

# AS TERRAS RARAS: SEUS MINÉRIOS E SUAS APLICAÇÕES (1)

Prof. Dr. Othon H. Leonardos (2)

## RESUMO

*O autor faz um apanhado sôbre os metais do grupo das terras raras, enumerando: os seus minerais e ocorrências; os métodos de sua industrialização e os respectivos produtores; e suas propriedades e aplicações em metalurgia e em outros ramos da ciência e da tecnologia. Especial atenção é dada ao tório, ao cério e às areias monazíticas tendo em vista seu interêsse para a economia nacional.*

### 1. DESCOBERTA DAS PRIMEIRAS TERRAS RARAS E SEUS MINÉRIOS

Foi na Suécia que a velha ciência dos minerais, inaugurada pelos gregos antes da Era Cristã e aproveitada no correr dos séculos pelos fundidores e alquimistas, veio tomar sua feição moderna graças a Lineu, Walerius, Forsius, Hiaerne, Bromell, Swedenborg e Cronstedt, e a uma equipe não menos notável de químicos setecentistas.

A história das terras raras começa com a descoberta, por Gadolin (1794) e Ekeberg (1797), da *íttria*, retirada da *itrotantalita* de Itterby na Suécia. Segue-se a separação por Berzelius e Hisinger, em 1803, da *céria* extraída da *cerita* e assim nomeada em honra do planeta Ceres. Em 1828 separou Berzelius, da *eschinita* de Falun, Suécia, uma nova «terra» a que deu o nome de *tória* — de Tor, o tonitroante deus da mitologia escandinava. Ao derivar o nome do mineral, de aischine (*vergonha*), reportava-se Berzelius à inabilidade química, ao tempo de seu descobrimento, em separar-lhe os constituintes. A *tória* foi novamente isolada em 1829, de outro mineral, de Brevik, Noruega, que Berzilius apelidou de *torita*. Nesse mesmo ano o químico alemão Breithaupt descreveu um fosfato natural de cério, cognominando-o de *monazita* — do grego *monazein*, estar solitário — em alusão à sua raridade. Originalmente encontrada na mina Bastnäs, na Suécia, foi descrita por Hisinger, em 1838, a *bastnasita*: um fluo-carbonato de terras céricas. Em 1839 outro químico sueco, Mosander, desdobra da *céria* uma fração solúvel em ácido nítrico diluído, à qual dá o nome de *lan-*

(1) Trabalho apresentado ao 7.º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; C.T. n.º 176, Comissão B-4, Pôrto Alegre, 6 de julho de 1951.

(2) Membro ABM; Engenheiro Civil, Membro do Conselho Nacional de Minas e Metalurgia; Rio de Janeiro, DF.

*tânia*. Continuando suas investigações, em 1841 retira da lantânia uma nova terra que apelida de *didímia* e, dois anos mais tarde, isola da ítria a *térbia* e a *itérbia*.

Termina aí a primeira fase das descobertas no campo das terras raras. O advento de um novo instrumento de pesquisa que é a análise espectral, entretanto, vem abrir, a partir de 1860, novos horizontes à investigação.

## 2. OS METAIS DAS TERRAS RARAS

A expressão «terras raras» foi originalmente aplicada a um grupo de óxidos de difícil redução, que ocorrem reunidos na natureza e cuja separação, entre si, é extremamente difícil, devido à similitude de suas propriedades. Incluem-se, geralmente, na lista dos metais das terras raras os seguintes elementos:

Número atômico	Símbolo	Elemento	Descobridores
21	Sc	Escândio	Nilson, 1879 (Eka-boro, Mendeleff, 1871)
39	Y	Ítrio	Gadolin, 1794; Ekeberg, 1797
57	La	Lantânio	Mosander, 1839
58	Ce	Cério	Berzelius e Hisinger, 1803
59	Pr	Praseodímio	Auer von Welsbach, 1885
60	Nd	Neodímio	Auer von Welsbach, 1885
61	Pm	Prométio	—
62	Sm	Samário	Lecoq de Boisbaudran, 1879
63	Eu	Európio	Demarçay, 1900 (Urbain e Lacombe, 1905)
64	Gd	Gadolínio	Marignac, 1880 (Demarçay, 1901)
65	Tb	Térbio	Mosander, 1843 (Bahr e Bunsen, 1866)
66	Dy	Disprósio	Lecoq de Boisbaudran, 1886
67	Ho	Hólmio	Cleve, 1878; Soret, 1878
68	Er	Érbio	Mosander, 1843
69	Tm	Túlio	Cleve, 1878
70	Yb	Ítérbio	Marignac, 1878
71	Lu	Lutécio	Urbain, 1907

De acôrdo com as propriedades químicas, êsses elementos são classificados em dois sub-grupos:

- 1 — Metais das terras céricas (TCe): La, Ce, Pr, Nd, (Pm), Sm, Eu
- 2 — Metais das terras ítricas (TY): Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

O európio é por vêzes incluído no grupo do ítrio. O escândio é, via de regra, considerado isoladamente. Os elementos de números atômicos de 57 a 71 constituem a série dos *lantânídeos*.

O ítrio é o mais abundante de seu grupo. A abundância relativa dos lantanídeos é, aproximadamente, a seguinte: cério 31, neodímio 18, lantânio 7, samário 7, gadolínio 7, disprosio 7, itérbio 7, érbio 6, praseodímio 5, lutécio 1.5, térbio 1, hólmio 1, túlio 1, európio 0.2.

São radioativos todos os cinco isótopos do proméio; o  $\text{Sm}^{152}$ , cuja abundância é de 25 % em relação ao total dos sete isótopos conhecidos; e o  $\text{Lu}^{167}$  (2.5 %). Os isótopos do proméio são de vida curta, em contraste com os do samário e do lutécio, que têm longa vida.

A presença do proméio (ilínio, florêncio) na natureza foi admitida pelos seus primeiros investigadores; mas é possível que as observações tenham sido errôneas. Julga Ballou (1948) que, se o proméio existe na natureza, deve apresentar-se sob a forma do ainda não comprovado isótopo de massa 145.

Por suas propriedades químicas, o tório (90) é por vêzes incluído no rol dos metais das terras raras. Forma êle, com o actínio (89), o urânio (92), o protoactínio (91), o netúnio (93), o plutônio (94), o amerício (95), o cúrio (96), o berkélio (97) e o califórnio (98), a série dos *actinídeos*, por vêzes desdobrada em *actinídeos trivalentes* e *torídeos tetravalentes*. Ambas apresentam analogias com os lantanídeos.

O actínio e o protoactínio acompanham o urânio. Os elementos netúnio, plutônio, amerício e cúrio, obtidos artificialmente pelo bombardeio com neutrons, deuteron e íons de hélio, ocorrem em quantidades ínfimas na crôsta terrestre (Seaborg e Segrè, 1947). Confirmando a predição de Goldschmidt (1942), de que o elemento 94 deveria encontrar-se nos minérios urano-berilíferos, Seaborg e Perlman identificaram, em 1948, o isótopo do plutônio de massa 239 na piblennda.

Dentre os muitos elementos das terras raras cujos nomes foram abandonados ou preteridos, por constituírem misturas ou corresponderem a elementos anteriormente batizados, ou de existência duvidosa, serão citados: *Junônio*, extraído da allanita por Thomas Thomson em 1811; *véstio* (Gilbert, 1818); *didímio*, Di (Mosander, 1841), mistura de Pr e Nd; *donário* (Bergmann, 1851), mistura de Th e Pb; *wásio* (Bahr, 1862), mistura de terras ítricas, Tb e Di; *mosândrio* (Smith, 1877), mistura de gadolínio e térbio; *filípío* (Delafontaine, 1878), mistura de ítrio e térbio; *noruégio* (Tellef Dahll, 1879), resíduo de Bi; *decípío* (Marignac, 1880), mistura de Sm e Gd; *másrio* (Richmond e Off, 1880); *iônio* e *incógnito* (Crookes, 1886); *áustrio* (Linnemann, 1886), da ortita, mesmo que o gálio; *rússio* (1889, Chroustaschoff), da monazita; *damário* (Auer e Antsch, 1890); *demônio* (Rowland, 1894); *metacério* (Braunner, 1895); *cósmio* e *neocósmio* (Kosmann, 1896); *lúcio* (Barrière, 1896); da monazita mistura de Y, Di, Er, e Yb; *glaucodidímio* (Chroustaschoff, 1897); *vitório* (Crookes, 1898); *mônio* (Crookes, 1900); *carolínio* e *berzélió* (Baskerville, 1901); *euxênio* (Hofmann e Prandtl, 1901), da euxenita, de massa atômica 177.75 (Hf?); *neoitérbio* (Urbain, 1907), itérbio puro; *aldebarânio* e *cassiopéio* (Auer von Welsbach, 1908), correspondentes ao neoitérbio

e ao Lu; *túlio I*, *túlio II* e *túlio III* (Auer von Welsbach, 1911); *céltio*, Ct. ou *célsio* (Urbain, 1911); *denébio* e *dúbio* (Eder, 1916); *eurosa-mário* (Eder, 1917); *florêncio* (Rolla e Fernandez, 1936) e *ilínio* (Harris, Hopkins e Yntena, 1936), equivalentes ao *prométeo* obtido artificialmente.

### 3. MINERAIS DE TERRAS RARAS E DE TÓRIO

A lista dos minerais de terras raras e de tório é numerosa. Algumas espécies são mal definidas, outras constituem sérios isomorfos longas. Em alguns casos a sinonímia é grande. Segue a relação das espécies principais:

Abukumalita	$(Y, Th, Ca)_5 (F, O) (SiO_4, PO_4, AlO_4)_3$
Allanita	$H(Ca, Fe) (Al, Fe, Ce, La, Pr, Nd, Y)_3 Si_3O_{13}$
Alvita	$(Zr, Hf, Th, TR)SiO_4$
Ampangabeíta	$(Y, Er, U, Ca, Th)_2 (Cb, Ta, Fe^3, Ti)_7O_{18}$
Auerlita	$(Th, Ce, Y) (Si, P)O_4$
Bastnasita	$(La, Ce)FCO_3$
Brannerita	$(U, Ca, Fe_2, Y, Th)_3Ti_5O_{16}$
Britholita	$(Na, Ce, Ca)_5F (SiO_4, PO_4)_3$
Calciotorita	$5ThSiO_4 \cdot 2CaSiO_4 + 10H_2O$
Cerita	$3H_2O \cdot 2Ce_2O_3 \cdot 3SiO_2$
Coddazita	$(Ca, Ce) (Mg, Ca) (CO_3)_2$
Eschinita	$(Ce, Ca, Fe^2, Th) (Ti, Cb, Ta)_2O_6$
Eschwegeíta	$(Y, Er, U, Th) (Cb, Ta, Ti, Fe^3)_2O_6$
Eucrasita	$(Th, Ce, Y, Fe, Ca, Mn, Na)SiO_4$
Euxenita	$(Y, Ca, Ce, U, Th) (Cb, Ta, Ti)_2O_6$
Fergusonita	$(Y, Er, TCe, Fe^2) (Cb, Ta, Ti, Sn, W)O_4$
Florencita	$AlPO_4 \cdot Ce PO_4 \cdot 2Al (OH)_3$
Fluocerita	$Ce_2OF_4 \cdot 4CeF_3$
Formantita	$(U, Zr, Th, Ca) (Ta, Cb, Ti, Sn, W)O_4$
Freialita	$(Th, Ce, Al, La, Fe)SiO_4 + H_2O$
Gadolinita	$Be_2FeY_2Si_2O_{10}$
Gorceixita	$(Ba, Ca, Ce)O \cdot 2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 5H_2O$
Hagatalita	$(Zr, Ce, Y) (Si, P)O_4$
Ishikawaíta	$(U, Fe^2, Y, Er, Ce) (Cb, Ta)O_4$
Itrialita	$(Y, Th, La, Ce, Fe^2)_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Itrocerita	$2(Y, Ce)F_3 \cdot 9CaF_2 + nH_2O$
Itrocranita	$(Y, Th, U, Ca)_2 (Ti, Fe_3, W)_4O_{11}$
Itrotantalita	$(Fe_2, Y, U, Ca, Mn, Ce, Th) (Cb, Ta, Ti, Zr, Sn)O_6$
Keilhauíta	$(Ca, Y, Ce) (Ti, Al, Fe^3) (O, OH, F)SiO_4$
Lantanita	$La_2(CO_3)_3 \cdot 9H_2O$
Loranskita	$(Y, Ce, Ca) (Ta, Zr)O_4$
Microlita	$(Na, Ca, Ce^2, Ce)_2 (Ta, Cb, Ti)_2O_6 (O, OH, F)$
Monazita	$CePO_4; CeYPO_4 \cdot ThSiO_4$

Oyamalita	(Zr, Ce, Y) (Si, P)O <sub>4</sub>
Parisita	(Ca, La, Ce)FCO <sub>3</sub>
Policrasita	(Y, Ca, Ce, U, Th) (Ti, Cb, Ta, Fe <sup>3</sup> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Poligmita	(Ca, Fe <sup>2</sup> , Y, Er, Ce, Zr, Th) (Cb, Ti, Ta, Fe <sup>3</sup> )O <sub>4</sub>
Priorita	(Y, Er, Ce, La, U, Ca) (Ti, Cb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Rinkita	(Fe <sub>8</sub> Ti <sub>4</sub> ) Na <sub>9</sub> Ca <sub>11</sub> Ce <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub>
Semarskita	(Y, Er, Ce, La, U, Ca) (Cb, Ta, Ti, Sn, W) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Thalenita	Y <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Thortveitita	Sc <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Torianita	(Th, U)O <sub>2</sub>
Torita	ThSiO <sub>4</sub>
Tysonita	CeF <sub>3</sub>
Weinschenkita	(Y, Er)PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O
Wiikita	(Y, Yb, Dy, TCe, U) (Ti, Cb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Xenotima	YPO <sub>4</sub>
Zirkelita	(Ca, Fe <sup>2</sup> , Ce)O <sub>2</sub> (Zr, Ti, Th)O <sub>2</sub>

A monazita é, ao mesmo tempo, o mais importante minério de tório e a fonte principal de terras raras. Contém de 1 a 20 % (geralmente, de 5 a 9 %) de tório, algum urânio, 60 a 70 % de terras raras, e 28 % de anidrido fosfórico. Fornece, também mesotório e hélio.

#### 4. GEOQUÍMICA DAS TERRAS RARAS

Todos os metais das terras raras acham-se presentes nas fases metálica e rochosa dos meteoritos, e também na atmosfera solar, onde somente o érbio e o hólmio não puderam ainda ser identificados. O ítrio, o cério, o lantânio e o neodímio são tão frequentes na parte superior da litosfera terrestre quanto o colúmbio e o cobalto, e mais abundantes que o chumbo, o tálio, o germânio, o arsênico, o háfnio, o tântalo, o tungstênio, o bromo, o antimônio, o bismuto, o cádmio, a prata, etc. No quadro abaixo, de Rankama e Sahama (1) (1950), acha-se discriminada a abundância dos metais das terras raras, expressa em gramas por tonelada:

	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sa	Eu
Meteoritos .....	5,80	6,13	2,05	2,30	0,97	3,37	1,27	0,30
Folhelhos .....	—	28,1	18,3	46,1	5,53	23,9	6,47	1,06
Rochas ígneas .....	2,7	17,4	19,6	24,7	—	18,1	—	—
	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Meteoritos .....	1,84	0,58	2,34	9,66	1,93	0,34	1,85	0,60
Folhelhos .....	6,36	0,91	4,47	1,15	2,47	0,20	2,66	0,75
Rochas ígneas .....	—	—	—	—	—	—	—	—

Os lantanídeos de número atômico ímpar são bem mais abundantes que os de número par.

Todos os metais das terras raras são fortemente litófilos e oxífilos.

Embora elemento tipicamente disperso, o ascândio concentra-se de preferência nos minerais ferro-magnesianos — piroxênios, anfibólios e biotita — onde se observam teores geralmente de 3 a 30 g/t. Nos granitos e pegmatitos, acumula-se na cassiterita, volframita, euxenita, monazita, eschinita, keilhauíta e zinnwaldita. Os maiores teores aparecem nas rochas básicas e ultra-básicas: até 116 g/t nos piroxenitos (Goldschmidt, 1939), e até 150 g/t nos piroxênios das rochas básicas, e até 200 g/t na hornblenda e nos hornblenda-gabros (Ofteidal, 1943). Na moscovita, biotita e berilo de pegmatitos graníticos chega a ultrapassar 1000 g/t. Atinge 2000 g/t na zinnwaldita. As rochas mais ricas em escândio são os pegmatitos de Impilahti, na Fenoscândia Oriental, com 1 %  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (Crookes, 1908). São conhecidos dois silicatos de escândio: a thortveitita, encontrada no sul da Noruega e Madagascar, com 42 %  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ; e a bazzita, que contém igualmente os outros metais das terras raras, sódio e ferro.

O ítrio e os lantanídeos são, também, elementos dispersos e, com frequência, ocorrem associados ao escândio, embora menos acentuadamente irmanados. Substitui, o escândio, o ferro divalente e o magnésio nas estruturas minerais, o que não se dá com os lantanídeos e o ítrio, que têm raios iônicos maiores. Estes últimos tendem a concentrar-se nos licores residuais e aparecem com relativa abundância nos pegmatitos graníticos, foiaíticos e gábricos. O ítrio e os lantanídeos demonstram pronunciada afinidade pelo fósforo e pelo flúor. O ítrio, sobretudo, acha-se normalmente presente na série de óxidos complexos de colúmbio, tântalo, titânio e urânio, peculiares dos pegmatitos graníticos e foiaíticos. Ocorrem ainda em alguns silicatos, boro-silicatos, titano-silicatos e zircono-silicatos de cálcio e metais alcalinos.

A abundância relativa das terras raras varia de maneira considerável, de um mineral para outro, devido à cristalização fracionada. As associações completas incluem dois tipos: o da apatita, no qual as terras céricas predominam, e o da itrofluorita, onde o grupo do ítrio excede ou iguala o do cério. Nas associações seletivas também pode haver predomínio de um grupo ou de outro. No tipo monazita-allanita predominam os metais das terras céricas, do lantânio ao samário, mas com ainda apreciável quantidade de gadolínio e do resto do grupo ítrico. Outros tipos são caracterizados pela xenotima (Er Yb, Dy, Gd), thalanita (Dy, Er, Yb, Gd, Sm), thorveitita (Yb, Lu, com Ye Sc) e wiikita (Y, Yb, Dy).

Conquanto os metais das terras raras denotem propensão para formar minerais independentes, podem ser arrastados também pela apatita, fluorita, esfena, zirconita, e talvez biotita. As apatitas dos pegmatitos gábricos são, em geral, mais ricas em terras raras que as dos pegmatitos graníticos. A apatita, a monazita e a allanita são os principais carreadores das terras céricas; a fluorita, a esfena e gradana, os dos metais do grupo ítrico.

A xenótima e, sobretudo, a monazita, mercê de sua grande resistência ao intemperismo, acumulam-se nos resistatos. Graças à relativamente baixa resistência ao transporte, evidenciada por Freise (1931), a monazita tende a acamar-se nas praias marítimas e fluviais, constituindo depósitos com valor econômico. O ítrio e os lantanídeos, ao se solubilizarem, são arrastados e precipitados com os carbonatos; em menor porção, o escândio. O ítrio concentra-se notadamente, durante a solução dos carbonatos, nos resíduos insolúveis; igualmente nas carapaças dos animais marinhos.

Observa Guimarães (2) (1950) que a monazita é um dos minerais mais resistentes ao metamorfismo hidrotermal, e serve por conseguinte melhor que os columbo-tantalatos de terras raras e urânio, como indicador do tempo geológico.

Rankama e Sahama (1) (1950) atribuem a escassez do európio nos minerais das terras ao fato d'ele ocorrer na natureza geralmente no estado bivalente. O  $\text{Eu}^{2+}$  (raio iônico 1,24 kX) acompanha o estroncônio (1,27 kX) e se concentra nos seus minerais e nos de chumbo (1,32 kX). A estroncianita e a piromorfita chegam a conter 360 g/t. Eu, a esfena até 340 g/t e as fluoritas hidrotermais até 400 g/t.

Do ponto de vista geoquímico o tório ocupa uma posição intermediária entre os lantanídeos, o zircônio-háfnio, e o urânio. Concentra-se na parte mais externa da litosfera e mostra-se mais abundante nas rochas ígneas ácidas (13 g/t) do que nas básicas (3-4 g/t). Sendo isomorfos o  $\text{ThSiO}_4$  e o  $\text{ZrSiO}_4$  parte do tório na litosfera superior é incorporada na estrutura da zirconita; outra parte, talvez a maior, é retida na monazita, allanita e outros minerais das terras raras. Embora tetravalente, o tório é capturado nas estruturas dos lantanídeos devido à proximidade das dimensões iônicas. As rochas ígneas contêm, em média, três vezes mais tório do que urânio. O inverso dá-se na água do mar.

## 5. AS TERRAS RARAS NA BIOSFERA

Tem sido verificada a presença das terras raras nas algas, no arroz, no fumo, na beterraba, no tremoço, nas folhas de certas árvores como a castanheira, o bôrdio e a noqueira (Robinson, 1938), nas cinzas do carvão, etc.. O teor de escândio nas cinzas do carvão atinge a 3 g/t; o de ítrio não chega a 8 g/t (Goldschmidt e Peter, 1931, 1933). A concentração do lantânio no solo vai até 500 g/t; do mesmo modo a do ítrio (Mitchell, 1944). Drobkov (1937) admite como essencial ao crescimento das ervilhas uma quantidade mínima de terras raras. Assinala-se o escândio como um dos constituintes dos animais marinhos (Noddack e Noddack, 1940).

Milton, Murata e Knechtel (3) (1944) consideram que a weinschenkita da Virgínia, nos Estados Unidos, se tenha depositado de águas meteóricas, como resultado da extração dos metais das terras raras

pelas castanheiras, concentração nas fôlhas, deposição no solo, adsorção na limonita e psilomelana, e precipitação como fosfato.

Segundo Mitchell (1944), o conteúdo em tório no solo pode elevar-se até 0,1 %. Em tais casos é possível que tenha havido enriquecimento por um processo biológico. É sabido que o tório em pequenas quantidades estimula o desenvolvimento das plantas (Rankama e Sahama, 1950). Sobre os montes de monazita deixados ao tempo, cresce normalmente a vegetação.

## 6. DEPÓSITOS BRASILEIROS DE MONAZITA

A primeira ocorrência de monazita descrita no Brasil foi a de Salobro, em Canavieiras, Baía, onde aquêle mineral aparece como um dos satélites do diamante (4) (Gorceix, 1884). Estudos posteriores de Derby (5) (1889), revelaram que a monazita ocorre com elemento acessório dos granitos, pegmatitos, gneisses, e alguns xistos cristalinos, por tôda parte no Brasil, e concentra-se nos aluviões. Apenas certos pegmatitos e, sobretudo, os depósitos aluviais das praias e dos alveus dos rios apresentam interesse econômico.

Estendem-se os depósitos praiereiros de areia monazítica desde Porto Seguro, no sul da Baía, até à foz do Paraíba, no norte do Estado do Rio. As zonas mais mineralizadas são, do norte para o sul: Comoxatiba, Guaratiba, Ponta da Barreira, Prado e Mucuri, na Baía; Saí, Jacarépe, Carapebus, Ponta da Fruta, Guarapari, Meaípe, Maimbá, Parati e Siri, no Espírito Santo; e Barra do Itabapoana, no Rio de Janeiro. As concentrações mais ricas em monazita são as do Espírito Santo, com centro em Guarapari. Para o norte e para o sul, aumenta a proporção de ilmenita. As percentagens maiores de zirconita observam-se em Ponta da Fruta e na Barra do Itabapoana. Manchas menores, de areias mais pobres, são assinaladas no litoral do Rio Grande do Norte (Cunha, Tibau e Estrêlas), Paraíba (Cabedelo), São Paulo (Caraguatuba e Ilha de São Sebastião), etc..

Origina-se a monazita dos pegmatitos, granitos, gneisses e migmatitos do complexo arqueozóico. Pela decomposição dessas rochas a monazita, muito resistente ao intemperismo, é arrastada pelos cursos d'água até ao litoral e aí sofre, de novo, longo processo de concentração pela ação das vagas. Com o avançamento da praia, os depósitos permanecem nas restingas, enterrados de 2 a 6 metros sob as dunas. As jazidas mais ricas ficam no sopé das barreiras. Conforme Arrojado Lisboa (6) (1903), os arenitos terciários contêm monazita residual de uma primeira fase de concentração nerítica. Contribuem para a elevada concentração da monazita nas praias, junto das barreiras: 1) preconcentração da monazita no arenito; 2) grande friabilidade dessa rocha, que forma falésias com 20 a 30 metros de altura; 3) movimento de vai-vém das ondas, arrastando, do mar para a praia, os minerais densos (ilmenita, rutilo, zirconita, monazita, etc.); 4) arrastamento lateral dos

grãos de quartzo em virtude das correntes paralelas à costa, por vêzes muito fortes.

A existência dessas concentrações excepcionalmente altas, atingindo até 60 % de monazita em leitos centimétricos, na superfície da praia ou em pequenas profundidades, permitiu extrair-se a monazita por preços irrisoriamente baixos, no comêço da exploração. Num regime de lavra ambiciosa, em que faltou o contrôlo do poder público, foi alienada por preços vis tôda a nata de nossos depósitos.

Em 60 anos (1890/1950) de mineração desordenada, foram exportadas cêrca de 80.000 toneladas de concentrados de monazita. A reserva que nos resta é de rejeitos antigos, de depósitos pobres ou profundos, de onerosa extração. As repetidas afirmativas, dos interessados na exportação do minério em bruto, de que nossas reservas de areias monazíticas atingem a milhões de toneladas, foram sempre tendenciosas, referindo-se não à monazita recuperável, mas a areias com menos de 1 % de minerais pesados, que não podem ser beneficiadas economicamente nas condições atuais.

Conforme as observações de M. A. Lisboa (6) (1903), L. J. Moraes, R. L. Silva, S. F. Abreu, J. E. Gillson (1948), R. Frahy (7) (1948), A. Schneider e O. H. Leonardos (8), que estudaram mais pormenorizadamente nossas jazidas de areias monazíticas, a reserva total de monazita pura nos depósitos praeiros da Baía, Espírito Santo e Rio de Janeiro não deve ser menor que 100.000 toneladas, nem maior que 150.000 toneladas. Essa reserva é assim discriminada: 1) — 12.000 a 15.000 toneladas de monazita correspondente às «areias ricas», com 12 a 25 % de monazita na fração densa, ou 3 a 5 % em relação à areia bruta; 2) — 50.000 a 60.000 toneladas correspondentes às «areias médias», com 7 a 15 % de monazita no concentrado de minerais pesados, ou 1 a 3 % em relação à areia natural; 3) — cêrca de 75.000 toneladas de monazita contida nas «areias pobres», com menos de 7 % de monazita recuperável na fração densa, e com média inferior a 1 % em relação à areia bruta. Ao preço atual da monazita, somente os depósitos dos dois primeiros tipos, totalizando 62.000 a 75.000 toneladas, podem ser lavradas economicamente. E' possível, entretanto, que no futuro torne-se interessante a mineração das próprias areias pobres e — quem sabe? — até dos arenitos das falésias, os quais encerram geralmente, no Espírito Santo e Baía, de 0,01 até 0,1 % de monazita.

Os depósitos fluviais mais interessantes são os do rio Paraíba e seus afluentes, no Estado do Rio de Janeiro (Santa Isabel do Rio Preto) e em Minas Gerais (Sapucaia, Além-Paraíba, Mar-de-Espanha, e Palma), e outros cursos d'água em Minas Gerais (Jequitinhonha e Doce), no Espírito Santo (rio Doce, lagoa Juparanã), na Baía (Jequitinhonha, Pardo, Paraguaçu), e Mato Grosso.

Pegmatitos com monazita são referidos no Rio Grande do Norte (Itaretama), na Paraíba (Borborema), na Baía (Conquista, Itambé, Brumado, Prado), no Espírito Santo (Castelo), no Estado do Rio (Paraíba do Sul, Marquês de Valença), em Minas Gerais (Ubá, Pomba,

Juiz de Fora, Lima Duarte, Muriaé, São João del Rei, Prados, Conceição, Guanhões, Sabinópolis, Itabira, Teófilo Otoni, etc.), em São Paulo (Itapecerica, Santo André, Cunha), em Goiás (Catalão), etc. Os cristais do pegmatito da Gruta das Generosas, em Sabinópolis, Minas Gerais, atingem 500 gramas.

## 7. PRODUTORES E BENEFICIADORES DE MONAZITA NO BRASIL

Nos últimos anos, produziram e beneficiaram monazita: — «Monazita e Ilmenita do Brasil, MIBRA, S. A.», Vitória, Espírito Santo; — «Foote Minérios Industrializados Ltda. (FOMIL)», Vitória, Espírito Santo; — «Sociedade Itabapoana de Mineração», Niterói, Rio de Janeiro; — «Sulba S. A.», Distrito Federal.

### *Exportação brasileira de monazita*

Ano	Peso toneladas	Valor Unitário		Valor Total	
		US\$/t	Cr\$/t	US\$/t	Cr\$/t
1940	180		742,70		133.691,00
1941	854		743,50		634.994,00
1942	1.430		988,40		1.413.379,00
1943	1.550		832,80		1.290.893,00
1944	400	40,00	735,35	16.000,00	294.140,00
1945	1.031	40,00	746,90	41.242,00	770.109,00
1946	1.250	49,60	910,20	68.750,00	1.157.750,00
1947	2.000	100,50	1.849,20	201.000,00	3.698.400,00
1948	1.605	118,20	2.127,90	189.700,00	3.414.600,00
1949	2.255				
1950	1.000				

A exportação de monazita no período acima foi feita, quase exclusivamente, pela MIBRA e pela FOMIL, para suas subsidiárias nos Estados Unidos. Segundo o Dr. J. L. Gillson, que estudou pormenorizadamente nossos depósitos de ilmenita e monazita, no interesse da E. I. DuPont de Nemours (Relatório de 27 de agosto de 1948, p. 41), uma usina de beneficiamento de areia, construída na região mais favorável do Brasil, permitiria produzir monazita para ser vendida aos Estados Unidos a US\$ 400 a tonelada, com o lucro bruto de 20 % em relação ao investimento inicial de US\$ 360.000, — não deduzidas as taxas.

A Lei n.º 1310, de 15 de janeiro de 1951, proibiu a exportação de minérios de urânio e tório.

## 8. FONTES ESTRANGEIRAS DE TERRAS RARAS E TÓRIO

*Estados Unidos* — A monazita ocorre nos *placers* auríferos da Carolina do Norte (condados de Alexander, Burke, Henderson, M'Dowell,

Mecklemburg e Rutherford) e da Carolina do Sul. Substancial produção de monazita foi conseguida desses depósitos, de 1890 a 1910.

Na Flórida, a Humphreys Gold Corporation vem lavrando desde 1945, como contratante da Rutile Mining Co., 7500 toneladas diárias de areias das extensas restingas de Jacksonville, para recuperação de ilmenita, rutilo e zirconita, por meio de 316 espirais Humphreys, separadores eletrostáticos Carpcó e separadores magnéticos. Um instalação maior, da E. I. DuPont de Nemours, acha-se em funcionamento desde 1950 em Trail Ridge, sessenta quilômetros a sudoeste de Jacksonville. Conquanto os teores de monazita em ambos os depósitos sejam muito baixos, o mineral pode ser recuperado, como sub-produto, da parcela magnética não-condutora de eletricidade.

Já Lindgren, em 1897, referia-se à presença relativamente abundante da monazita nas areias auríferas do sul de Idaho. Estimativas recentes admitem a existência de 150 milhões de metros cúbicos de cascalho aurífero nos condados de Idaho e Boise, com 0.2 a 0.3 % de monazita (Mining Congress Journal, vol. 34, n. 7, junho 1948). Os concentrados de minerais densos, das dragas, são tratados na usina de Rare Earths Inc., em McCall. As primeiras 40 toneladas de monazita obtidas em 1948 foram processadas na usina Lyndsay Light & Chemical Co., em West Chicago, Illinois. A Universidade de Idaho está conduzindo experiência de separação e purificação dos metais das terras raras da monazita, pelos métodos de troca iônica.

A ocorrência de bastnasita na Califórnia foi mencionada por Hillebrand em 1899. Em 1949 a atenção voltou-se para a redescoberta desse mineral em Mountain Pass, no condado de San Bernardino. Investigações levadas a efeito em 1950, por geólogos do U. S. Geological Survey, revelaram, a sudoeste do achado original, novos veios e massas de uma rocha bário-carbonatada, numa área de 30 quilômetros quadrados. O depósito mais promissor encerra uma reserva inferida da ordem de 50.000 toneladas de minerais de terras raras, principalmente bastnasita (Engineering and Mining Journal, maio 1951).

*Noruega* — Pegmatitos com minerais tório-uraníferos e de terras raras são conhecidos em muitos pontos da Noruega. A produção desses minérios data desde a segunda metade do século XIX, mas foi sempre muito pequena.

*União Soviética* — Minerais tório-uraníferos são assinalados na Carélia, Montes Urais, Cáucaso e Ásia Central (Tashkent, Tadzhik e Fergana).

*Índia* — Areias ilmeníticas e monazíticas encerrando perto de dois milhões de toneladas de monazita são conhecidas na extensa área de terrenos criptozóicos da Índia. Os depósitos mais importantes acham-se em Travancore, no extremo sudoeste da península, notadamente nos arredores do porto de Quilon e na costa que vai de Trivadrum até ao Camo Comorim. Estas jazidas encerram cerca de 300 milhões de toneladas de «black sands», constituídas de 40 % de ilmenita, 3 a 4 % de zirconita, e 0 a 12 % de monazita. A ilmenita é classificada em

dois tipos: a mais pobre, com 57 a 58 % de  $TiO_2$ , e a mais rica com 62 a 63 %. O total de monazita de Travancore é estimado em 1.500.000 toneladas, com um teor médio de 9.3 a 9.7 % de  $ThO_2$ . (Charles de Rodhen).

De 1911 a 1938 a Índia produziu e exportou 34.593 toneladas de monazita. Porém, desde que se tornou independente, pôs embargo à exportação de monazita e está construindo uma usina para tratamento químico desse minério, a qual será operada pelo próprio Governo indú.

*Ceilão* — Além de pequenas ocorrências de torianita e zirkelita, possui o Ceilão substanciais depósitos de monazita, que produziram, de 1918 a 1929, 773 toneladas. Em 1936 foram exportadas 488 toneladas para os Estados Unidos.

*Maláia* — No período de 1942 a 1945, durante a ocupação japonesa, foram obtidas, como sub-produto da mineração dos aluviões estaníferos, 224 toneladas de concentrado de monazita e 210 toneladas de mistura de monazita e zirconita.

*Coréia* — Durante a Segunda Guerra Mundial, a Coréia não somente tornou-se produtora de monazita, como também passou a processá-la e a produzir Mischmetal. Por decreto de 1.º de abril de 1948, do Governo Provisório Sul-Coreano, foi assegurada a exportação de monazita.

*Indonésia* — A ilha de Billiton, no Mar de Java, produziu, de 1936 a 1938, 1.431 toneladas de monazita.

*Nova Zelândia* — Conta esse Domínio, como fontes de minérios radioativos, os resíduos das dragagens para ouro, na costa ocidental da Ilha Sul. O concentrado de uma draga revelou 3 % de urano-torita, com 12 %  $UO_2$  e 70 %  $ThO_2$ ; 8 % do concentrado de outra draga era monazita contendo 2 %  $UO_2$  e 4 %  $ThO_2$ . De acordo com a Lei de Energia Atômica, de 7 de dezembro de 1945, o Governo da Nova Zelândia controla a mineração e o processamento de urânio e tório.

*Austrália* — A monazita foi assinalada por Anderson (1904) em Blaterarm Creek, perto de Deepwater, em Nova Gales do Sul. Em algumas praias de Queensland conseguem-se concentrados de zirconita, ilmenita e rutilo, com 0.5 % de monazita, em média. A exportação desses concentrados mistos foi proibida em março de 1948, com base na Lei de Energia Atômica de 1946, obrigando-se o Governo a adquirir a monazita para estocagem. Menciona o relatório de 1948, do Conselho de Pesquisas Científicas e Industriais, que estudos de laboratório e numa usina piloto estavam sendo feitos visando o processamento da monazita na Austrália.

*Moçambique* — Pegmatitos com samarskita, columbita e monazita têm sido lavrados no Alto Molucúê, distrito de Tete (Schneider).

*Madagascar* — Em muitas localidades de Madagascar têm sido encontrados pegmatitos com columbo-tantalatos de terras raras, urânio e tório.

## 9. TRATAMENTO QUÍMICO DA MONAZITA

Para a separação do tório das terras raras, a monazita é finamente pulverizada e atacada pelo ácido sulfúrico ou pela soda cáustica, a quente. No primeiro tratamento, o tório é precipitado sob a forma de pirofosfato e as terras raras (TR) no estado de sulfato duplo de TR e sódio. No segundo caso formando-se óxidos de TR e de tório, os quais são insolúveis n'água, e fosfato trissódico que é recuperado da solução aquosa por cristalização. Os óxidos são depois atacados pelo HCl, separando-se, por hidrólise preferencial, o hidróxido de tório. Há vários processos para o refino dos sais de tório.

A separação das terras raras é dificultada pela semelhança das propriedades químicas. Oxidado ao estado tetravalente, o cério deixa-se separar das TR<sup>3</sup>, pela hidrólise. O európio, o samário e o itérbio podem ser reduzidos ao estado bivalente e separados como sulfatos, pouco solúveis que são.

Processam a monazita as seguintes firmas: — *Brasil*, «ORQUIMA Indústrias Químicas Reunidas S. A.», São Paulo; — *Estados Unidos*, «Lindsay Light & Chemical Co.», West Chicago, Illinois; «Maywood Chemical Co.», Maywood, N. J.; «Wolff-Alport Chemical Corp.», Brooklyn, N. J.; «Rare Earths Inc.», Paterson, N. J.; — *França*, «Société de Produits Chimiques de Terres Rares», Paris; — *Alemanha*, «I. G. Farbenindustrie», Bitterfeld; — *Inglaterra*, «Thorium Ltd.»; — *Austria*, Treibacher Chemische Werke, A. G., Treibach.

Produzem compostos de terras raras, de alta pureza, além dos processadores de monazita acima indicados, mais as seguintes firmas americanas: «F. A. Lewis», Hampstead, N. Y.; «Research Chemicals Inc.», Burbank, Cal.; Edmond C. Botti», Brooklyn, N. Y..

## 10. APLICAÇÕES DOS METAIS DAS TERRAS RARAS E SUAS LIGAS

As aplicações dos metais das terras raras isolados são exíguas, sobretudo devido ao alto preço de sua separação.

*Cério metálico* — Conquanto descoberto em 1803, somente em 1911 foi conseguido o cério em estado de relativa pureza (98 %), pelo Dr. Alcan Hirsch na Universidade de Wisconsin. Ponto de fusão: 800°C. Ponto de ebulição: 1400°C. Densidade a 20°C: 6,9. Calor específico: 0,05 cal/g/°C. Resistividade a 20°C 4,10 microohm por cm. São de cério puro os «getters» dos tubos de vácuo, cuja função é absorver o oxigênio remanescente após o fechamento do vidro.

*Escândio* — O escândio é obtido da thorveitita, encontrada apenas nos pegmatitos da Noruega (Satersdalen) e Madagascar (Befanamo), e contém até 42 % de Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. É um metal prateado, com ponto de fusão de 1400°C e ponto de ebulição de 2400°C. O nitreto de escândio é azul escuro, bom condutor e funde a 2600°C. Densidade ligeiramente acima da do alumínio. Não tem ainda aplicação industrial. Poderão

produzir-se, no futuro, algumas centenas de quilogramas de escândio recuperado do tratamento dos minérios de tungstênio, glícínio, tântalo, colúmbio e terras raras.

Compostos de escândio são produzidos nos Estados Unidos pela «Fairmount Chemical Co.», Newark, N. J., e pela «F. A. Lewis», Hampstead, N. Y.

*Gadolínio* — É um dos quatro elementos ferro-magnéticos, sendo os outros Fe, Ni e Co. Os demais metais das terras raras são para-magnéticos, com as seguintes susceptibilidades magnéticas ( $\times 10^6$ ): Th — 0,11; Pa — 2,6; Y — 5,3; Ce — 15,0; Pr — 25,0; Nd — 36,0.

*Lantânio, neodímio, praseodímio, etc.* — A «Cooper Metallurgical Associates», de Cleveland, Ohio, prepara cério, lantânio, neodímio e praseodímio metálicos. A Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos tem produzido em seu laboratório, no State College, em Ames, Iowa, apreciáveis quantidades de lantânio, cério, neodímio e praseodímio metálicos espectrograficamente puros; também pequenas quantidades de lutécio, itérbio e outros metais das terras raras, em estado de alta pureza.

*Tório* — Funde a cerca de 1850°C; ponto de ebulição — 3500°C; densidade a 20°C: 11,5; resistividade: 18 microhoms por cm; coeficiente de expansão  $12,3 \times 10^6$ . Fabricam compostos de tório, nos Estados Unidos: «Lindsay Light & Chemical Co.», West Chicago, Illinois, e «Wolff-Alport Chemical Corp.», Brooklyn, N. Y.. Tório metálico com 99,5 % de pureza é produzido pela «Westinghouse Electric Corp.», Pittsburgh, Pa., e pela «Metal Hydrides Inc.», Beverly, Mass. Filamentos toriados são empregados em certas válvulas eletrônicas, exercendo o tório a função eletro-emissiva.

*Cério-liga, metal misto ou mischmetal* — As terras raras extraídas da monazita so reduzidas em conjunto, dando lugar à liga que os alemães designam de *Mischmetall* e os americanos de *mix-metal*, *misch-metal* e *cerium master alloy*. Sua composição é, geralmente, a seguinte: 45-50 % de cério, 22-25 % de lantânio, 15-18 % de neodímio: 8-10 % de praseodímio, térbio, ítrio e samário; 0-5 % de ferro; e 0,1-0,3 % de silício.

Como os diferentes metais das terras raras têm propriedades metalúrgicas semelhantes, não há, em geral, interêsse em separá-los. S. Smirnow-Verin comprovou que as ligas cério-alumínio preparadas com cério puro apresentam a mesma micro-estrutura e as mesmas propriedades físicas e químicas das ligas produzidas com metal misto.

O metal misto guarda a aparência do aço e a dureza do estanho. Entra em ignição em atmosfera de oxigênio entre 135° e 177°C. Pêso específico: 6,92. Calor específico: 0,05112. Maleável e dútil. Possui boa condutividade térmica e calor de fusão razoavelmente alto. Funde entre 624° e 635°C. Liga-se a quasi todos os metais. A frio é pouco afetado pela água, mas decompõe-na facilmente na temperatura de ebulição. Combina-se prontamente com os halógenos e dissolve-se nos

ácidos diluídos. O hidreto de cério forma-se a 345° e o nitreto a 1000°C.

Ativo desoxidante, o metal misto é utilizado nas fundições como depurador, graças à sua grande afinidade para com o oxigênio, o nitrogênio e o enxofre.

*Ligas ferro-cério pirofóricas* — As ligas ferro-cério pirofóricas, descobertas por Auer von Welsbach em 1903, são preparadas a partir do Mischmetal, ou diretamente pela eletrólise do cloreto anidro fundido, utilizando-se como catodo o ferro fundido e o carvão como anodo. Contêm 15 a 40 % de ferro.

As ligas pirofóricas encerram geralmente 15 a 25 % de ferro, 2 % de magnésio, zinco e por vezes também estanho e cobre. Atritadas com um abrasivo, produzem copiosas faíscas. São utilizadas como «pedra» dos isqueiros comuns e dos acendedores das lâmpadas e maçaricos de acetilênio.

## 11. PRODUTORES DE MISCHMETAL E FERROCERIUM

*Alemanha* — «Promethus, A. G.», Kempten, Baviera; «Pyrofore, A. G.». *Áustria* — «Treibacher Chemische Werke, A. G.», Treibach. *Bélgica* — «Société Anonyme de Pont Brulé», perto de Bruxelas. *Canadá* — «Shavinigan Chemicals Ltd.», Shavinigan Falls, Quebec (Mischmetal); Belgo-Canadian Mfg. Co., Montreal (ferro-cério). *Coréia* — «Nihon Magnesite KK», Joshin-Fu, Kankyohokudo». *Estados Unidos* — «Cerium Metals Corp.», Niagara Falls, NY; «Cooper Metallurgical Laboratory», Cleveland, Ohio; «Cigalite Flint Co.», New York, NY; «General Cerium Co.», Edgewater, N.J.; «Kent Metal & Chemical Works», Edgewater, N.J.; «Matchless Metals Co.», Flushing, N.J. (flint); «New Process Metals Corp.», Newark, N.J. *Inglaterra* — «Imperial Chemical Industries Ltd.», Liverpool; «Chemo Metals Ltd.», Londres; «British Flint and Cerium Mfrs, Tonbridge, Kent; «Sibor Hard Metals Ltd.», Londres. *Portugal* — «Manacerium Ltda.», Lisboa.

Duas empresas estão sendo instaladas no Brasil para a produção de metal misto: a «Oxymetal», em Niterói, Estado do Rio de Janeiro e a «Indústria de Beneficiamento de Areia Monazítica Ltda.» (IBAM), em Belo Horizonte, Minas Gerais.

## 12. PREÇOS DOS METAIS DAS TERRAS RARAS, SUAS LIGAS E COMPOSTOS

Segundo o Minerals Yearbook, 1948, vigoraram nesse ano os seguintes preços médios por libra-pêso: Mischmetal, \$4; ferrocérium flints \$8; cério metálico \$50; lantânio \$175; neodímio \$200; praseodímio \$750. Cloretos de terras raras, óxidos de terras raras, «óxido de cério» e «hidrato de cério», sob a forma de sais primários («sais rosados»), em grandes lotes: \$0,75 a \$2,00; óxido de lantânio, com 99,9 % de pureza, \$10 (em lotes de 100 lb); óxido de neodímio, 99 %, \$75.

Foram os seguintes os preços, nessa mesma ocasião, dos seguintes produtos: óxido de praseodímio, 99,9 %, \$3 a grama; óxido de samário, 99,9 %, \$7 a grama (100 gramas); óxido de ítrio, 99 %, \$2,50 a grama; óxido de gadolínio, 99,9 %, \$40 a grama; óxido de európio, 99,5 %, \$400 a \$850 a grama; óxido de escândio, 99 %, \$50 a grama; sulfato de escândio de alta pureza, \$17,50 a grama (10 g). Oxalatos (F. A. Lewis, Hempstead, NY): de térbio, 99,7 %, \$75 por miligrama; de hólmio, 90 %, \$65 por 100 mg; de érbio, 95 %, \$500 a grama; de lutécio, 99,8 %, \$160 por 100 mg; de itérbio, 99,8 % \$200 a grama; de túlio, 99,9 %, \$1500 a grama.

Em junho de 1951, o cloreto de cério brasileiro estava sendo vendido na Europa a \$1.25 por libra; e a \$1,00 fob Estados Unidos, pagando ali 35 % «ad valorem» de direitos aduaneiros.

Em 1946 o tório metálico, com 98/99 % de pureza, era cotado na Inglaterra a 3-1/2 *d* a grama (lotes de 1lb); o nitrato de tório cotava-se nos Estados Unidos a \$2 a libra. Desde que foi anunciado o interesse do tório para a energia atômica, o preço do nitrato subiu para \$10 a libra, mantendo-se estacionário nesse valor.

### 13. AÇOS-LIGA AO CÉRIO

O primeiros ensaios de introdução do cério nos aços foram mal sucedidos, devido a não se dispor do metal suficientemente puro. Analisando os trabalhos de Vogel (9) (1917) e outros, sobre os aços ao cério, ao cério-cromo, e ao níquel-cério-cromo, Gillet e Mack (10) (1925) salientam que as impurezas não metálicas do cério utilizado viciavam as propriedades observadas. «Sendo facilmente oxidável, o cério é difícil de ser introduzido no aço sem segregação ou perda; previne êle a formação de FeS, mas como parte do CeS<sub>2</sub> permanece no aço, êste propende a excessiva «sujeira». Harris (11) (1935) insiste que, quando se adiciona cério ao aço para a depuração de O, S e N, os compostos formados são de difícil eliminação, daí não ter havido interesse maior por êsse «scavenger».

Não se deixaram entretanto, os alemães, vencer pelas dificuldades, e fizeram enormes progressos no uso do cério — afirmou John A. Livingston, presidente da Cerium Metals Corp., o qual, juntamente com Henry Kent, sócio da Kent Metal & Chemical Works, constituíram a comissão que investigou, em 1945, por parte do Technical Industrial Intelligence Branch, do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, as atividades da Alemanha no setor das terras raras. Segundo a revista «Light Metal Age», de julho de 1946, conseguiram os técnicos germânicos uma recuperação dos metais da monazita 20 % mais elevada que a obtida nos Estados Unidos, e desenvolveram uma nova técnica para trabalhar o cério sob forma de pó. Revelou-se então que a principal procura do cério era para a produção de aços-liga e ligas com alumínio e magnésio, em peças fundidas para turbinas de jato-pro-

pulsão, super-compressores de avião, e outros equipamentos que exigem grande tensões em temperaturas elevadas.

Repete Clark (12) 1950) que o ferro cério e o Mischmetal são usados na desoxidação, refinamento da granulação e estabilização dos carbonetos, e para aumentar a resistência do aço, à fluência («creep») e à oxidação em temperaturas elevadas.

#### 14. FERRO FUNDIDO NODULAR AO CÉRIO

Sensacionais foram as experiências de Morrogh e Grant (13) (1948) de obtenção do ferro fundido maleável por meio de adições controladas de cério (Mischmetal).

Consiste o processo em dissolver liga de cério em quantidades adequadas, imediatamente antes do vazamento. O ferro fundido a ser tratado carece, entretanto, de certas características, entre as quais a de solidificar-se no estado cinzento, sem a adição do cério, e de ser hipereutético.

Quando o teor de níquel excede de 10 %, o teor de silício pode ter qualquer valor, mas é preferível que esteja entre 2.3 e 7.0 %; o teor de enxôfre deve ser o menor possível e após o tratamento não deve ultrapassar 0.02 %; e o de fósforo não deve exceder de 0.6 %, sendo preferível que fique abaixo de 0.1 %. Depois da peça vazada, o teor em cério deve exceder 0.02 %. O cério age inicialmente como dessulfurante enérgico, não se combinando com o ferro antes do enxôfre baixar até 0.02 %. A reação dessulfurante dura apenas alguns segundos. O sulfeto de cério, sendo relativamente insolúvel no ferro fundido, flutua na superfície do banho e é escorificado. Quando o cério é adicionado em quantidade mais do que suficiente para reduzir o enxôfre a menos de 0,02 %, ou quando o teor em enxôfre é inferior a esse valor, o excesso de cério dissolve-se no ferro e atua como estabilizador de carbonetos, obrigando o ferro a solidificar-se no estado branco. Se o cério não ultrapassa 0,06 %, imediatamente após a solidificação a cementita começa a decompor-se depositando mais grafita sobre os nódulos já existentes no ferro hipereutético.

Com o tratamento simples acima referido o metal apresenta, além dos nódulos, veios de grafita. Um melhoramento posterior permitiu obter uma estrutura grafitica inteiramente nodular: consiste esse segundo processo em elevar o teor em cério, e evitar o estado branco pela inoculação de um elemento grafitizante, como o ferro-silício de 80 %.

Para um ferro fundido nodular com 3,76 % de C, 2,48 % de Si, 0,85 % de Mn, 0,012 % de S, 0,051 % de cério e 0,029 % de P preparado por esse segundo processo, encontraram Morrogh e Grant as seguintes características mecânicas: resistência à tração 45-55 kg/mm<sup>2</sup>; dureza Brinell 213-249; resiliência 7,5-16,5 kgm. Um ferro fundido comum perlítico, de baixo teor em fósforo, revelaria nos mesmos ensaios a resiliência de apenas 2,8 kgm.

Segundo os referidos pesquisadores, o ferro nodular ao cério deve ser considerado um novo material, com propriedades mecânicas e físicas sob muitos aspectos diferentes das dos ferros fundidos cinzentos de alta resistência e dos ferros fundidos maleáveis.

A dificuldade da produção comercial do ferro fundido ao cério está na obtenção de um produto com baixo teor em enxôfre e alto em carbono. Salienta, entretanto, Tomio Kitice (14) (1949) que o gusa de carvão de madeira está perfeitamente dentro das exigências do processo. Nota, todavia, que o magnésio pode substituir o cério na produção do ferro nodular, com as vantagens do menor preço e da sua aplicabilidade aos mais variados tipos de ferros fundidos.

O uso do cério é preferível ao do magnésio para peças de secções muito finas, devido à maior fluidez do ferro fundido hiper-eutético; para peças de ferro fundido passíveis de reparação por solda; e quando se tem impurezas tais como o Pb e o Sn, que induzem ao aparecimento de grafita acicular. A tendência do cério é provocar matriz ferrítica, donde maior alongamento do metal no estado bruto, enquanto o magnésio contribui para a formação de matriz perlítica (15) Brosch (1951).

## 15. LIGAS CÉRIO-ALUMÍNIO

Data de 1904 a preparação das primeiras ligas de cério-alumínio. Para obter-se essas ligas, torna-se mistér proteger a fusão com um fluxo de cloreto de sódio e potássio.

A adição de cério mellhora a micro-estrutura e facilita a moldagem das peças de alumínio.

Pelo tratamento térmico, as ligas cério-alumínio têm sua resistência à tração, seu alongamento e dureza melhoradas. O seu uso é recomendado para pistões e quaisquer aplicações onde as elevadas temperaturas exijam consideração especial para a fluência e a fadiga. Smirow-Verin observou 16.5 % de rejeitos na fundição de pistões de ligas de alumínio, dois terços motivados por fissuras e um terço pela excessiva porosidade. A adição de 0.35 % de cério eliminou, entretanto, completamente, os rejeitos por tais causas.

Emprega a National Smelting Co., opcionalmente, adições de cério em ligas básicas de alumínio, de baixo preço, resistentes ao calor. Também a Rolls Royce admite o benefício do cério nas aplicações em motores de combustão interna sujeitos a altas temperaturas.

## 16. LIGAS CÉRIO-MAGNÉSIO

A «Magnesium Elektron Ltd.», Manchester, Inglaterra, melhorou consideravelmente a conhecida liga de magnésio com 2 % de manganês pela introdução do cério. Adições de menos de 1 % de Ce melhoraram tôdas as propriedades, sem diminuir a resistência à corrosão nem a facilidade de soldagem. «No domínio das peças fundidas» — escreve

Pannel (16) (1943) — o cério é olhado como essencial para as ligas de magnésio para pistões, porque restringe a perda de resistência em temperaturas elevadas.

Apresenta Desch, para a liga 87 % Mg, 10 % Ce, 1.5 % Co e 1.5 % Mn, forjada e tratada tèrmicamente, as seguintes características:

<i>Temperatura</i> °C	<i>Resistência</i> kg/mm <sup>2</sup>	<i>Alongamento</i> %
20	29,4	0
100	20,0	2,4
300	11,4	152,0

Houghton e Schofield insistem, também, em que adições de cério são benéficas às ligas leves, recomendando cuidados especiais na fundição, para resultados mais apreciáveis. «O refino da granulação e a depuração provocadas pelo cério são geralmente aceitas» — escreve Harris (11). A «Magnesium Development Corp.», e a «Société Le Magnésium Industriel», de Paris, anunciam igualmente que as propriedades de suas ligas leves foram muito melhoradas, sobretudo quanto ao forjamento, pela adição do cério.

«As evidências disponíveis — comenta Ahrens (16) (1945), da «Cerium Metals Corp.» — indicam que adições de 0,2 a 0,5 % de cério ao alumínio e ao magnésio resultarão em benefícios específicos, tais como a melhoria da estrutura granular, da resistência à tração, do alongamento e da resultante dureza da liga. Melhorias na resistência à fluência, à fadiga e ao calor podem ser esperadas. Os efeitos benéficos do cério nas propriedades de moldagem e nas propriedades térmicas inibem a fissuração». «As adições de cério são, via de regra, tão diminutas que praticamente não afetam ao custo. Pela redução dos rejeitos e melhoria das ligas, as adições do cério redundam frequentemente em economia».

As experiências com adições mais elevadas de cério também foram bem sucedidas (17) (Marande, 1946). A tal propósito escreve Clark (12) (1950): «O emprêgo de 3 a 5 % de mischmetal melhora apreciavelmente a resistência à tração e a resistência à fluência das ligas de magnésio na faixa de temperaturas até 320°C. Essas ligas são facilmente soldadas e usinadas».

Uma nova liga cério-magnésio, com 6 % de Ce, foi desenvolvida para uso em motores a jato («Mines Magazine», vol. 38, n.º 7, julho 1948, p. 27).

## 17. OUTRAS LIGAS DE CÉRIO

Refere-se Harris (11), metalurgista pesquisador da «Bell Telephone Laboratories Inc.», New York, a uma liga com 2,5 % de cobre, 1,5 % de níquel, 0,8 % de magnésio, 1,2 % de silício, 0,15 % de cério

e o restante de alumínio, na qual o cério tem o efeito de provocar o refino da micro-estrutura e permitir os benéficos efeitos mecânicos de um alto teor em ferro com a supressão do quebradiço constituinte ferro-alumínio. A liga, que é envelhecível não mostra distorção com tratamento térmico, e presta-se ao serviço pesado, tanto para fundição sob pressão como para fundição em coquilha ou para fundição em areia. A resistência à tração para peças fundidas em coquilha, submetidas a tratamento térmico completo é da ordem de 35 kg/mm<sup>2</sup>, e para as fundidas em areia, de 28 kg/mm<sup>2</sup>.

Encontram-se no mercado norte-americano cério-ligas com alumínio, carbono, chumbo, cobre, estanho, ferro, manganês, magnésio, ouro, prata e silício (16).

Segundo Clark (12), adições de 0,05 a 1 % de cério às ligas Ni-Cr de baixo ferro prolongam marcadamente sua vida em temperaturas elevadas. Essas ligas, e bem assim as de Ce-Mg e Ce-Al, têm numerosas aplicações na construção de aviões e outros equipamentos (aviões a jato, turbinas a gás, partes dos super-aquecedores de aviões, etc.) que requerem grande esforço de tração a altas temperaturas.

## 18. APLICAÇÕES NÃO-METALÚRGICAS DOS METAIS DAS TERRAS RARAS E DO TÓRIO

*Iluminação* — A primeira patente de Auer von Welsbach, de 22 de setembro de 1885, para a fabricação de véus incandescentes para a iluminação a gás, indicava a utilização de sais de lantânio, zircônio, magnésio, ítrio e neodímio para produzir a luz amarela, e sais de érbio para a luz verde. Mas pouco depois foi feita sigilosamente, na fábrica de Auer, em Viena, a substituição dessa fórmula por uma mistura de 99 % de sais de tório e 1 % de terras céricas. O tecido suporte, originalmente de algodão, passou a ser feito de rami, seda, e modernamente de «rayon». Os véus são imersos numa solução constituída de 2 litros d'água, 1 quilo de nitrato de tório, 10 g de nitrato de cério, 5 g de nitrato de glicínio e 1,5 g de nitrato de magnésio.

As lâmpadas Nernst utilizavam filamentos de óxidos de tório, ítrio, zircônio e um pouco de cério. Ligas de tório e tungstênio para filamentos das lâmpadas elétricas constituem a patente austríaca 41267, de 1906. Nas velhas lanternas de acetilênio empregadas nos automóveis, utilizavam-se misturas de óxidos de tório e cério, para aumentar o poder luminoso. Antes do aparecimento dos bulbos de magnésio, para fotografia, misturava-se ao pó de magnésio, tungstato e cromato e outros sais de tório, para aumentar a luz e diminuir a fumaça. ●

O fluoreto de terras raras é empregado no núcleo dos eletrodos de carvão, para aumentar a luminosidade do arco elétrico dos projetores de cinema, holofotes de guerra, lâmpadas de ultra-violeta, etc. Abrange todo o espectro a luz produzida com as terras raras, e permite perfeita reprodução no cinema a cores. A principal fabricante de eletrodos de carvão é a National Carbon Co., americana. Essa indústria

chegou a consumir, durante a última guerra, quasi 50 % das terras raras elaboradas nos Estados Unidos. No momento, êsse consumo é da ordem de 25 %.

### *Indústria química*

Os sais de cério têm sido apontados como catalisadores na fabricação do ácido sulfúrico (patentes alemãs ns. 142144 e 149677), do cloro (patente alemã 150226), da anilina (Buhrig, 1879) e do amoníaco (Whitehouse, 1907). Por sua ação oxidante, superior à dos cromatos, têm sido utilizados na fabricação dos aldeídos e quininas a partir dos hidrocarbonetos aromáticos (patente alemã de 1902).

O  $\text{ThO}_2$  age como catalisador na preparação das quentonas simétricas e assimétricas, partindo-se dos ácidos monocarboxílicos: com o ácido butírico obtem-se butirona em proporção elevada, e os alcoóis são transformados, conforme a temperatura, em éter e olefinas. O álcool benzílico na presença de  $\text{ThO}_2$  dá nascimento ao éter, pela ação sobre os ácidos fórmico, acético, propiônico, isobutírico ou benzóico. Se se faz passar o amoníaco ou os alcoóis sobre o  $\text{ThO}_2$  a  $360^\circ\text{C}$ , formam-se olefinas e aminas primárias.

### *Indústria vidreira*

Vidros absorventes dos raios ultra-violetas, preparados com óxido de cério puro, são empregados na confecção de óculos para sol. O vidro «Neophan», dos óculos dos oficiais alemães durante a segunda guerra mundial, tem o neodímio como corante, absorve 90 % da luz amarela do sódio, aumenta o contraste entre as cores e facilita a visão na neblina. Óculos e filtros de «Neophan» são indicados para proteger os olhos e melhorar a visibilidade nos trabalhos de vidro e nas soldas dos metais ao maçarico. A indústria francesa de vidros artísticos produz com o neodímio um vidro anil de alto preço.

Lentes de vidro de lantânio foram empregadas com sucesso nas fotografias aéreas; seu uso tende a generalizar-se nas máquinas fotográficas comuns.

O óxido de terras céricas, enriquecido com cério, substitui com vantagem o óxido de ferro («rouge») no polimento de lentes e prismas de lentes e prismas destinados aos instrumentos óticos. Dá acabamento melhor e mais rapidamente, evitando a formação de véus. A dureza do produto é regulada pela temperatura de calcinação.

### *Pigmentos*

O óxido de cério é usado como pigmento branco de alto poder opacificador, para esmaltes de louças e metais, devendo para êsse fim ser extremamente puro.

Vários outros pigmentos resistentes ao fogo são preparados com sais de terras raras. O titanato de cério é amarelo e o manganato, côm-

-de-laranja; o molibdato é azul e o tungstato, verde. De tonalidade roxo-ametista é o fosfato de neodímio, e azul-anil o tungstato. O fosfato de praseodímio é verde brilhante. A mistura desses diferentes pigmentos fornece toda uma gama de ricos matizes, para porcelanas e esmaltes.

Os pigmentos luminosos dos mostradores dos relógios, aparelhos de medida, alças de mira, e outros apetrechos de guerra, são excitados com mesotório extraído da monazita.

### *Explosivos*

Escales (1902) propôs o emprêgo do cério para aumentar a brisância dos explosivos (patente inglesa 9043).

### *Indústria Têxtil*

Para contornar a patente que controlava o uso do óxido de titânio para tirar o brilho do «rayon», a «Société de Produits Chimiques des Terres Rares» propôs sua substituição pelo  $\text{CeO}_2$ , que se mostrou muito melhor.

Na feltagem dos pêlos, a solução de nitrato de tório substitui com vantagens técnicas os sais de mercúrio.

O acetato de sódio é usado na impermeabilização das lonas, evitando o enegrecimento provocado pelos fungos.

Sais de cério são utilizados como mordentes na tintura dos tecidos com a alizarina.

### *Indústria dos couros*

Tanto no cortume como na tinturaria dos couros encontram os sais de terras raras algumas aplicações.

### *Medicina*

Variadas têm sido as aplicações das terras raras no campo da terapêutica. Os oxalatos das TCe são preconizados para prevenir a náusea nos casos de catarro estomacal, enjôo do mar, epilepsia e histeria; o fenolato de cério, os sulfatos céricos duplos e o salicilato de didímio («Dymal»), como antissépticos para feridas. Os sulfatos de TCe, de Di e de Nd têm sido utilizados por Grenet e Drouin (1920-21) e outros, para combater as tuberculoses crônicas. O brometo ceroso substitui os brometos alcalinos; e o cloreto de TR, melhor que o  $\text{FeCl}_3$ , estanca as hemorragias. O «Triagol», preparado com plasma seco, manganes orgânico e sais de neodímio, lantânio e ítrio, é indicado como principal agente da mononucleose: defende o organismo contra as doenças infecciosas, aumenta a resistência globular e atenua a virulência microbiana.

O tório X — um dos radio-isótopos da série de desintegração do tório — foi empregado por Bickel (1913), Derselbe (1914) e outros, no tratamento das anemias e leucemias. Silva Mello (18) (1915) e outros pesquisadores investigaram a atuação do ThX no sangue e órgãos hematopoiéticos.

As praias de Garapari no Espírito Santo são procuradas pelos artríticos e portadores de outras enfermidades, os quais se deixam ficar horas semi-enterrados nas areias monazíticas. O efeito benéfico dessa radioterapia natural é testemunhada pelo professor Silva Mello (Revista Brasileira de Medicina).

### *Energia atômica*

O isótopo físsil de massa 233 do urânio é obtido a partir do tório 232. Absorvendo um neutron, o  $\text{Th}^{232}$  passa a  $\text{Th}^{233}$ , o qual, pela emissão de uma partícula beta se transforma no  $\text{Pa}^{233}$ . Uma segunda emissão beta dá lugar ao isóbaro  $\text{U}^{233}$ . Essas operações podem efetuar-se nos reatores primários, onde se submete o carbonato ou o tetrafluoreto de tório ao bombardeio neutrônico. O  $\text{U}^{233}$  pode ser extraído por meio de solventes orgânicos após a espera de 4 a 6 meses, necessária para que a quase totalidade do proteactínio tenha tempo de desintegrar-se. As primeiras centenas de miligramas de  $\text{U}^{233}$  foram obtidas num dos reatores da Usina de Hanford, Washington, operados pela General Electric Co. — anunciou em 5 de março de 1948 o Dr. Glenn T. Seaborg. Em 14 de outubro do mesmo ano a Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos tornou público que muitos problemas complexos para a utilização do tório em larga escala exigem para sua solução uma ou duas décadas, se bem que não esteja excluída a possibilidade desse tempo ser encurtado.

A respeito do suprimento de minério de tório para os Estados Unidos, escreve W. K., no New York Times de 27 de maio de 1951: «A produção comercial de monazita não tem sido financeiramente atraente neste país por causa dos baixos preços. Depósitos de baixo teor ocorrem na Flórida, nas Carolinas e em Idaho. Por certo tempo estocámos monazita, mas em 31 de novembro de 1945 a Administração de Produção Civil anunciou que toda a monazita que havia sido mantida durante a guerra pelo Escritório das Reservas de Metais fôra vendida. Entretanto a monazita, é de tal importância que, por um decreto executivo de 28 de setembro de 1945, o Presidente Truman colocou sob jurisdição federal os recursos naturais da plataforma continental ao longo das costas dos Estados Unidos. A maior parte de nossa monazita jaz nessa plataforma submarina. Durante o curso da última semana, debatendo na Câmara o projeto de empréstimo de cento e noventa milhões de dólares à Índia, destinado à aquisição de trigo do qual enormemente carece aquêlê país, o deputado Eugene E. Cox, democrático da Geórgia, censurou a Índia por ter proibido a exportação de areias monazíticas. O Senado aceitou uma emenda apresentada pelo senador

Styles Bridges, republicano de New Hampshire, o qual obrigaria a Índia a pagar parte ou total do empréstimo na forma de materiais estratégicos, inclusive areias monazíticas.»

Os cientistas indianos, entretanto, continuam a fazer a maior pressão para evitar que sua pátria continue a exportar monazita em bruto para qualquer país. «Nações como o Brasil e a Índia, possuidores de grandes depósitos de monazita, e que não puderam desenvolver-se pela carência de combustíveis fartos e baratos, — declarou o Dr. Homi J. Bhaba, diretor da Comissão de Energia Atômica da Índia, em uma palestra científica no Rio de Janeiro, em 1949 — muito possivelmente poderão transformar-se em potências industriais, mercê do aproveitamento da energia nuclear do tório». Por sua vez, reagindo contra as insinuações dos políticos estadunidenses, declarou o Primeiro Ministro Pandit Nehru, em discurso pronunciado em Bulandshar, que «Índia is not so down and out as to accept any conditions dictated by any foreign country in the matter of importing food that sullies our honor» (The Hindustan Times, New Delhi, May 1, 1951).

Cêrca de trinta isótopos dos metais das terras raras têm sido identificados na fissão do urânio (Siegel, 1946). Várias terras são excelentes absorvedores de neutrons lentos. O gadolínio é, de todos os elementos químicos conhecidos, o que apresenta maior secção de choque. A aparição das terras raras no curso da desintegração artificial do urânio é considerada «veneno» nos reatores nucleares, tendo merecido acurada pesquisa pela Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos.

#### BIBLIOGRAFIA

1. RANKAMA, K - SAHAMA, Th. G. — **Geochemistry** — University of Chicago Press, 1950.
2. GUIMARÃES, D. — **Metalogênese das formações Arqueo-proterozóicas do Brasil** — Instituto de Tecnologia Industrial, Minas Gerais, Bol. 4, 1950.
3. MILTON, C.; MURATA, K. J.; KNECHTEL, M. M. — **Weinschenkite, yttrium phosphate dihydrate, from Virginia**. Am. Mineral, 29, 1944, p. 92.
4. GORCEIX, H. — **Estudos dos minerais que acompanham o diamante na jazida de Salobro, Província da Baía, Brasil**. Anais da Escola de Minas, n.º 3, Ouro Preto, 1884, p. 219/227.
5. DERBY, O. A. — **On the occurrence of Monazite as an accessory element in rocks**. American Journal Science, XXXVII, New Haven, 1889, p. 109/113.
6. LISBOA, ARROJADO — **As areias monazíticas** — Anais da Escola de Minas, Ouro Preto, 1903, p. 106/132.
7. FRAHYA, R. — **Areias monazíticas e ilmeníticas do Espírito Santo**. Divisão do Fomento de Produção Mineral, bol. 83, 1949.
8. LEONARDOS, O. H. — **Monazita no Estado da Baía** — Serviço do Fomento da Produção Mineral, avulso 23, 1937.
9. VOGEL, R. — **Cerium Iron Alloys** — Zeit. anorg. Chem., vol. 99, n.º 26, 1917.
10. GILLET, H. W. e MACK, E. L. — **Molybdenum, Cerium and Related Alloy Steels**. Chemical Catalog Co., New York, 1925.
11. HARRIS, J. E. — **Miscellaneous Alloy-Forming Elements** — Cerium, p.

- 204/205, in *Modern Uses of Nonferrous Metals*, A.I.M.E.; Series, 1935.
12. CLARK, J. W. — **Minor Metals**. *Minerals Yearbook*, 1948; Washington, 1950, p. 1321/1324 (Cerium: p. 1321/1324; Scandium: p. 1338/1340).
  13. MORROGH AND GRANT — **Nodular cast irons, their production and properties**; *Foundry Trade Journal*, July 8, 1948.
  14. KITICE, T. — **Ferro fundido nodular ou ferro fundido dútil** — *Mineração e Metalurgia*, XIV, 79, 1949 (ABM-Noticiário n.º 16, p. 8/9).
  15. BROSCH, C. D. — **Produção de ferro fundido nodular na Inglaterra**. ABM-Noticiário; *Mineração e Metalurgia*, vol. XV, n.º 90, março-abril 1951, p. 299/304.
  16. AHRENS, G. — **New Uses for Cerium**; *Metals and Alloys*, Sept. 1945.
  17. PANNELL, E. U. — **Magnesium, its production and use**. Sir Isaac Pittman & Sons, Londres, 1943 (Liga Mg-Ce — p. 51/52).
  18. MARANDE, R. F. — **Magnesium-Cerium Alloy Castings for High-Temperature Use**. *Materials and Methods*, vol. 23, n.º 2, Feb. 1940, p. 418/424.
  19. SILVA MELLO, A. da — **Experimentelle Untersurhungen uber die biologische Wirkung des Thorium X insbesondere auf das Blut**. *Zeitschr. F. Klin. Med.* 1915, Bd. 81, H. 3 u. 4.

#### REFERÊNCIAS GERAIS

- BASTIEN, P. — **Le Magnesium et les alliages ultra-legers**. Dunod, Paris, 1948, (Liga Mg-Ce, p. 32).
- DERBY, O. A. — **On the occurrence of Xenotime as an accessory element in rocks**. *Amer. Journ. Sci.* XLI, New Haven, 1891, p. 308/311.
- DERBY, O. A. — **Monazite and Xenotime in European Rocks**. *Min. Mag. and Jour. Mineral. Soc.*, XI, Dec. 1897, p. 304/310.
- DERBY, O. A. — **Notes on Monazite**. *Amer. Jour. Sci.*, X, New Haven, 1900, p. 217/221.
- DERBY, O. A. — **On the occurrence of monazite in iron ore and in graphite**. *Amer. Jour. Sci.*, XIII, New Haven, 1902, p. 211/212.
- FLORENCIO, W. — **Cronogeologia dos Pegmatitos Brasileiros** — *Mineração e Metalurgia*, vol. XV, n.º 89, 1951, p. 191/196.
- GAGNEBIN, A. P.; MILLS, Kd; PILLING, N. B. — **Ductile Cast Iron, a New Engineering Material** — *The Iron Age*, Feb. 17, 1949, p. 77.
- GORCEIX, H. — **Estudo sôbre a Monazita e a Xenotima do Brasil**. *Anais da Escola de Minas*, n.º 4, Ouro Preto, 1885, p. 29/48.
- HOPKINS, B. S. — **Electrochemistry of the Rare Earth Group** — *Trans. Electrochemical Society*, vol. 89, 1946, p. 295/300.
- KROLL, W. J. — **Rare-Metal Metallurgy**. *Metal Industry*, vol. 73, London, Oct. 1948, p. 263/265.
- KRUMHOLZ, P. — **Aspectos da industrialização da monazita**. *Boletim da Associação Brasileira de Metais*, vol. 5, n.º 17, São Paulo, out. 1949, p. 545/551.
- LAFER, H. — **Areias monazíticas** — *Mineração e Metalurgia*, vol. XIV n.º 84, mar. abr. 1950, Rio de Janeiro.
- LODI, E. — **Areias monazíticas — Indústria e exportação**. *Jornal do Comércio*, Rio de Janeiro, 22 de abril de 1950.
- MATHEWS, A. F. — **Cerium and Other Rare-Earth Metals**. — *Minerals Yearbook*, 196. Washington, 1948, p. 1271/1272. *Uranium and Thorium*, p. 1205/1231.

- MATHEWS, A. F. — **Uranium, Radium and Thorium.** Minerals Yearbook, 1948, Washington, 1950, p. 1262/1278.
- PALACHE, BERMAN AND FRONDEL — **Dana's System of Mineralogy,** vol. I, John Wiley and Sons Inc. New York, 1944.
- ROOTS, E. P. — **Cerium and Thorium** — Western Miner, Vancouver, vol. 19, n.º 8, August, 1946, p. 50/56.
- SMITHELLS, C. J. — **Metals** — Reference Book, Londres, 1949.
- SPENCER, J. F. — **The Metals in the Rare Earths,** Longmann, Green, London, 1919, Tradução francesa por J. Daniel; Dunod, Paris, 1922.
- YOST, D. M.; RUSSEL, H. e GARNER, C. S. — **The Rare Elements and Their Compounds.** John Wiley & Sons, New York, 1947.

## DISCUSSÃO

**Presidente:** Químico Glacyr Moré.

**Membros:** Eng. Clovis Bradaschia, Eng. Fernando A. de Toledo Piza, Eng. Orlando E. Mueller, Prof. Werner Grundig e Eng. Michel Loeb.

**Químico Glacyr Moré** <sup>(1)</sup> — Não estando presente o autor o trabalho foi apresentado pelo prof. Luciano Jacques de Moraes. Solicitaria que as discussões fossem feitas de preferência por escrito, a fim de que o autor pudesse participar da discussão.

**Eng. Arquimedes Pereira Guimarães** <sup>(2)</sup> — Seria útil se a Associação Brasileira de Metais, em cooperação com a Sociedade Brasileira de Geologia, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, ou a Academia Brasileira de Ciências, cuidasse da terminologia definitiva dos minerais das terras raras e dos óxidos e dos próprios elementos, uma vez que há uma grande confusão entre os autores. Por exemplo, o professor Rui de Lima e Silva fala que as areias monazitas são constituídas de xenotima, respectivamente silicatos e fosfatos de terras raras. Outros autores já não se referem a isso. Dizem que a xenotima não entra nas areias monazíticas. Outro exemplo: o  $\text{ThO}_2$ , uns dizem thorina, outros thorita, outros thório, simplesmente.

Acho interessante uma cooperação dessas sociedades no sentido de se fixar em definitivo essa terminologia, porque êsses minerais vão tomar, agora, uma importância cada vez maior.

(1) Químico industrial; Metalúrgica Abramo Eberle Ltda.; Caxias do Sul, R. G. S.

(2) Membro Representante ABM; Instituto Tecnológico da Bahia, Diretor; Salvador, Bahia.