário mundial que a seguir se discutem as recentes mudanças no setor minero-metalúrgico e de materiais.

2. OS MATERIAIS E A GEOPOLÍTICA

2.1 O Caráter Estratégico dos Materiais

Entende-se como *materiais* "aquelas substâncias com propriedades físico-químicas determinadas que as fazem úteis como componentes de estruturas, maquinaria, dispositivos ou ferramentas, quer dizer, o subconjunto de matéria que o homem utiliza na fabricação de diversos produtos" (Castells et alii, 1986).

A importância dos materiais, ao longo da História, é atestada pelo fato de terem eles inspirado a denominação das épocas em que foram mais intensamente utilizados, tais como: Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro. Nas sociedades industriais, os minerais constituíram a matéria-prima dominante.

O caráter estratégico dos materiais tem sido determinado, por um lado, pela natureza crítica de seu uso, isto é, pela sua importância para a defesa e a economia nacional. E, por outro lado, pela vulnerabilidade em seu suprimento, particularmente pelo fato desse suprimento ser controlado por países politicamente instáveis ou hostis².

Como fatores que podem afetar a segurança no suprimento de matérias-primas minerais, enumeram-se: o esgotamento dos recursos mundiais; o aumento da demanda desses recursos; a

² De acordo com o Escritório de Avaliação Tecnológica do Congresso Norte-Americano, "um material estratégico é aquele para o qual a quantidade requerida para usos civis e militares essenciais excede de modo razoavelmente seguro os suprimentos domésticos e externos, e para o qual substitutos aceitáveis não estão disponíveis dentro de um período razoável de tempo" (U.S. Congress/OTA, 1985).

organização de cartéis de países produtores; o estabelecimento de embargos políticos e a eclosão de distúrbios políticos internos em países produtores.

Atualmente, grande parte da opinião especializada não mais considera o **esgotamento dos recursos minerais** uma ameaça, pelo menos nos próximos 30 a 50 anos. Isto se deve às possibilidades abertas pelo desenvolvimento tecnológico, que ampliou consideravelmente as reservas minerais conhecidas ou potenciais. No entanto, persiste a dúvida quanto à eficácia da solução tecnológica para o problema da escassez de recursos não-renováveis³. Existe uma **barreira geoquímica** para quase todos os metais que, para ser superada, exigiria de 100 a 1000 vezes mais energia para a sua extração do subsolo, com exceção talvez de 12 elementos considerados geologicamente abundantes, dentre os quais o alumínio, o ferro, o magnésio, o titânio e o manganês, que representam cerca de 99% da massa da crosta terrestre.

Há quem considere, por outro lado, que estaria para se iniciar uma nova **Era da Substitutibilidade**, baseada na utilização do vidro, do plástico, da madeira, do cimento e de **minerais não exauríveis**, como ferro, alumínio e magnésio. A energia, nesse caso, seria a matéria-prima crítica, exigindo que se desenvolvesse uma fonte energética não exaurível e não poluente.

A escassez motivada pela **elevação da demanda** tem-se revelado temporária, causada por fatores conjunturais, embora a instabilidade que vem caracterizando o setor mineral tenha-se agravado nos últimos tempos.

³ "Por quanto tempo a tecnologia pode estender a vida dos recursos da Terra é, obviamente, uma séria questão. Apenas porque ela o fez tão satisfatoriamente no passado, não é garantia que o fará no futuro, especialmente quando a população mundial está crescendo a um ritmo acelerado e demandas crescentes por recursos devem continuar" (U.S. Congress/OTA, op. cit.).

As tentativas de organização de cartéis de países produtores não têm sido bem sucedidas, devido à dificuldade desses países em se agruparem em torno de objetivos comuns, bem como devido à existência de estoques e de materiais substitutos nos países consumidores.

Os chamados **riscos políticos**, que poderiam ocasionar a interrupção na provisão de certas matérias-primas minerais (problemas políticos internos de países produtores; embargo deliberado sobre as exportações, por motivos políticos), tornam-se tanto mais elevados nos casos em que a produção e, sobretudo, as exportações desses minerais estejam concentradas em um número limitado de países; ou em que esses países sejam politicamente instáveis ou sua atitude em relação a tal ou qual país consumidor seja ou possa tornar-se hostil.

Nesses casos encontram-se particularmente os minerais dos quais os países da África Central e Austral são os principais exportadores (platina, ouro, manganês, vanádio, cromo, amianto, diamante, cobalto). Assim sendo, no que se refere a problemas políticos internos nos países produtores, eles deverão afetar particularmente a produção e a exportação de minerais dos países africanos. Por outro lado, alguns observadores acreditam que as estratégias de restrição à importação (utilizada, por exemplo, pelos Estados Unidos) ou à exportação de minerais vêm cedendo aos esforços, particularmente no caso dos países africanos, de se estabelecerem relações comerciais as mais amplas possíveis. Nos Estados Unidos, por sua vez, têm preponderado as orientações de busca de fontes seguras e baratas para esse suprimento, rejeitando-se, na maior parte, políticas de auto-suficiência.

As reações à interrupção do suprimento de materiais, desde a Segunda Guerra Mundial, foram variadas: entrada de novos produtores no mercado, diversificação das fontes de suprimento, substituição e reciclagem de materiais, a partir de

pesquisa e desenvolvimento prévios. Faz-se a seguir um breve retrospecto do comportamento do setor mineral em face das transformações geopolíticas no pós-Guerra.

2.2 O Setor Mineral no Contexto Geopolítico do Pós-Guerra

Até os anos 50, a exploração mineral era controlada por capitais privados dos países centrais, particularmente os de origem norte-americana e européia. Do mesmo modo, esses capitais realizavam a maior parte dos empreendimentos minerais nos países periféricos, atuando sob condições legais e fiscais que lhes eram geralmente favoráveis.

As tensões geopolíticas que marcaram o cenário mundial, nos últimos quarenta anos, alteraram substancialmente a dinâmica do setor mineral particularmente (Giraud, 1983):

1. As **relações Norte-Sul**, diante da emergência de estratégias autônomas dos países do chamado Terceiro Mundo, em grande parte produtores minerais. Esses países passaram a afirmar o direito à soberania sobre seus recursos naturais, a partir da maior consciência sobre a esgotabilidade desses recursos e sobre a importância de controlar sua exploração em prol do desenvolvimento endógeno.

Isso levou, inicialmente, a uma onda de nacionalizações de empresas estrangeiras e à maior participação do Estado no setor mineral. A partir de então, o investimento estrangeiro passou a sofrer maior controle e restrição por parte da legislação desses países, bem como das resoluções aprovadas em foros internacionais. Mais particularmente, as Nações Unidas aprovaram, desde a década de 60, uma série de resoluções a respeito da soberania dos Estados sobre seus recursos naturais.

2. As relações Norte-Norte, diante do acirramento da concorrência econômica entre os países centrais e da importância dos recursos naturais e de suas indústrias de transformação nesse quadro de concorrência. Isto levou a uma maior intervenção do Estado, também nesses países, sobre os segmentos de exploração e transformação mineral, bem como sobre as condições de provisão dessas matérias-primas do exterior.

3. As relações Leste-Oeste, com a disputa dos dois blocos de países pela hegemonia das regiões provedoras de metais estratégicos. As recentes transformações do Leste Europeu e o fim da Guerra Fria incentivaram o redirecionamento de boa parte dos estoques estratégicos de minerais para aplicações não-militares, bem como motivaram os países daquela região a buscarem uma inserção mais competitiva no mercado internacional de *commodities*. Isto leva à ampliação da oferta de bens minerais no mercado internacional e, conseqüentemente, à compressão de seus preços, com impactos sobre os demais países exportadores.

Um outro aspecto importante foi a maior participação do setor bancário nos empreendimentos minerais, a partir dos anos 60, fazendo com que o setor mineral perdesse boa parte da capacidade de autofinanciamento que mantivera até os anos 50. A lógica do capital financeiro passou a ditar, em grande medida, os critérios de seleção dos investimentos na área mineral, beneficiando os países cujas balanças de pagamento eram mais estáveis, bem como as empresas de maior porte e mais solidamente estabelecidas.

Essa maior participação do capital financeiro pode ser explicada pelos seguintes fatores (Giraud, 1983): (a) a evasão de capitais para fora do setor mineral, em razão do reinvestimento de parte de suas rendas em outros setores; (b) a maior intensidade capitalista da indústria e o aumento da dimensão dos projetos minero-metalúrgicos; (c) as novas exigências impostas pelos governos, principalmente nos países

do Terceiro Mundo, às empresas internacionais, e (d) o aumento dos riscos políticos ao investimento estrangeiro. Por outro lado a incerteza gerada pela crise econômica, a partir da década de 70, resultou em uma certa retração dos investimentos no setor mineral, revelando também os limites do financiamento pelo setor bancário e reforçando o papel do Estado no setor.

O crescimento da intervenção do Estado no setor minero-metalúrgico a partir dos anos 50, tanto nos países centrais quanto nos países periféricos, seja diretamente através de empresas públicas de exploração e de transformação mineral, seja indiretamente através de mecanismos de proteção e incentivo, foi motivada principalmente por razões de natureza estratégica, quais sejam: a preocupação dos países consumidores em garantir a provisão de minerais considerados críticos; e a aspiração dos países produtores por exercer maior controle sobre seus recursos minerais e por capacitarem-se para agregar maior valor a esses recursos. Ainda que a dependência dos países mais industrializados em relação à provisão de matérias-primas não se tenha elevado quantitativamente, desde o pós-guerra passou a haver uma preocupação crescente por parte desses governos em implementar políticas que garantissem a segurança e a qualidade dessa provisão⁴.

Desse modo, nas quatro últimas décadas, vários estudos e leis foram elaborados, nos países centrais, visando solucionar o problema de um suprimento confiável de materiais. Em alguns países, como por exemplo os Estados Unidos, predominou durante algum tempo uma política orientada para o

⁴Dados relativos ao período de 1975/80 (Giraud, 1983) indicam que a dependência desses países era relativamente moderada em relação à importação de ferro, cobre, alumínio, chumbo e zinco. Ela era mais acentuada em relação ao estanho, ao níquel, ao tungstênio, ao vanádio, ao zircônio e ao titânio, sendo praticamente total em relação ao cromo, ao cobalto, à platina, ao manganês e ao tântalo, alguns dos quais de grande importância para os setores tecnologicamente de ponta.

enfrentamento de situações de guerra, qual seja, o estabelecimento de estoques de defesa. Essa estratégia, no entanto, além de não solucionar a questão da vulnerabilidade econômica, perdeu boa parte do significado com o fim da Guerra Fria.

Mais recentemente, duas estratégias passaram a ser privilegiadas, visando reduzir a vulnerabilidade a importações de materiais em cenários de paz: o estabelecimento de estoques com objetivos econômicos e o desenvolvimento tecnológico.

O **estabelecimento de estoques** de materiais estratégicos, se é eficaz para os objetivos de defesa, não protege adequadamente a economia, além de causar distúrbios no mercado. A **solução tecnológica** é a que vem merecendo maior ênfase, sendo particularmente dirigida para três áreas: produção/processamento mineral, conservação e substituição. A longo prazo, visa-se buscar soluções técnicas alternativas objetivando:

- a maior disponibilidade de fontes seguras de suprimento de materiais, através do incremento da produção mineral doméstica e externa; da diversificação das fontes de produção estrangeira, e do aprimoramento do processamento industrial mineral;
- o uso mais eficiente e a reciclagem dos materiais considerados críticos, e
- o desenvolvimento e a difusão de materiais substitutos, visando o uso de materiais com conteúdo reduzido de minerais estratégicos ou a sua substituição por **novos materiais**.

Atualmente, grande ênfase tem sido dada à pesquisa, na maior parte com apoio governamental, voltada para o desenvolvimento de materiais substitutos aos materiais

estratégicos, particularmente os **novos materiais**. A opção tecnológica requer um longo período de apoio à pesquisa básica em ciência e engenharia de materiais por parte do Governo, da comunidade técnico-científica e da indústria.

3. OS NOVOS MATERIAIS

Consideram-se hoje "novos" materiais: as novas ligas metálicas, as cerâmicas de engenharia, os polímeros de engenharia e os novos materiais compósitos. No entanto, a oposição entre materiais "novos" e "tradicionais" é, em certa medida, artificial. A chamada "revolução dos materiais" não consiste apenas da substituição de materiais hoje considerados tradicionais (como, por exemplo, o aço, o vidro e a madeira) por materiais "novos",⁵ mas sim de transformações que afetam o conjunto dos materiais. Não há propriamente materiais antigos, mas sim técnicas, processos e equipamentos ultrapassados. Novas seriam determinadas associações entre materiais, processos e produtos. Por esse motivo, o termo "novos materiais" vem sendo substituído por "materiais avançados". Essas transformações vêm sendo viabilizadas pelo avanço científico orientado para o domínio macroscópico da matéria, isto é, da possibilidade de rearranjo da estrutura interna dos materiais, possibilitando orientar as inovações a partir de especificações de desempenho desejadas em cada aplicação.

A Ciência e Engenharia dos Materiais estabeleceram-se enquanto disciplinas específicas do conhecimento no início dos anos 70. A partir dos anos 80, elas afirmaram-se como um campo próprio das políticas educacionais e de formação de recursos humanos.

⁵ Alguns (FAST, 1987) preferem ainda o termo *new improved materials*, pois ele "sublinha bem que todo material pode ser considerado como novo e que o problema fundamental é saber como uma cultura técnica ou industrial nova pode se integrar numa cultura antiga, e quais serão as continuidades, as discontinuidades e os bloqueios na passagem de um sistema técnico para outro". Outros (LASTRES, 1988) referem-se a "materiais para um novo ciclo tecnológico", tendo em vista a importância dos novos materiais na transformação da base técnico-científica mundial.

De modo esquemático, diz-se que a Ciência dos Materiais é "a ciência da matéria e materiais sem referência aos aspectos de fabricação", enquanto que a Engenharia dos Materiais "diz respeito ao uso correto de um material em relação ao design, fabricação e manufatura" (BARBERÁ, 1986). Esse é um campo essencialmente multidisciplinar, envolvendo sobretudo conhecimentos de física, química e engenharia, e enfocando não tanto a natureza dos materiais, mas sim suas características e funções (Figura 1). Seu caráter multidisciplinar, ao mesmo tempo em que faz deste um campo novo do conhecimento, também dificulta a sua consolidação em termos institucionais.



Fonte: Abbaschiquian et Holloway, MRS Bulletin nº 12, 1987, cit. por OCDE (1990).

Figura 1 - A pirâmide do complexo material

Ainda hoje, grande parte dos profissionais que atuam no setor de materiais provém de outras áreas, tendo ingressado nesse setor apenas posteriormente. Em muitos países, a origem dos departamentos de materiais deu-se a partir dos departamentos de metalurgia, que buscavam assim modernizar suas atividades de pesquisa e ingressar em um setor considerado emergente. Também as associações profissionais e federações nacionais, vinculadas ao setor minero-metalúrgico, vêm tendendo a expandir sua atuação nessa direção.

Os materiais avançados caracterizam-se por serem intensivos em tecnologia e poupadores de insumos energéticos e naturais - especialmente os de origem mineral - em sua produção e em suas aplicações. Além disso, uma série desses materiais pode ser produzida utilizando-se várias matérias-primas alternativas.

O desenvolvimento desses materiais passa a constituir uma prioridade, não apenas pela possibilidade deles servirem de substitutos a materiais críticos, mas também por permitirem, freqüentemente, obter desempenho superior ou mesmo viabilizar novas propriedades em suas aplicações. Esses materiais passam assim a ser estratégicos em aplicações ligadas à defesa⁶ e, cada vez mais, como vetor de competitividade econômica.

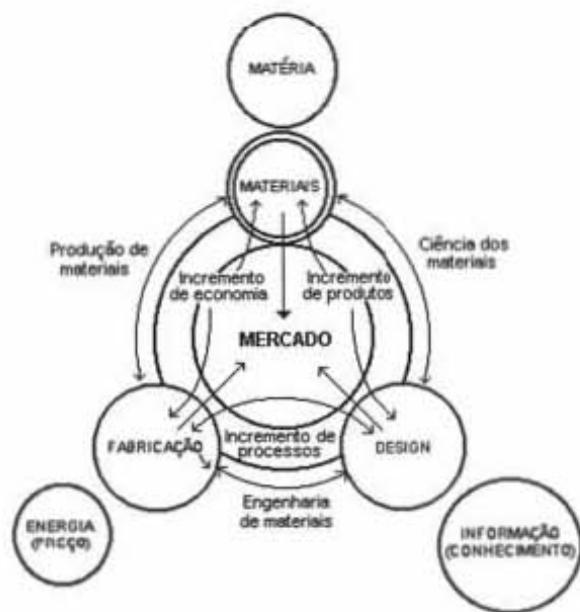
Os materiais de ponta podem incrementar a competitividade de três maneiras: aperfeiçoando o desempenho dos produtos que os incorporam; induzindo ao investimento em equipamentos e processos mais modernos e viabilizando a propagação de novas tecnologias em diferentes setores industriais (Bureau of Mines, 1990).

Por outro lado, a idéia de que esses materiais estejam sendo desenvolvidos, principalmente, como substitutos para materiais mais tradicionais, cujo suprimento esteja dificultado, é por alguns questionada. De acordo com o Bureau of Mines (op.cit.) norte-americano: "*novos materiais oferecem uma opção a mais de suprimento, mas suas fontes deveriam ser avaliadas cuidadosamente para evitar situações nas quais seus usos como substitutos apenas trocam uma importação crítica por outra*".

⁶ Nos Estados Unidos, por exemplo, o Departamento de Defesa (DOD) tem liderado os investimentos em P&D em novos materiais.

A viabilidade da substituição é determinada por fatores de ordem técnica, econômica e institucional, além da aceitação pelos *designers* e pelos usuários finais. Os **fatores técnicos** estão relacionados às barreiras tecnológicas para a utilização em larga escala ou à produção industrial dos materiais substitutos desenvolvidos em laboratórios.

Quanto aos **fatores econômicos**, o potencial técnico (desempenho) para a substituição de um material é geralmente muito maior que sua viabilidade econômica, pois, ainda que o custo da matéria-prima não conte muito no preço final (corresponde a entre 1 e 5% desse custo final), ele é decisivo se for o único fator alterado. Por outro lado, a adoção de um novo material geralmente implica em outros gastos decorrentes das mudanças operacionais, particularmente a necessidade de modificação dos equipamentos de fabricação a custos elevados. A Figura 2 apresenta esquematicamente a interação entre esses fatores.

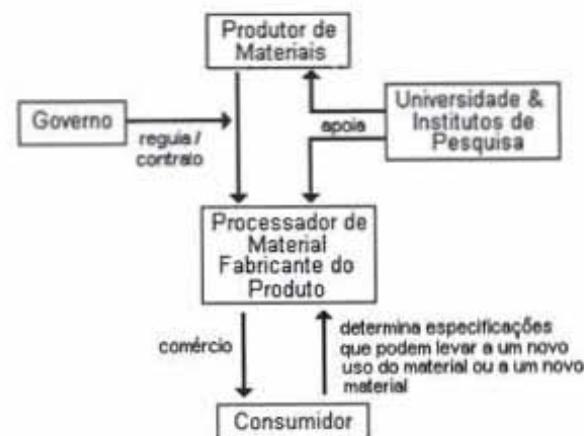


Fonte: Van Griethuysen, A. I. (1987)

Figura 2 - Interrelações entre fatores da produção de materiais

Os fatores institucionais envolvem (Figura 3):

- a priorização dada pelo Governo aos projetos de P&D nessa área;
- a decisão da indústria pela substituição (que é determinada por critérios econômicos e não político-estratégicos), sendo que as inovações tendem a ocorrer com maior frequência a partir das demandas dos usuários finais;
- o engajamento das organizações técnicas e profissionais no desenvolvimento de testes e padrões.



Fonte: Van Griethuysen (1987)

Figura 3 - Fatores de influência na escolha de materiais

Os materiais avançados tornaram-se objeto de políticas governamentais específicas nos anos 80. Nos anos 60, esses materiais não eram reconhecidos enquanto campo estratégico próprio; eles apareciam associados, principalmente, à química, à petroquímica e à metalurgia, ou inseridos nos programas nucleares e aeroespaciais. A ênfase nos materiais avançados coincidiu com a ênfase que as altas tecnologias vêm assumindo como fatores de competitividade econômica.

No Japão, que desde 1987 conta com um programa de pesquisa e desenvolvimento em ciência e tecnologia de materiais, os principais organismos que promovem a pesquisa em materiais avançados são: a Agência para a Ciência e Tecnologia (AST), o Ministério da Educação, Ciência e Cultura (MONBUSHO) e o Ministério do Comércio Internacional e da Indústria (MITI).

Nos Estados Unidos, a atuação do setor público no campo dos materiais avançados tem se caracterizado pela pluralidade e descentralização. A política norte-americana nesse campo vem sendo o resultado do conjunto de diretrizes adotadas pelos diferentes organismos que nele atuam, dentre os quais:

a) Órgãos consultivos, como:

- o Escritório de Política de Ciência e Tecnologia (*Office of Science and Technology Policy, OSTP*) e o Escritório de Avaliação Tecnológica (*Office of Technology Assessment, OTA*), criados nos anos 70 para assessorar o Presidente da República e o Congresso norte-americanos nas questões relacionadas à ciência e tecnologia de modo geral, e que passaram a desenvolver ações específicas na área de materiais;
- o Conselho Nacional de Materiais Críticos (*National Critical Materials Council*), criado em 1984, para supervisionar as atividades governamentais no campo dos materiais;
- o Escritório de Gerência e Orçamento (*Office of Management and Budget, OMB*), que intervém no estudo e aprovação de orçamentos para a área, e
- a Academia de Ciências e a Academia de Técnicas (*Academy of Sciences e a Academy of Techniques*), que estudam vários aspectos relacionados à ciência e tecnologia, incluindo aí os materiais avançados, e assessoram os poderes públicos a esse respeito.

b) Órgãos de pesquisa e desenvolvimento: o Departamento de Defesa (*Department of Defense, DOD*); a NASA; o Departamento de Comércio (*Department of Trade*); o Escritório de Minas (*Bureau of Mines*) e a Fundação Nacional de Ciências (*National Science Foundation*).

c) Órgãos de normalização: organismos privados (como a Inspeção Americana de Testes e Materiais (*American Survey for Tests and Materials, ASTM*), com orientação do Escritório Nacional de Padrões (*National Bureau of Standards*).

Nos países europeus, também foram estabelecidos programas e organismos específicos para os materiais avançados. Por exemplo, no Reino Unido, isto ocorreu particularmente a partir do relatório Collyear, preparado em 1983 pelo Grupo de Assessoria em Materiais (*Materials Advisory Group*); na França, com o programa IDMAT (1985) e na Alemanha, com o programa MAFTO, coordenado pelo Ministério da Pesquisa e Tecnologia (BMFT). Ao nível da Comunidade Européia, foram constituídos, em 1985, o programa BRITE (Pesquisa Básica para Tecnologia Industrial Européia) e, em 1986, o programa EURAM (Pesquisa Européia para Novos Materiais).

De modo geral, as políticas e os programas nacionais em materiais avançados estão orientados para o enfrentamento das seguintes questões (OCDE, 1990):

- a elevação do nível geral de P&D e da pesquisa industrial, através de incentivos fiscais e do financiamento à pesquisa fundamental;
- a diminuição dos riscos da introdução no mercado de materiais novos ou ainda não utilizados, particularmente através de compras governamentais por programas militares e aeroespaciais;
- a redução de barreiras institucionais, ampliando-se o intercâmbio de informação, de conhecimento e de pesquisadores e técnicos, e promovendo-se a transferência de tecnologia, e
- o incentivo à criação e expansão de empresas baseadas na utilização de novas tecnologias.

Os governos têm utilizado basicamente os seguintes instrumentos: o estabelecimento de uma legislação destinada a promover e proteger o setor; a constituição de uma infra-estrutura para a implementação de uma política e de um sistema de informações em materiais; e a definição de metas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no campo dos materiais. Uma infra-estrutura de informações sobre as alternativas de materiais existentes e suas propriedades, bem como um sistema educacional para formar recursos humanos nesse campo são particularmente importantes para promover a substituição e a adoção de novos materiais.

Em uma análise comparativa entre as diferentes estratégias dos países para o desenvolvimento de materiais avançados, é possível identificar os seguintes tipos de abordagem (OCDE, 1990):

- abordagem global, isto é, que abrange o máximo de domínios no campo dos materiais (este é o caso, por exemplo, dos Estados Unidos);
- abordagem seletiva, ou seja, que reforça os domínios tradicionais ou, ao reverso, os domínios emergentes, no campo dos materiais (este é o caso, por exemplo, do Japão) e
- abordagem de escolhas específicas, isto é, que seleciona os domínios a serem priorizados, de acordo com a capacitação endógena existente.

O financiamento público no setor é dificultado pela orientação predominante para projetos de elevado conteúdo tecnológico, mas fraco potencial comercial, e a tendência para favorecer as grandes empresas.

Proceder a uma avaliação profunda das políticas governamentais no campo dos materiais é, no entanto,

dificultada, de acordo com a própria OCDE (1990), em razão dos seguintes aspectos:

- insuficiência de dados disponíveis;
- multiplicidade de fontes de financiamento para o setor, e
- diferenças nas definições utilizadas, já que o conceito de material não tem sido reconhecido nas nomenclaturas estatísticas e os dados sobre esse campo estão, em geral, embutidos nos dados sobre os setores químico, siderúrgico e dos não-ferrosos.

Por outro lado, a decisão sobre o desenvolvimento e o uso de materiais substitutos, a reciclagem e a conservação cabe, em última instância, ao setor produtivo privado, e não ao governo. Não havendo um problema imediato de escassez, a adoção, pela indústria, de novos materiais, tecnologias e *designs* de fabricação tem sido motivada menos por preocupações estratégicas e mais por razões de caráter imediato (redução de custos, aumento da produção e do desempenho dos produtos e desenvolvimento de novos produtos).

A aceitação pelos *designers* e usuários finais talvez seja o fator mais difícil para a substituição de materiais, já que a substituição só é implementada quando esses grupos adquirem um elevado grau de confiança no desempenho técnico e no potencial econômico das novas tecnologias. Em geral, esses grupos são particularmente refratários à substituição em aplicações críticas, onde o risco é maior, e ao uso de novos materiais, cujo desenvolvimento é recente.

4. SITUAÇÃO DO BRASIL

4.1. O Setor Mineral em Questão

A expansão do setor mineral brasileiro, a partir de fins da década de 1960, caracterizou-se por duas grandes diretrizes: a ênfase no atendimento da demanda externa (em um período de grande crescimento do comércio internacional de minérios e metais) e a busca de auto-suficiência do setor. Essas diretrizes tiveram como resultados mais visíveis (Sá e Marques, 1987): (a) a descoberta de um volume significativo de novas jazidas em território nacional; (b) a colocação do Brasil em posição de destaque na produção e comercialização minero-metalúrgica no nível mundial e (c) o equilíbrio da Balança Comercial do setor (tomado então como sinônimo de auto-suficiência do setor).

Essa estratégia foi mais tarde criticada (Sá e Marques, op.cit.) sob dois pontos de vista. Primeiro porque a proclamada auto-suficiência do setor mineral ter-se-ia dado às custas da drástica queda do consumo interno, particularmente a partir da recessão da economia brasileira nos anos 80. Segundo porque essa estratégia demonstrou-se frágil frente à saturação dos grandes mercados consumidores de minerais, no nível mundial, frente à queda dos preços das *commodities* minerais e frente à emergência de materiais substitutos.

Nesse contexto, tornou-se cada vez mais patente a necessidade do país acompanhar o movimento internacional de capacitação em tecnologias de ponta, particularmente na área de materiais.

4.2 A Estratégia Brasileira para os Materiais Avançados: breve retrospectiva

No Brasil, assim como nos países de Primeiro Mundo, a estruturação de um aparato institucional, visando o desenvolvimento endógeno das chamadas "novas tecnologias", iniciou-se em meados da década de 80. Este foi o desdobramento de um processo, iniciado no país nos anos 50, de institucionalização do apoio governamental às atividades científicas e tecnológicas nacionais⁷.

A aprovação da Lei de Informática (1984), a criação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 1985) e as diretrizes do 1º Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República (1º PND/NR, 1986/1989) traduziram as novas ênfases no setor científico-tecnológico.

Por outro lado, a partir da Constituição de 1988, o Legislativo voltou a assumir papel chave na definição das políticas públicas, particularmente através de seu poder decisório sobre a criação de instituições e órgãos e sobre a aprovação do orçamento nacional. Na área de ciência e tecnologia, o Congresso Nacional passou a atuar, mais especificamente, através da sua **Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática**, sendo posteriormente também criado (embora não esteja ainda em funcionamento) o Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica (CAT).

Os papéis do Executivo e do Legislativo no campo das políticas públicas ficaram assim delimitados:

"A Constituição estabelece que o Executivo deve propor tanto a política como a estratégia, e o Legislativo aprová-las, com as modificações que entender pertinentes (...) pode-se dizer que o

⁷ A criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), em 1951, e a constituição do Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (FUNTEC/BNDE), em 1964, foram marcos desse processo.

Legislativo é o agente normativo da política, assim como o Executivo é o seu agente estratégico." (Rego, 1990, p.103)

O 1º PND/NR estabeleceu como prioritário o desenvolvimento de áreas de tecnologia de ponta. Posteriormente, foram definidas como estratégicas as áreas de: informática e microeletrônica; química fina; biotecnologia; mecânica de precisão; novos materiais. Essas áreas passaram a ser objeto de políticas setoriais de ciência e tecnologia, através de Secretarias criadas dentro do MCT.

Na área de materiais avançados, foram também constituídos no MCT a Comissão de Novos Materiais (CONMAT, 1986), formada por representantes da Secretaria Especial de Informática (SEI), do CNPq, da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Instituto Nacional de Tecnologia (INT); e o Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais (NEMAT, 1986), constituído por profissionais oriundos do Grupo de Estudos Mineral-Metalúrgicos do CETEM.

A atuação inicial do MCT na área de novos materiais teve de enfrentar dificuldades, devidas ao fato de ser esse um campo emergente e multidisciplinar, tais como uma imprecisa conceituação e delimitação do que sejam os materiais avançados, e a ainda frágil estrutura institucional de ensino e pesquisa nessa área.

A Secretaria de Novos Materiais (SNM, 1987), tendo por atribuição a elaboração e a implementação de uma política de C&T para o setor no país, promoveu uma série de ações, nos níveis nacional e internacional, que resultaram em uma maior articulação entre os grupos atuantes em materiais avançados no Brasil.

Um primeiro programa de ação do MCT para o setor de materiais avançados⁸ foi elaborado, no qual foram priorizadas as áreas de novos metais e suas ligas, semicondutores e quartzo, e fibras óticas.

O MCT passou a contar também com dois outros instrumentos para a promoção do desenvolvimento científico-tecnológico em áreas consideradas prioritárias:

- O Programa de Recursos Humanos para as Áreas Estratégicas (RHAЕ, 1987), operacionalizado pelo CNPq e orientado para formar pessoal especializado nas cinco áreas de ponta selecionadas (dentre as quais a de novos materiais), beneficiando inclusive empresas privadas.
- O Programa Nacional de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), que conta com recursos do Banco Mundial e que, a partir da sua segunda etapa (PADCT II, 1989/1994), passou a apoiar projetos de pesquisa em novos materiais⁹.

A partir de 1987, o Ministério da Ciência e Tecnologia passou por várias crises e por diversas reformulações que resultaram na descontinuidade de algumas das ações então desenvolvidas. A Secretaria de Novos Materiais deixou de existir. O PADCT e o RHAЕ passaram a ser os principais instrumentos de apoio à área.

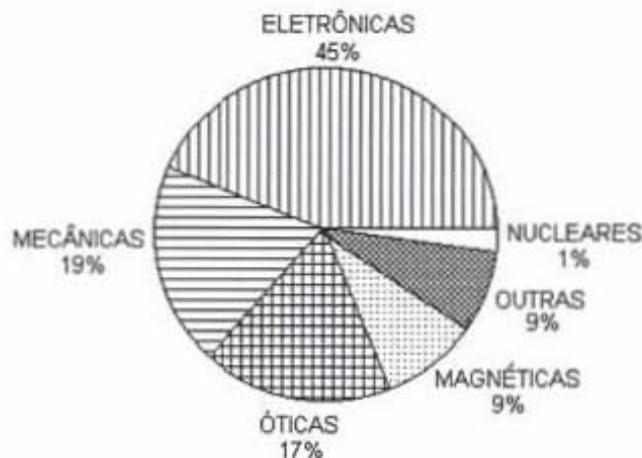
⁸ MCT. "O Desafio dos Novos Materiais - Programa Brasileiro", Brasília, 1987.

⁹ Inicialmente previstos US\$72 milhões, o PADCT II teve ao final, alocados no Subprograma de Novos Materiais, cerca de US\$36 milhões, distribuídos nas suas diferentes subáreas: polímeros, materiais elétricos, cerâmica, metais, compósitos e infra-estrutura. Encontra-se já em discussão (em 1995), as orientações para o PADCT III nesse Subprograma.

Além dos aços, outros metais e ligas não convencionais vêm merecendo destaque, particularmente pelo seu uso em programas de defesa, espacial e de energia.

Por outro lado, as dificuldades econômicas enfrentadas pelo setor metalúrgico na última década desestimularam, em certa medida, a sua diversificação para áreas novas ou emergentes.

O mercado nacional de produtos cerâmicos avançados foi estimado, em 1988, como sendo da ordem de US\$ 250 a 300 milhões, assim distribuídos, por função:



Fonte: ABC (1990)

Figura 1 - Mercado brasileiro de cerâmicas avançadas

Estimou-se ainda (ABC/CCA, 1990) que o mercado brasileiro de produtos cerâmicos avançados deverá crescer a uma taxa anual de 14%, o que o elevaria, em fins da década de 90, para cerca de US\$ 1,2 bilhão; e, considerando-se seu poder de alavancagem, levaria a um mercado indireto de cerca de US\$ 13,0 bilhões. No entanto, a crise econômica do último

período, bem como as dificuldades enfrentadas pelo sistema nacional de ciência e tecnologia, poderão comprometer tais resultados.

Considera-se que os consumidores de cerâmicas avançadas que apresentam maior perspectiva de crescimento são as indústrias eletro-eletrônica e mecânica, nas quais há uma grande participação de multinacionais. Em menor proporção, têm-se as indústrias química e nuclear, os produtores de próteses e de materiais óticos, dentre outros.

Em 1987, das 24 empresas produtoras de cerâmicas avançadas, metade eram multinacionais (Quadro 2). As empresas multinacionais são de maior porte e tecnologia mais avançada. As empresas nacionais são de pequeno e médio porte e orientadas para produtos "dedicados" ou sob encomenda, o que as torna vulneráveis às demandas dos consumidores: seus produtos são, em geral, considerados de primeira geração. Algumas delas surgiram junto às universidades, mais particularmente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Não se produzem, no país, em escala suficiente, pós cerâmicos com a pureza e a granulometria adequadas aos produtos avançados, o mesmo ocorrendo com os materiais auxiliares à fabricação e os equipamentos de produção, pesquisa e desenvolvimento e controle de qualidade, fazendo-se com que se dependa da importação.

Por outro lado, a maioria dos óxidos necessários à produção das cerâmicas avançadas são provenientes de matérias-primas naturais, das quais o Brasil possui grande disponibilidade (alumínio, zircônio, titânio, silício). Mas que, em sua grande maioria, não atingiram o grau de beneficiamento necessário à produção de cerâmicas avançadas.

Por esse motivo, acredita-se que o Brasil deveria partir para a produção de insumos cerâmicos avançados, ainda que não

disponha de tecnologia para o processamento em larga escala de produtos finais. As inovações que vêm ocorrendo no exterior, nesse campo, têm também estimulado o maior desenvolvimento tecnológico nacional.

Quadro 2 - Principais Empresas Produtoras de Cerâmicas Avançadas no Brasil (1987)

EMPRESAS	PRINCIPAIS PRODUTOS
ABC XTAL Microeletrônica S.A.	Fibras óticas
CARBORUNDUM	Elementos de aquecimento de SiC e fibras isolantes
Cerâmica SAFFRAN	Tubos de Mulita e Al_2O_3 com SC
CERPEC Indústria e Comércio de Guias-Fios e Peças Cerâmicas Ltda	Guias-fios, bicos (agrícolas e de maçaricos)
CETEBRA - Cerâmica Técnica Brasileiro Ltda	Tubos, cadinhos e esferas de Al_2O_3
CERTRONIC - Cerâmica Eletrônica Indústria e Comércio Ltda	Produtos de PZT e $BaTiO_3$
CIL - Cerâmica Industrial Ltda	Guias-fios
CONSTANTA - IBRAPE Ltda	Resistores e ferritas
COOR - Cerâmica Técnica do Brasil Ltda	Substratos e peças especiais de Al_2O_3
CORNING Brasil, Vidros Especiais Ltda	Vidros especiais
ENGECER Projetos e Produtos Cerâmicos Ltda	Sensores de oxigênio e pós cerâmicos
FOSECO Comercial e Industrial Ltda	Refratários especiais
KERAMUS Cerâmicas Especiais	Produtos de Al_2O_3
MACÊA Cerâmica Técnica Ltda	Cadinhos e guias-fios de Al_2O_3
MITEC	Sensores de umidade
NGK do Brasil	Substratos de Al_2O_3 , placas de revestimento, velas de ignição
PIRELLI S.A. Industrial Brasileira	Fibras óticas
PROCER - Produtos Cerâmicos Ltda	Tubos de Al_2O_3 (65%, 99,5%)
ROBERT BOSCH do Brasil Nordeste S.A.	Isolantes de Al_2O_3 , velas de ignição
ROHM Indústria Eletrônica Ltda	Capacitoras e resistores de $BaTiO_3$
THOMSON-CSP Componentes do Brasil Ltda	Capacitores de $BaTiO_3$, e multicamadas
THORNTON-INPEC Eletrônica S.A.	Piezoeletrônicos (PZT) e ferritas
VG Varistores Cerâmicos Ltda	Varistores para alta e baixa tensão
VITRAMON do Brasil Ltda	Capacitores multicamadas

Fonte: DUARTE, 1992.

Considera-se que o Brasil já dispõe de uma razoável capacitação científico-tecnológica no setor (Quadros 3a e 3b)), embora estime-se que os investimentos diretos em pesquisa e desenvolvimento nesse campo tenham sido, entre 1985-90, de cerca de US\$ 5 milhões; e que seriam necessários cerca de US\$ 60 milhões para dotar o Brasil de uma infra-estrutura de pesquisa adequada nessa área (ABC/CCA, 1990).

Quadro 3a - Principais instituições de pesquisa em cerâmica avançada no Brasil (1987)

Instituição	Linha de Pesquisa
Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN)	Cerâmicas nucleares
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)	Vidros óticos, crescimento hidrotérmal
Centro Técnico Aeroespacial (CTA) IPD/Divisão de Materiais	Cerâmicas estruturais (propriedade e produção)
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD/Telebrás)	Semicondutores compostos, substratos cerâmicos
Fundação Tecnológica Industrial (FTI) e Centro de Materiais Refratários (CEMAR)	Insumos cerâmicos (estudos e produção)
Instituto Militar de Engenharia (IME) - Seção de Ciências dos Materiais	Produção de filmes finos para células solares, cerâmicas estruturais (produção e propriedades mecânicas)
Instituto Nacional de Tecnologia (INT)	Insumos cerâmicos e cerâmicas estruturais
Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE)	Semicondutores, ferritas
Instituto de Pesquisa Energética e Nuclear (IPEN)	Cerâmicas supercondutoras (planejamento)
Divisão de Materiais de Interesse Nuclear	Insumos cerâmicos
Divisão de Materiais Cerâmicos	Cerâmicas estruturais
Divisão de Ótica Aplicada	Cristais para laser
Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) - Divisão de Transdutores	Cerâmicas piezoeletrônicas
Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - Depto de Química e Engenharia Química	Cerâmicas a base de alumina, vidros especiais
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Inst. de Física	Fusão de vidros compostos, supercondutores, cerâmicos e semicondutores
DEMA	Semicondutores e substratos cerâmicos

Quadro 3b - Principais instituições de pesquisa em cerâmica avançada no Brasil (1987)

Instituição	Linha de Pesquisa
Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho (UNESP) - IQ	Cerâmicas eletro-eletrônicas (processamento e propriedades)
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - IF	Semicondutores
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)	Insumos cerâmicos, cerâmicas eletro-eletrônicas
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - IF	Vidros especiais (estudos de propriedades)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - COPPE IF	Caracterização de cerâmicas, deposição de filmes (TiC, TiN), células solares Cerâmicas Supercondutoras
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Semicondutores, supercondutores cerâmicos, cerâmica estrutural (CBN, ZrO ₂ & HfO ₂)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - DEMA	Cerâmicas eletro-eletrônicas e estruturais (Processamento e propriedades), vidro-cerâmicos e cerâmicas tradicionais
DF	Cerâmicas eletro-eletrônicas, ferritas, PZT (processamento e propriedades), semicondutores
DQ	Cerâmicas eletro-eletrônicas (processamento e propriedades)
Universidade de São Paulo (USP) CD	Insumos cerâmicos (caracterização, propriedades e processamento)
IFQSC	Método sol-gel, crescimento de cristais, cerâmicas supercondutoras, supercondutores
IF	Novos semicondutores, ferritas

Fonte: DUARTE (1992)

O mercado do **polímeros de engenharia** (QUEIROZ, 1987, MALDONADO, 1988, PEITER, 1991), no Brasil, é ainda relativamente reduzido, sendo os setores automobilístico e eletrônico os que mais participam do consumo nacional desses materiais. A pesquisa e desenvolvimento, nessa área, é fortemente determinada pelo estágio das indústrias petroquímica e de química fina.

O grau de internacionalização da economia e a importância que esses materiais vêm assumindo na base produtiva mundial deverão motivar, por outro lado, uma maior participação brasileira nesse segmento. As empresas brasileiras atuantes no setor apresentam um comportamento relativamente dinâmico em pesquisa e desenvolvimento, mas a infra-estrutura nacional

de pesquisa nesse campo é ainda insuficiente. A produção de polímeros é dominada por grandes empresas, devido às elevadas somas de capital e tecnologia necessárias. Os consumidores de novos polímeros concentram-se nos setores automobilístico, aeroespacial e eletroeletrônico, os quais têm boas perspectivas de desenvolvimento no Brasil.

A produção e o mercado de **compósitos** (PINHÃO, 1988, PEITER, 1988) vêm crescendo, no Brasil, desde fins da década passada, principalmente os reforçados com fibras de vidro na indústria eletro-eletrônica (embora a Corningglass seja a única produtora nacional de fibras de vidro). As principais instituições de pesquisa brasileiras que vêm atuando na área de compósitos avançados são o CTA, o INPE, o IME e a UNICAMP. Os recursos humanos disponíveis ao setor são entretanto escassos, e o desenvolvimento dessa área é ainda dependente da evolução do setor aeronáutico brasileiro. É considerado o segmento mais embrionário dentre os novos materiais no Brasil.

O desenvolvimento de **materiais semicondutores compostos** (QUEIROZ, 1987, PEITER, 1991) vem sendo estimulado pela política brasileira de telecomunicações, particularmente os materiais opto-eletrônicos. Por outro lado, as empresas brasileiras de microeletrônica não têm demonstrado preocupação quanto ao desenvolvimento de insumos básicos para o setor. O Brasil é um dos maiores mercados de informática do mundo, mas praticamente importa tudo o que consome; quando não o componente, a matéria-prima é importada.

Os Quadros 4, 5a e 5b apresentam um panorama geral da capacitação científico-tecnológica do Brasil, no campo dos materiais avançados, com base em dados que foram levantados em 1987, por equipe do Instituto Nacional de Tecnologia, através de entrevistas realizadas junto a universidades, instituições de pesquisa e empresas atuantes no setor. O Quadro 4 dá uma dimensão quantitativa da infra-estrutura de P&D em novos materiais. O Quadro 5 pretende oferecer

subsídios a uma ação estratégica no setor, a partir de uma primeira interpretação daqueles dados.

Caberia então uma atualização daquele levantamento (o que está sendo feito pelo INT), bem como uma releitura dos novos dados coletados, a partir de uma visão prospectiva, onde se considerem os parâmetros do desenvolvimento sustentável.

Quadro 4 - Alguns indicadores revelados pelo levantamento da capacitação científica e tecnológica em novos materiais no Brasil (1987)

Segmentos Indicadores (número de)	Metais	Cerâmicas	Semicondutores	Polímeros	Compositos	Diversos	Total
Instituições	57	63	23	41	19	-	102
Pesquisadores	467	358	134	256	43	252	1.323
Projetos	177	153	22	66	38	36	492
Convênios	47	60	14	20	3	137	279
Patentes	33	28	15	16	7	12	111

Fonte: NMAT/INT.1988

Quadro 5a - Prioridades para capacitação nacional em novos materiais em face dos diagnósticos setoriais

CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL					
Critério Material/Produto	Mercado	Capacitação de RH e P&D	Capacitação Industrial	Caráter Estratégico	Disponibilidade de Insumos
PRIORIDADE I					
Aços AURT*	ampla perspectiva	em consolid.	existe	muito importante	existe
Inseros Cer. para Ferram. de Corte	existe	em consolid.	ampla perspectiva	importante	com perspectiva
Ligas Leves (Al e Ti)	ampla perspect.	com perspect.	com perspectiva	importante	com perspectiva
Membrana de separação	ampla perspect.	em consolid.	com perspectiva	importante	parcial
Quartzo Fundido	existe	em consolid.	em consolidação	muito importante	em consolidação
Silício Grau Eletr. Mono Cristalino	com perspect.	consolid.	existe	muito importante	em consolidação
PRIORIDADE II					
Biomateriais	existe	com perspect.	em consolidação	importante	parcial
Ligas Alta Performance:					
- refratária	existe	com perspect.	em consolidação	importante	com perspectiva
- superligas	existe	em consolid.	existe	importante	parcial
- outros	**	em consolid.	existe	importante	parcial
Materiais magnéticos	existe	em consolid.	existe	importante	existe
Materiais óticos	**	em consolid.	em consolidação	muito importante	parcial
Supercondutores Metálicos	existe	consolid.	em consolidação	importante	existe
PRIORIDADE III					
Compositos de Matrizes Poliméricas	existe	em consolid.	ampla perspectiva	importante	parcial
Fibras de Carbono	existe	em consolid.	ampla perspectiva	importante	com perspectiva
Ligas Poliméricas	existe	em consolid.	existe	importante	parcial
Outros Materiais de Grau Eletrôn.	**	**	**	importante	parcial
Plásticos de Engenharia	existe	em consolid.	em consolidação	importante	parcial
Materiais para sensores	**	com perspect.	em consolidação	importante	**

* Aços de ultra resistência e tenacidade

** dado a variedade de materiais/produtos não cabe a aplicação desses critérios

*** não existem dados disponíveis para avaliar o critério

Fonte: NMAT/INT. 1988.

Quadro 5b - Prioridades para capacitação nacional em novos materiais em face dos diagnósticos setoriais

CAPACITAÇÃO CIENTÍFICA TECNOLÓGICA			
Critério Material/Produto	Potencial de Aplicação	Capacitação de RH e P&D	Caráter Estratégico
PRIORIDADE I			
Compostos de matriz metálica	ampla perspectiva	com perspectiva	importante
Ligas amorfas	ampla perspectiva	existe	importante
Semicondutores compostos	com perspectiva	existe	muito importante
Supercondutores cerâmicos	ampla perspectiva	em consolidação	muito importante
PRIORIDADE II			
Compostos intermetálicos	ampla perspectiva	com perspectiva	importante
Ligas com memória de forma	com perspectiva	com perspectiva	importante
Polímeros de cristal líquido	com perspectiva	***	***
PRIORIDADE III			
Ligas armazenado nas de hidrogênio	com perspectiva	não consolidado	***
Polímeros condutores	com perspectiva	em consolidação	***
Polímeros fotosensíveis	com perspectiva	não consolidado	importante

* Aços de ultra resistência e tenacidade

** dado a variedade de materiais/produtos não cabe a aplicação desses critérios

*** não existem dados disponíveis para avaliar o critério

Fonte: NMAT/INT, 1988.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crise econômica mundial, a partir dos anos 70, reverteu, em certa medida, a tendência observada desde o pós-guerra de restrição pelos governos dos países do Terceiro Mundo à intervenção de operadores estrangeiros no setor minero-metalúrgico desses países. A saturação dos mercados e a queda dos investimentos mineiros levaram esses países a dirigirem esforços no sentido de expandir o volume de suas exportações e de atrair investimentos do exterior, através de legislações menos restritivas à exploração mineral por capitais estrangeiros e de incentivos fiscais à sua ação no setor.

Essas medidas vêm sendo aprofundadas, mais recentemente, em especial nos países latino-americanos, por meio da maior abertura dessas economias à concorrência internacional. No âmbito dessas mudanças, assiste-se a uma onda de privatizações no setor minero-metalúrgico, impulsionada pela ascensão de políticas inspiradas nas teses neo-liberais. No Brasil, além da transferência de empresas estatais do ramo para a iniciativa privada¹³, estão em processo importantes transformações institucionais que afetam o setor, a partir da modificação de itens que haviam sido aprovados na Constituição de 1988, tais como o acesso à exploração do subsolo pelo capital estrangeiro e a flexibilização do conceito de empresa nacional.

Os interesses das empresas minerais e metalúrgicas são ditados, por sua vez, por parâmetros de investimento, tais como a rentabilidade dos empreendimentos e o controle de

¹³ Este foi o caso de empresas atuantes no segmento de rochas fosfáticas e fertilizantes fosfatados, como a Arafertil, a Fosfertil, a Goiasfertil e a Ultrafertil, e de empresas do setor siderúrgico, como a Companhia Siderúrgica Nacional, a Companhia Siderúrgica de Tubarão, a Usiminas, a Açominas e a Cosipa.

segmentos e mercados. A atitude favorável dessas empresas quanto ao investimento em prospecção mineral e quanto à realocação de suas indústrias de transformação mineral para outros países encontra motivações, além da disponibilidade e valor desses recursos naturais nesses territórios, na redução de custos de transporte, de mão-de-obra, de energia e de proteção ao meio ambiente, relativamente aos custos em seus países de origem. Por outro lado, constituem fatores que desmotivam tal atitude: a escassez de mão-de-obra qualificada e de mercados locais expressivos; a distância em relação aos consumidores localizados nos países centrais; a produção insuficiente para economias de escala; a legislação penalizando a entrada de materiais transformados nos países industrializados e os riscos políticos.

Os governos dos países de industrialização avançada, por sua vez, não deixam de manter certas proteções ao desempenho endógeno das etapas de transformação mineral, particularmente naqueles segmentos nos quais poderiam ficar vulneráveis aos países em desenvolvimento, e pelo menos até que seus aparatos industriais estejam tecnologicamente capacitados a utilizarem materiais substitutos.

Por outro lado, o advento dos materiais avançados coincide com uma sensível inflexão na demanda por materiais nos países de industrialização madura, a qual vinha apresentando um crescimento exponencial nas três décadas que se seguiram à Segunda Guerra Mundial. Foram os metais tradicionais os mais afetados pela mudança no comportamento da demanda, perdendo terreno rapidamente como matéria-prima industrial nos países cêntricos. A tendência declinante no crescimento do consumo de metais, desde meados da década de 1970, foi motivada, por um lado, pela crise econômica mundial a partir do

choque do petróleo e, de outro, pela queda da intensidade de uso¹⁴ desses materiais na obtenção do produto final.

As perspectivas atuais apontam para a estabilização, e mesmo a elevação, dos preços das *commodities* minerais, bem como para a retomada da expansão das atividades de exploração mineral. Nesse sentido, estariam contribuindo a recuperação da economia mundial, o fim da Guerra Fria (e portanto dos estoques de minerais estratégicos) e as reformas político-econômicas nos países da América Latina. Mas se a recuperação da atividade econômica pode estar anunciando a retomada do nível de demanda de metais básicos anterior à crise, a diminuição da intensidade de uso surge como um dado estrutural de caráter irreversível.

Paralelamente, a crise ambiental colocou em evidência os impactos causados pelo setor de materiais, e mais particularmente o setor mineral. A questão do uso e conservação dos recursos minerais, bem como dos impactos ambientais gerados pela exploração desses recursos, seu processo de transformação industrial, sua utilização e descarte como produto final tornaram-se temas de controvertido debate. O discurso ambiental veio fortalecer a idéia da necessidade de se reduzir o consumo de materiais em geral, e de restringir as atividades de exploração de recursos naturais necessários à sua produção. O crescimento da importância da reciclagem de materiais vem também contribuindo para a redução do consumo de minerais.

Toda essa dinâmica vem afetando particularmente os países periféricos, nos quais os bens minerais constituem ainda itens importantes de suas pautas de exportações. Submetidos ao endividamento crescente, à compressão da demanda e aos novos padrões de concorrência internacional e de proteção do

¹⁴ A intensidade de uso de um material é definida como sendo a relação entre a quantidade desse material que é utilizada no país e o PIB, ou seja, quanto se emprega do material por unidade de produto da economia.

meio ambiente, esses países têm expostas suas estratégias de desenvolvimento em geral, e de materiais em particular, aos limites da dependência diante do capital, da tecnologia e dos mercados dos países cêntricos.

Por outro lado, o tema ambiental vem também revelar (ou evidenciar) a necessidade de se repensarem os atuais fluxos e distribuição de recursos e tecnologias entre países do "Norte" e do "Sul", a partir da constatação dos diferentes níveis de responsabilidade desses países em relação ao atual quadro de deterioração do meio ambiente do planeta.

Enquanto que os países centrais (tomando-se mais especificamente os países da OCDE) detêm apenas 16% da população mundial e 24% do território do planeta, eles também representam 72% do Produto Bruto Global, 73% do comércio internacional e 50% do consumo energético do mundo. O consumo per capita desses países é de 3 a 8 vezes maior em produtos de primeira necessidade, e 20 vezes ou mais em itens como produtos químicos e veículos, do que o consumo dos países do Sul. Ao mesmo tempo, os países do Norte são também responsáveis por cerca de 45% das emissões totais de carbono, 40% das de enxofre, 50% das de nitrogênio e 60% dos rejeitos industriais. (Sachs, 1991)

Do mesmo modo, a disponibilidade de materiais manufaturados e de energia *per capita* nos países em desenvolvimento é, em média, cerca de 100 vezes menor que nos países desenvolvidos. Além disso, o custo desses materiais é muito alto em relação à renda dos países menos desenvolvidos. As possíveis reduções na demanda de materiais causadas pelo progresso técnico-científico (miniaturização e substituição por materiais mais leves e mais duráveis) deverão ser compensadas, nos países em desenvolvimento, pela tendência do crescimento do consumo de materiais e de energia em razão do estágio e dos requisitos de desenvolvimento desses países.

As diferenças entre países, no que diz respeito aos materiais, não são apenas quantitativas, mas também qualitativas, afetando as suas estratégias e prioridades. Rohatgi (1988) assim resumiu os princípios gerais que deveriam nortear tais estratégias e prioridades: "o paradigma da tecnologia de materiais para o desenvolvimento deveria estar orientado para o atendimento de necessidades básicas, a partir de produtos ou materiais que sejam menores, mais leves, de mais longa duração, de baixo custo, baixo uso energético e recicláveis, baseados em recursos abundantes ou renováveis, que possam ser processados localmente usando tecnologias simples, geradoras de emprego e não poluentes. Muito do conhecimento orientado para o avanço da ciência dos materiais deveria ser dirigido para atender as necessidades do desenvolvimento."

No entanto, se os países centrais têm clareza do que lhes é estratégico, não existe uma consciência própria nos países periféricos a esse respeito, que leve em consideração suas características, necessidades e vantagens específicas. Esses países são colocados entre a opção de importarem maciçamente tecnologia ou utilizarem materiais considerados em declínio pelo sistema técnico e produtivo mundial. Ou ainda, abrigarem indústrias minerais e de materiais básicos, de maior conteúdo energético e impacto ambiental, deixando aos países centrais a produção avançada e a reciclagem de materiais.

Fato é que, independentemente da estratégia de desenvolvimento que se venha a adotar, a chamada "revolução dos materiais" é hoje um dado que não se pode mais desconsiderar. Por um lado, porque seus impactos não se restringem aos segmentos de ponta, mas afetam os materiais de modo geral. Por outro lado, porque o atual processo de globalização impõe determinados padrões de competitividade (tais como qualidade, durabilidade e confiabilidade), que estão associados aos materiais de melhor desempenho.

Nesse contexto, o Brasil não pode limitar-se a mero exportador de matérias-primas minerais, mas deve agregar maior valor a esses recursos, através do conhecimento científico-tecnológico. Ainda que o setor mineral brasileiro continue a desempenhar importante papel como gerador de divisas, isto não pode se dar através do comprometimento da competitividade do setor industrial, nem da depressão do consumo interno. Como argumentam Sá e Marques (op.cit., p. 60), *"não se pode mais pensar o setor mineral independentemente de uma política industrial para o Brasil, que deverá tratar as questões relativas não só aos minérios e metais mas também aos diferentes materiais concorrentes. Uma vez que os metais estão sendo substituídos com intensidades diferentes por outros materiais em cada um de seus mercados de utilização final, a política mineral deveria ser reformulada para levar em conta a incorporação de diferentes tipos de materiais aos diferentes produtos."*

Nesse contexto, a oportunidade do Brasil atuar na área de novos materiais tem sido justificada com os seguintes argumentos (Villas Bôas, 1987):

- a existência de espaços ainda não totalmente ocupados por grandes blocos de capital, no momento em que ocorrem transformações na base técnico-científica e no padrão de concorrência internacional;
- a disponibilidade em território nacional de recursos minerais estratégicos para setores tecnológicos de ponta (quartzo, nióbio, titânio, berílio, terras-raras, entre outros);
- a disponibilidade de uma razoável capacitação científica e tecnológica empresarial, que permite um esforço inicial de pesquisa e desenvolvimento em novos materiais, e
- a existência de um mercado promissor de tecnologia de ponta no país.

Os princípios que orientaram as primeiras diretrizes governamentais para o setor de materiais avançados no país, ao que tudo indica, se mantêm, quais sejam (Ministério da Ciência e Tecnologia, 1987):

- incrementar o desenvolvimento tecnológico adequado aos nossos minerais e minérios, já que os insumos minerais variam de acordo com a formação geológica de cada região, embora muitas vezes possuam a mesma denominação;
- privilegiar o desenvolvimento de novos sucedâneos de materiais que tenham por base a realidade do fator natural e do fator mineral brasileiro, ou seja, não privilegiar materiais que venham competir com uma base de recursos naturais ou minerais hoje aqui existentes, e
- investir em novos processos para materiais conhecidos e onde tenhamos condições de ser competitivos, como o aço (mais leve, mais resistente), o alumínio, o níquel, o titânio, o nióbio e as ligas de alta temperatura, abundantes no Brasil, os quais, embora considerados tradicionais, podem adquirir características **avançadas**, pela incorporação de novas tecnologias.

A esses princípios acrescentaríamos outros de caráter social - o atendimento às demandas e necessidades das populações locais - e ambiental - a preservação do patrimônio natural nacional.

No entanto, a instabilidade político-econômica do país tem ocasionado entraves importantes à implementação de políticas continuadas e de longo prazo para o setor de ciência e tecnologia em geral, e para o desenvolvimento tecnológico dos materiais em particular. Tal situação deve ser enfrentada e superada, considerando a importância do desenvolvimento científico-tecnológico no atual quadro geopolítico e econômico mundial. Caso não se altere o quadro de instabilidade

institucional, comprometem-se seriamente as chances, já bastante ameaçadas, de uma inserção positiva do país no plano internacional. No caso dos materiais e minerais, perder-se-ia assim uma bela oportunidade, já que o Brasil possui condições, nesse setor, que o colocariam em situação de relativa vantagem no nível internacional, e que poderiam incrementar suas possibilidades de desenvolvimento endógeno.

BIBLIOGRAFIA

1. ALBAGLI, S.; EVANGELISTA, E.A. Introdução a materiais: documento de trabalho. Rio de Janeiro: CETEM, 1989, 60p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmicas avançadas: proposta de programa para o desenvolvimento no Brasil. São Paulo: ABC, 1990. 18p.
3. BARBERÁ, J. et alii (ed.). Los países industrializados ante las nuevas tecnologías; II. Experiencias tecnológicas e impactos económicos y sociales, Madrid: FUNDESCO, 1986.
4. BUREAU OF MINES U.S. The New Materials Society - Challenges and Opportunities, v.1, 1990.
5. BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O desafio dos novos materiais: programa brasileiro. Brasília: MCT, 1987. 40p. (Coleção Brasil Ciência; 2)
6. BRASIL. SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Relatório GEA/92. 9p.
7. CASTELLS, M. et alii. Nuevas tecnologías. Economía y Sociedad en Españã. v.1. Madrid: Alianza Editorial, 1986.
8. COMMISSION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE: Reestructuración industrial y cambio tecnológico: consecuencias para América Latina. Santiago: Naciones Unidas, 1989. 115p.
9. DUARTE, M.T.G. & SOARES, M.C.C. Cerâmicas avançadas. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1992.

10. FAST. Les nouveaux matériaux. [s.l.]: FAST, 1986 (Document Interne, n.69).
11. GIRAUD, P.N. Geopolitique des ressources minières. Paris: Ed. Economica, 1983. 2pt. 392p.
12. HERCULANO, S.C. Do desenvolvimento (in) suportável à sociedade feliz. Separata de GOLDEMBERG, M. (Coord.). Ecologia, Ciência e Política. Rio de Janeiro: Editora REVAN, 1992. p.9-48.
13. INTERNATIONAL COUNCIL FOR SCIENCE POLICY STUDIES. Science and technology in developing countries: strategies for the 90s. Paris, 1990. 163p. (A report to UNESCO).
14. KAOUNIDES, L.C. Advanced materials and primary commodities: a review of recent scientific technological developments and their implications for industrial policy and strategy. In: EXPERT GROUP MEETING ON PROSPECTS FOR INDUSTRIALISATION POLICIES IN DEVELOPING COUNTRIES TAKING INTO ACCOUNT THE IMPACT OF DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF NEW AND HIGH TECHNOLOGIES, 1989, Vienna. Vienna: UNIDO, [s.d.]. p.1-86.
15. KAOUNIDES, L.C. The materials revolution and its implications for the global division of labour in the 1990's. In: INTERNATIONAL BUSINESS STRATEGIES IN ADVANCED MATERIALS TECHNOLOGIES, 1991.
16. KAOUNIDES, L.C. The revolution in materials science and engineering: strategic implications for developing countries in the 1990's. Vienna: UNIDO, 1991. (Technology trends series; n. 13)
17. LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E. The impacts of advanced materials on third world development and the

- brazilian policy experience in the late 80s. In: EADI GENERAL CONFERENCE, 6, 1990, Oslo. p.1-21.
18. LUZ NETO, H. & SOARES, M.C.C. Novos materiais metálicos. Rio de Janeiro: INT, 1992.
19. MALDONADO, J.; PEITER, C.C. Novos polímeros: diagnóstico do segmento. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1988. 86p. (Versão preliminar para discussão NMAT/INT).
20. OCDE. Matériaux avancés: les politiques face aux défis technologiques. Paris, 1990.
21. PEITER, C.C. Planejamento em C&T para novos materiais: participação do Estado e a experiência brasileira. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1991. 110p. (Tese de mestrado)
22. PINHÃO, C.M. Compósitos avançados. Rio de Janeiro: INT, 1992.
23. PROGRAMA DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Subprograma de Novos Materiais: Documento Básico. [s.n.t.], 1989. 15p.
24. QUEIROZ, S. et al. Novos materiais: subsídios para uma estratégia de desenvolvimento científico e tecnológico. Campinas: UNICAMP: Núcleo de Política Científica e Tecnológica, 1987.
25. 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, mar./abr. 1989.
26. REGO, P. Ciência e tecnologia: política e instituições. Campinas: IPT/FECAMP, 1991.

27. ROHATGI, P. Materials: the development dimensions. ATAS Bulletin, n.5, p.8-14, May 1988.
28. SÁ, P.C.R.O.; MARQUES, M.I. Vinte anos de política mineral. Política mineral do Brasil: dois ensaios críticos. Brasília: CNPq, Assessoria Editorial e de Divulgação Científica, 1987. (Recursos minerais: estudos e documentos; 4)
29. SACHS, I. Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir. São Paulo; Vértice, 1986. 207p.
30. SACHS, I. Equitable development on a healthy planet: transition strategies for the 21st century. In: THE HAGUE SYMPOSIUM ON "SUSTAINABLE DEVELOPMENT: FROM CONCEPT TO ACTION", 1991, Netherlands. 52p. (revised version January 1992).
31. CONGRESS/OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. Strategic materials: technologies to reduce U.S. import vulnerability. Washington D.C.: OTA, 1985. 409p.
32. VAN GRIETHUYSEN, A.J. New applications of materials. [s.l.]: Netherlands Study Centre for Technology Trends, 1987. 153p. (FAST Occasional Papers; n.203)
33. VEIGA, M.M. et al. Estudo do mercado brasileiro de cerâmicas avançadas. São Paulo, 1989. (Síntese do trabalho "Prospecção de Oportunidades nos Setores de Cerâmicas Avançadas e Novos Materiais Metálicos" de Paulo Abib Engenharia)
34. VEIGA, M.M.; PASCHOAL, J.O.A. Panorama do setor de materiais: uma contribuição para a implementação de linhas e P&D. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991. 129p. (Série Estudos e Documentos; 16)

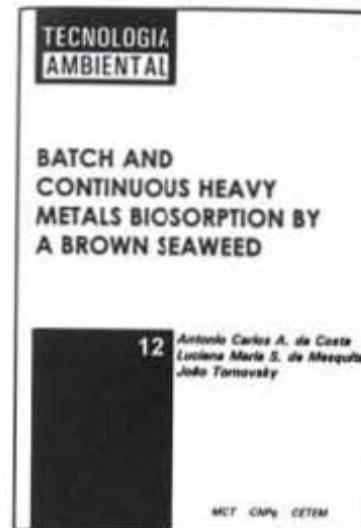
35. VILLAS BÔAS, R.C. Geopolítica dos novos materiais. Rio de Janeiro, 1989. 15p. (Série Tecnologia Mineral; 45)
36. VILLAS BÔAS, R.C. (Coord.) SEMINÁRIO TENDÊNCIAS PERSPECTIVAS NA ÁREA DOS NOVOS MATERIAIS, 1987. São Paulo: ABM. 202p.
37. VILLAS BÔAS, R.C. Brazil's national policy on new materials. Viena: UNIDO, 1987. 26p.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
TECNOLOGIA MINERAL

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canaveira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Puzo Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Schinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porphírio, 1981.
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
20. Dynawhirpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)

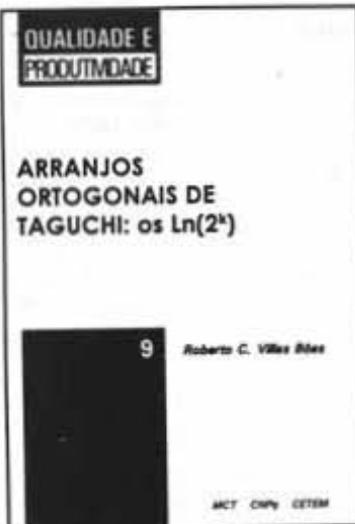
21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Urucum, Corumbá-MS - Lucia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélío Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessos de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985.
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987.
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)

45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990.
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centríflugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992.
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionsia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porphírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luís Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carrisso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixivantes Alternativos à Cianetação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.
68. Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais - Adão Benvidado da Luz, 1994.
69. Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo - Marília Inês Mendes Barbosa e Ney Hamilton Porphírio, 1994.
70. Froth Flotation: Relevant Facts and the Brazilian Case - Armando Corrêa de Araújo e Antônio Eduardo Clarck Peres, 1995.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luis Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Néelson Luiz S. Ferreira, Salete Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)
2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Néelson S. Ferreira, Gercino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.
3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992.
4. Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós - Pré-Diagnóstico - Rita Maria Rodrigues et al., 1994.
5. Utilização do Aguapé no Tratamento de Efluentes com Cianetos - Marcus Granato, 1995.
6. Are Tropical Estuaries Environmental Sinks or Sources? - Egbert K. Duursma, 1995.
7. Assessment of the Heavy Metal Pollution in a Gold "Garimpo" - Saulo Rodrigues Filho e John Edmund L. Maddock, 1995.
8. Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials - A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research - Bernd Market, 1995.
9. Heavy Metals in Estuarine Sediments: Mangrove Swamps of the Subaé and Paraguaçu Tributary Rivers of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil - J. F. Paredes, A. F. S. Queiroz, I. G. Carvalho, M. A. S. B. Ramos, A. L. F. Santos e C. Mosser, 1995.
10. Metais Pesados nas Sub-bacias Hidrográficas de Poconé e Alta Floresta - Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1995.
11. Diagnóstico Ambiental das Áreas Submetidas à Garimpagem de Ouro em Rio Preto - MG - Antonio José L. de A. Ramos e Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1996.



8. Certification and Use of Reference Materials - Maria Alice C. de Goes, 1995.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
3. Normalización Minerometalúrgica : Integración Latinoamericana - Rômulo Genuíno de Oliveira, 1993.
4. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas - James M. G. Weiss, 1993.
5. O Gerenciamento Ambiental: Estudo de Caso de Cinco Empresas de Mineração no Brasil - José Antônio Parizotto, 1995.
6. Situação Atual e Perspectivas da Indústria Mineral no Brasil - Ulysses Rodrigues de Freitas, 1995.
7. The Profile of the Brazilian Mining Professionals - Arthur Pinto Chaves, 1995.



Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

6. Setor Mineral : Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.

7. 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, 1988. (esgotado)

8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)

9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)

10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)

11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990.

12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991.

13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.

14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)

15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.

16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.

17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.

18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987.

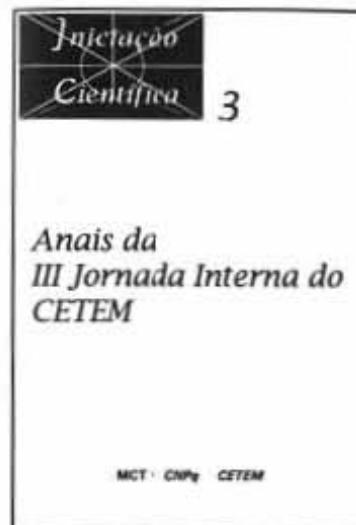
2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.

3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)

4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaio Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaio Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno

19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993.
20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)
21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lápido Loureiro, 1994.
22. Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Indústria de Alumínio, Marisa B. de Mello Monte e Rupen Adamian, 1994
23. Indústria Carbonífera Brasileira: conveniência e viabilidade - Gil do A. Sá C. de Albuquerque, 1995.
24. Carvão Mineral: Aspectos Gerais e Econômicos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1995.
25. "Sustainable Development: materials technology and industrial development in Brazil" - Roberto C. Villas Bôas, 1995.
26. Minerais e Materiais Avançados - Heloisa Vasconcellos de Medina e Luis Alberto Almeida Reis, 1995.
27. Poluição Mercurial: parâmetros técnico-jurídicos - Maria Laura Barreto e Anna Christiana Marinho, 1995.
28. Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais - Cid Chiodi Filho, 1995.
29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: a questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964), Vol. I - Ana Lucia Villas-Bôas, 1995.
29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: o projeto nacional no contexto da globalização (1964-1994), Vol. II - Ana Lúcia Villas-Bôas, 1995.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

1. Anais da I Jornada Interna do CETEM, 1994.
2. Anais da II Jornada Interna do CETEM, 1995

PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Manual de Usinas e Beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
3. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. CETEM/CNPq/EDUFF, 1992.
4. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
5. Impactos Ambientais. SPRU/USP/CNPq, 1993.
6. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
7. Programação Trienal: 1995/1997. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.
8. Relatório Anual de Atividades 1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.
9. 2nd Swedish-Brazilian Workshop on Mineral Technology (CETEM/CNPq/LULEÅ/EPUSP), 1995.
10. Tratamento de Minérios (CETEM/CNPq), 1995.
11. Sustainable Development and the Advanced Materials: The Brazilian Case (IDRC/CRDI - CETEM/CNPq), 1995.