

Capítulo II

TERRAS RARAS NO BRASIL:
RESERVAS E CARACTERÍSTICAS
QUÍMICO-MINERALÓGICAS DE
SUAS OCORRÊNCIAS E DEPÓSITOS

4. ASPECTOS GERAIS SOBRE OCORRÊNCIAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL

Every year, sales of these rare metals seem somewhat insignificant but without them, industries worth trillions of dollars would grind to a halt. /.../ Industry experts are predicting an annual shortage of 44,000 tons by 2015.

(Nicholas Curtis – Lynas Corporation, Executive Chairman, 19/11/2009)

Les terres rares sont au 21ème siècle ce qu'était le pétrole au 20ème et le charbon au 19ème siècle: le moteur d'une nouvelle révolution industrielle.

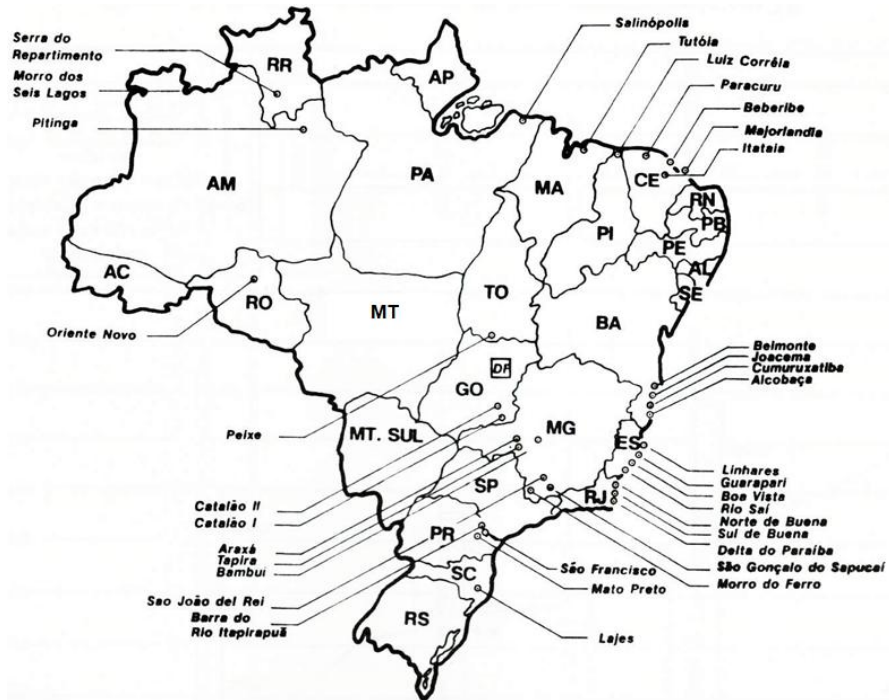
(Stéphane Pambrun – Novethic, Beijing, 04/05/2010).

É reconhecido que o Brasil tem um grande potencial, o qual tem como base para essa avaliação a pluralidade de suas ocorrências, a multiplicidade dos seus ambientes geológicos e a sua dispersão geográfica.

No Brasil já há evidências bastante consistentes de que as terras raras formam vários depósitos em todo o território, estando mais comumente associadas a ambientes minerais, conforme abaixo:

- *Placers* litorais e de rios;
- Complexos alcalino-carbonatíticos - depósitos com grandes reservas e teores elevados, já bem definidos, em Catalão (GO) e Araxá (MG)
- Minérios de Ti (anatásio), em rochas carbonatíticas
- Minérios de Nb (pirocloro), em complexos carbonatíticos
- Minérios de Nb-Ta (niobotantalitas)
- Minérios de Zr (zircão)
- Minérios de Sn (cassiterita)
- Minérios de P (apatita).

A Figura 15 ilustra a existência de 11 tipos de depósitos e ocorrências de terras raras no Brasil, sendo que os mais importantes estão listados a seguir.



Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994.

Figura 15 – Localização de depósitos e ocorrências de terras raras no Brasil

- 1) Depósitos de Terras raras em Carbonatitos e/ ou Rochas Alcalinas
 - 1.1. Catalão I (GO)
 - 1.2. Araxá (MG)
 - 1.3. Morro do Ferro – Planalto de Poços de Caldas
- 2) Escórias de Fe-Nb e de Fe-Nb-Ta: Araxá (MG), Catalão I e II (GO) e Pitinga (AM)
- 3) Placers Marinhos

- 3.1. Norte Fluminense (RJ)
- 3.2. Espírito Santo
- 3.3. Bahia
- 3.4. Maranhão
- 4) Placers Fluviais / Rio Sapucaí (MG)
- 5) Carbonatitos Magnesíferos
 - 5.1. Catalão I (GO)
- 6) Solos Lateríticos e Regolitos Formados sobre Carbonatitos e Ultrabásitos
 - 6.1. Associação P-TR
 - Catalão I (GO)
 - Araxá (MG)
 - Angico dos Dias (BA)
 - Outros carbonatitos
 - 6.2. Associação Ti-TR
 - Tapira (MG)
 - Catalão I (GO)
 - Maicuru (AM)
 - 6.3. Associação Nb-TR
 - Araxá (MG)
 - Catalão I e II (GO)
 - 6.4. Associação Fe-Th-TR
 - Morro do Ferro / Poços de Caldas (MG)
- 7) Solos Elúvio-Aluvionares em Alkali-Granitos
 - 7.1. Associação Sn-Nb/Ta-Zr-TR (AM – RO)
- 8) Pegmatitos

8.1. Região de São João del Rei (MG)

9) Rocha Fosfática e Produtos Industriais

9.1. Minério e Concentrado: Catalão (GO), Tapira (MG) e Araxá (MG)

9.2. Ácido Fosfórico e Fosfogesso: Uberaba (MG), Catalão (GO), Cubatão (SP)

10) Minério Fluorítico

10.1. Mato Preto (PR)

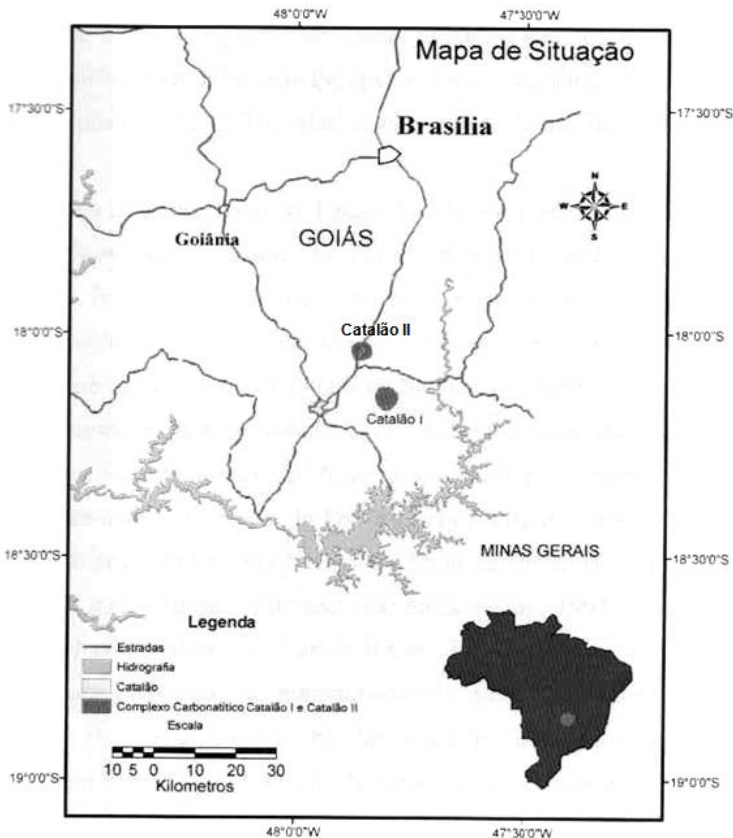
11) Bolsões e Vênulas Pegmatíticas (monazita e allanita)

5. INVENTÁRIO DOS RECURSOS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICA DAS OCORRÊNCIAS, DEPÓSITOS E MINAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL

5.1. Depósito de Catalão I (GO)

O complexo carbonatítico de Catalão I situa-se no extremo SE do estado de Goiás, às margens da rodovia BR 050, a 280 km de Brasília e 700 de São Paulo, conforme mostra a Figura 16.

Trabalhos precursores de detalhe e de excelente qualidade foram desenvolvidos na década de 70, do século passado, pela empresa estadual METAGO – Metais de Goiás S/A (CARVALHO, 1974a e 1974b).



Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 16 – Mapa de localização do complexo carbonatítico de Catalão I e II

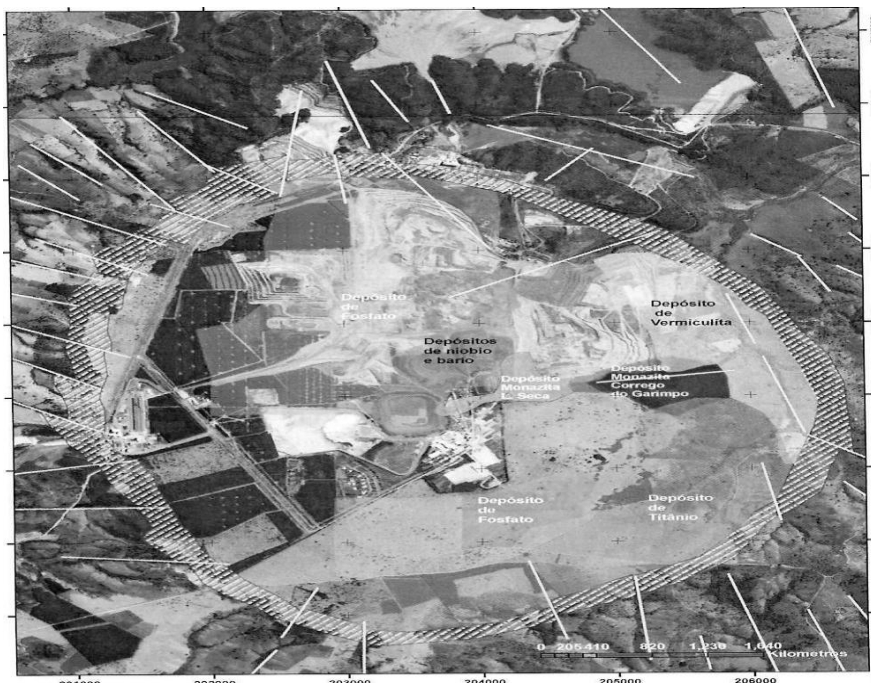
Por outro lado, Catalão II é um complexo carbonatítico subcircular, com 6 e 5,5 km de eixo NW e NE, respectivamente.

Ambos distam cerca de 15 km da cidade de Catalão.

O estudo do complexo carbonatítico de Catalão I deu lugar, além dos trabalhos efetuados pela METAGO, a teses de livre docência (VALLARELLI, 1971 e TOLEDO, 1999), de doutorado (NEUMANN, 1999 e RIBEIRO, 2008), assim como a vários outros

trabalhos, dentre os quais destacamos o de Maria Cristina Toledo et al. (TOLEDO et al., 2004).

Em Catalão I localizam-se jazidas de fosfato (com duas minas em produção), de nióbio (uma mina em produção) e depósitos de terras raras, de titânio e de vermiculita (Figura 17).



Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 17 – Localização dos depósitos de terras raras, fosfato, nióbio, vermiculita e titânio em Catalão I – GO

As reservas de elementos de terras raras leves de Catalão I são, provavelmente, as maiores, as que apresentam os teores mais elevados e podem ser considerados os depósitos melhor estudados do Brasil, até o momento atual.

Nessa província, constituem não só rico minério específico de monazita, mas ocorrem também associadas aos minérios de fosfato, de titânio (anatásio) e de nióbio (pirocloro), sendo que nesse caso,

apresentam maior concentração nas escórias que resultam da produção da liga ferro-nióbio.

Em Catalão I foram definidos dois depósitos específicos de terras raras: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte (Figura 18).



Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 18 – Localização dos depósitos de terras raras do Córrego do Garimpo e de Lagoa Seca em Catalão I

Nesses dois depósitos os recursos foram definidos com base em trabalhos detalhados de pesquisa de superfície, assim como por meio de numerosos furos de sondagem. Os recursos totais são da

ordem de 79 milhões de toneladas, considerando-se um teor de corte de 5%, em relação aos elementos de terras raras (RIBEIRO, 2008). O minério, porém, é complexo e, até o momento, não há notícias de que se tenha viabilizado uma tecnologia para a extração econômica das terras raras.

Nessa região foram caracterizados três tipos litológicos de mineralização de terras raras, os quais estão associados a processos carbo-hidrotermais sobre rochas, a saber; da série bebedourítica, da série foscorítica e da série carbonatítica.

5.2. Depósito do Córrego do Garimpo

O depósito do Córrego do Garimpo contém, muito provavelmente, uma das melhores reservas e teores consistentes de terras raras do Brasil, conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16 – Reservas medidas e teores médios de terras raras, na área do Córrego do Garimpo, Catalão I, em função do teor de corte

Teor de corte (%TR ₂ O ₃)	Teor Médio (TR ₂ O ₃)	Reserva Medida (10 ³ t)
2	5,56	60.856
5	7,56	30.478
8	10,47	9.218
10	12,81	3.841
12	14,06	2.293

TR₂O₃: óxidos totais de terras raras

Fonte: NEUMANN, 1999

A Tabela 16 apresenta reservas medidas no Córrego do Garimpo (Ultrafertil, dez/1998, informação colhida pelo autor). /.../ que são consideradas pelo geólogo responsável, à época, Carlos Cordeiro Ribeiro da Ultrafertil, como extremamente conservadoras.

Com base nos valores mostrados acima e, considerando que houvesse um consumo nacional ao redor de 3.000 toneladas anuais dos óxidos totais de terras raras contidos no minério, foi projetado

que em decorrência de uma eventual lavra com teor de corte de 5% (ou seja, 30 milhões de toneladas, com teor médio de 7,56% de óxidos totais de terras raras), a produção resultante dessa lavra seria suficiente para abastecer durante 768 anos o consumo nacional considerado naquela época (NEUMANN, 1999).

O depósito do Córrego do Garimpo é constituído por três tipos de minérios: carbonatítico (ocorre a profundidades da ordem dos 100m), saprolítico e silicoso (“silcretos” ou silicitos) (Tabela 17).

Tabela 17 – Tipos de minério do depósito do Córrego do Garimpo

Minérios	Características mineralógicas e teor de corte	ETR (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Reservas ^(a) (t)
Carbonatítico	Magnesita, dolomita, monazita ^(b) , estrocionita, pirita, etc	6,64	3,56	15.903.072
Saprolítico ou laterítico	Quartzo, apatita, magnetita, ilmenita, hematita, goetita, monazita, etc	8,39	23,73	54.506.757
Silicoso [©]	Quartzo, monazita, hematita, barita, cerianita, apatita, etc	10,5		8.254.383
TOTAL	Teor de corte = 5% TR ₂ O ₃	8,67		78.664.212

(a) Medidas + indicadas + inferidas.

(b) Predominantemente criptocristalina.

© Resulta do intemperismo do minério carbonatítico.

Fonte: NEUMANN, 1999

Ainda, nesse mesmo depósito, pode ser considerado um quarto tipo, que RIBEIRO (2008) designou por “minério nelsonítico”. Resulta da ação de fluidos carbonatíticos sobre rochas da série foscorítica, o que dá origem a camadas de monazitito e veios de monazita cortando o nelsonito (RIBEIRO, 2008).

PECORA, citado por WYLLIE et al. (1989), com a finalidade de associar os carbonatitos à formação de depósitos de terras raras, dividiu-os em dois grupos: aqueles ricos de apatita-magnetita – “nelsonitos” – e aqueles ricos em variedades minerais de terras raras – “carbonatitos com terras raras”.

Dois aspectos da formação de depósitos de elementos de terras raras em complexos carbonatíticos (carbonatitos de elementos de terras raras) merecem ser destacados: o da cristalização fracionada de magmas precoces (anteriores) pobres em P_2O_5 (WYLLIE et al. (1996), assim como o dos processos hidrotermais, em que soluções aquosas aquecidas interagem com rochas ou magmas, solubilizando os elementos de terras raras, normalmente associados à apatita e à fluorita (GIRÉ, 1996).

Ainda, RIBEIRO, baseado no estudo de muitas centenas de amostras de superfície, de furos de sonda, assim como de frentes de lavra e no seu conhecimento profundo das áreas, apresentou, na sua tese de doutoramento na UnB, o estudo detalhado dos depósitos de terras raras de Catalão I (RIBEIRO, 2008).

Com base no seu trabalho se pode dizer que no minério carbonatítico a monazita é predominantemente criptocristalina. Ocorre em bolsões centimétricos amebóides, esverdeados claros, finamente granulados e descontínuos, impregnando irregularmente a rocha e, quando aglutinados, podem constituir intervalos com mais de um metro de espessura.

O minério saprolítico ou laterítico apresenta um teor médio de 8,39% de elementos de terras raras e alto de Fe_2O_3 (23,73%), sendo composto de quartzo, fluorapatita, magnetita, ilmenita, hematita, goethita, monazita, gorceixita, etc. Os níveis de intemperismo revelaram os seguintes teores de elementos de terras raras nos diferentes minérios: saprolito alterítico, 7,64%; saprolito isoalterítico, 9,18%; rocha alterada, 8,37%.

AQUINO e ALBUQUERQUE (1996) apresentaram a seguinte composição química e mineralógica do minério laterítico de Catalão I, a qual se mostra nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Análise química (% em massa) do minério laterítico de Catalão I

Composição Mineralógica	Composição (%)	Óxidos de Terras raras	Composição (%)
SiO ₂	12,40	La ₂ O ₃	2,40
TiO ₂	9,60	CeO ₂	4,80
Al ₂ O ₃	3,61	Nd ₂ O ₃	1,80
Fe ₂ O ₃ (total)	26,50	Pr ₆ O ₁₁	0,53
CaO	10,20	Sm ₂ O ₃	0,13
P ₂ O ₅	10,40	Eu ₂ O ₃	0,03
BaSO ₄	2,80	Gd ₂ O ₃	0,05
ThO ₂	<0,01	Tb ₄ O ₇	0,09
U ₃ O ₈	<0,01	Dy ₂ O ₃	0,03
Y ₂ O ₃	0,04	La ₂ O ₃	<0,012
Óxidos totais de terras raras * (total)	9,90	La ₂ O ₃	<0,015

*óxidos totais de terras raras

Fonte: AQUINO & ALBUQUERQUE, 1996

Tabela 19 – Composição mineralógica (% em massa) de frações, classificadas por tamanho, minério laterítico de Catalão I

Mineral	+34,8µm	-34,8+25,8 µm	-25,8+17,7 µm
Monazita	11,0	13,5	16,0
Apatita	7,5	5,5	4,0
Quartzo	9,5	9,0	6,0
Limonita+Goethita	9,5	24,0	25,0
Micas	5,5	7,0	3,0
Opacos	53,0	38,0	43,0
Outros ^(a)	4,0	3,0	3,0

(a) Gorceixita, goyazita, zircão, anatásio e anfibólios alterados

Fonte: AQUINO & ALBUQUERQUE, 1996

O minério silicoso ('silcrete' ou silicito) é o que apresenta teores médios mais elevados de elementos de terras raras: 10,5%. Corresponde ao intemperismo do minério carbonatítico já referido. É composto de quartzo, monazita, hematita e goethita, além de barita, cerianita, apatita e hollandita subordinadas.

5.3. Terras raras no Depósito da Lagoa Seca Norte

Segundo RIBEIRO, a rocha dominante na área de Lagoa Seca Norte são os foscoritos que se distribuem em três grandes unidades:

- C1 – foscoritos sem monazita, é a rocha encaixante;
- C2a – nelsonitos com ilmenita e alguma monazita;
- C2b – nelsonitos e carbonatitos com grande quantidade de monazita e ilmenita (RIBEIRO, 2008).

5.4. Estimativa dos Recursos de Terras raras em Catalão

Na década de 80, a companhia Metais de Goiás – METAGO – estimou os recursos medidos + indicados + inferidos de CeO₂ + La₂O₃, em 78 milhões de toneladas para um teor de corte de 2%, conforme mostra a Tabela 20.

Tabela 20 – Estimativa dos recursos de terras raras em Catalão definidos pela METAGO, na década de 80

Ce ₂ O + La ₂ O ₃	Medida	Indicada	Inferida	Med. + Ind.	Med. + Ind. + Inf
>2%	22.504.860	45.301.356	10.858.000	67.806.216	78.664.216
>4%	4.624.529	10.511.719	---	15.136.28	15.136.248
>6%	1.079.890	6.967.080	5.019.600	8.046.970	13.066.570
>8%	676.400	2.989.232	5.019.600	3.665.732	8.685.352
>10%	534.000	2.634.400	5.019.600	3.168.400	8.188.000
>12%	391.600	2.064.800	---	2.456.400	2.456.400

Fonte: LAPIDO LOUREIRO, 1994

Na segunda fase de uma pesquisa realizada pela Ultrafértil, na década de 90, as estimativas dos recursos para elementos de terras raras passaram a ser de 119 milhões de toneladas, para um mesmo teor de corte de 2%, sendo 78 milhões de toneladas no depósito do Córrego do Garimpo e 41 milhões de toneladas, referentes ao depósito de Lagoa Seca Norte, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Recursos de elementos de terras raras definidos na década de 90, incluindo Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte

Categoria	Teor de corte 2% de terras raras*		Teor de corte 5% de terras raras	
	Tonelagem	Teor médio (%)	Tonelagem	Teor médio (%)
Medidos	41.406.880	5,39	6.789.050	8,20
Indicados	65.202.580	5,49	26.063.877	8,48
Med.+Ind.	106.609.460	5,45	32.852.928	8,42
Inferido	13.113.720	5,98	13.211.034	9,27
TOTAIS	119.723.180	5,51	46.063.962	8,67

*elementos de terras raras

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Na Tabela 22 apresenta-se uma estimativa dos recursos de elementos de terras raras por tipo de minério, considerando-se um teor de corte de 2% de elementos de terras raras.

Tabela 22 – Recursos de elementos de terras raras, por tipo de minério, para um teor de corte de 2% para os elementos de terras raras

Depósito do Córrego do Garimpo	
Minério Silicoso	8.254.383
Minério Saprolítico	54.506.757
Minério Carbonatítico	15.903.072
Depósito da Lagoa Seca Norte	
Minério Nelsonítico	41.058.784
TOTAL	119.722.996

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994.

5.5. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático

Um dos principais carreadores de terras raras nos minérios fosfáticos é a apatita, com predomínio de elementos de terras raras leves, em especial, nos depósitos associados à atividade carbonatítica, enquanto há maior equilíbrio entre elementos de terras raras leves e

elementos de terras raras pesadas nos depósitos de origem sedimentar.

5.6. Terras raras Associadas ao Minério da Empresa Ultrafertil

A seguir, apresenta-se uma análise típica correspondente aos dez maiores óxidos do depósito de apatita da Ultrafertil, em Catalão I, nos quais se incluem os de terras raras (Tabela 23).

Tabela 23 – Teores dos dez elementos mais abundantes no depósito de apatita da Ultrafertil em Catalão I

Óxidos	(t)	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Variância (%)	Desvio Padrão(%)
MgO	1133	4,33	0,18	28,78	14,67	3,83
CaO	1159	14,71	6,08	36,13	20,14	4,49
Fe ₂ O ₃	1147	26,41	7,47	71,22	82,33	9,07
Al ₂ O ₃	1136	2,87	0,10	27,05	6,45	3,54
SiO ₂	1056	22,21	2,78	53,49	68,54	8,28
P ₂ O ₅ Tot.	1159	11,00	4,32	24,43	7,50	2,74
TiO ₂	842	4,81	0,10	17,90	5,09	2,26
Nb ₂ O ₅	1034	0,30	0,01	1,90	0,00	0,17
BaO	1103	2,26	0,07	15,30	5,34	2,31
TR ₂ O ₃ *	743	2,58	0,00	17,62	5,32	2,31
P ₂ O ₅ /TR ₂ O ₃	1,159	1,53	0,49	10,97	0,6	0,82

*óxidos totais de terras-raras

Fonte: RIBEIRO, 2008

Ressalte-se que as análises de 743 amostras revelaram teores elevados de óxidos totais de terras raras, de até 17,62%, apresentando um teor médio de 2,58%.

Por outro lado, uma amostragem escalonada feita entre janeiro de 1977 e janeiro de 1979 revelou para o minério da jazida de fosfato das extintas empresas METAGO e Goiasfertil, a presença de óxido de urânio (U₃O₈), correspondendo a 168 ppm (média de 50 amostras), nas frentes de lavra, enquanto no concentrado final 80 ppm (média de 16 amostras).

5.7. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático e Produtos da Empresa Copebrás

A Copebrás (Companhia Petroquímica Brasileira) iniciou suas atividades no Brasil, instalando a primeira unidade de produção de negro de fumo, em 1955. A partir de então, diversificou sua atuação em outras áreas, com foco, principalmente, na produção de fosfatados.

Em 1967 deu início à produção de ácido fosfórico e de fertilizantes fosfatados de média concentração.

Em 1983, Copebrás e Fosfago, empresa detentora de uma mina de rocha fosfática em Catalão – GO com capacidade, à época, de produção de 500.000 toneladas/ano de rocha fosfática concentrada, integram-se em uma única empresa - Copebrás.

Em 1985 a Copebrás passou a fazer parte do Grupo Anglo American e, nesse mesmo ano, expandiu a produção de rocha fosfática.

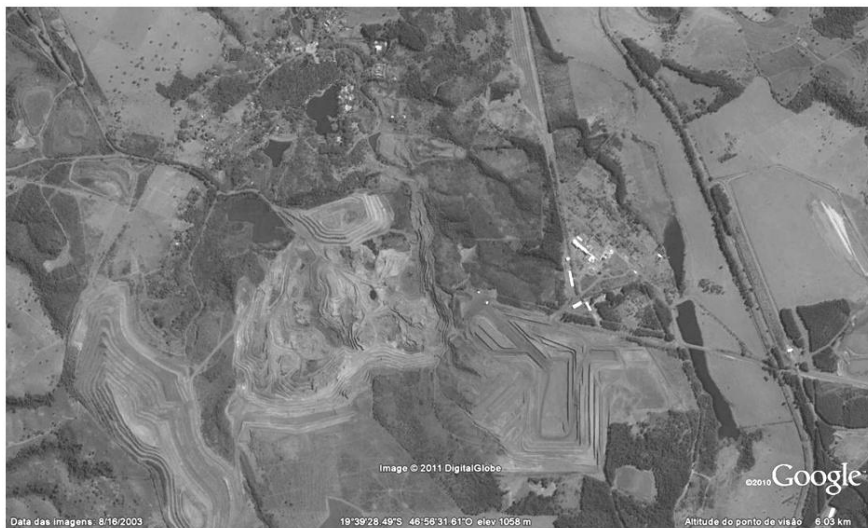
Entre 2001-2003, com o Projeto Goiás, ampliou o complexo produtivo em Catalão, por meio das suas unidades de ácido sulfúrico e fosfórico, assim como das unidades de acidulação, granulação e de produção de fosfato bicálcico.

Essa produção se transforma na comercialização de: fertilizantes de alta concentração (140 mil toneladas de P_2O_5) e de baixa concentração (140 mil toneladas de P_2O_5), fosfato bicálcico (51 mil toneladas de P_2O_5) e ácido fosfórico (93 mil toneladas de P_2O_5).

É sabido que todos esses produtos contêm teores residuais de terras raras, os quais, entretanto, não têm sido divulgados.

5.8. Terras raras Associadas ao Minério de Ti

O depósito de titânio de Catalão I (Figura 19) foi estudado, na década de 70, em áreas diferentes, por duas empresas: Mineração Bálsamo/CBMM e METAGO.



Fonte: Google Earth (imagem de 16/08/2003)

Figura 19 - Localização do projeto Araxá a NE da mina de fosfato (VALE) e a N da mina de nióbio (CBMM)

5.9. Terras raras na Área da Extinta Mineração Bálamo Ltda

A Mineração Bálamo realizou trabalhos de pesquisa numa área do extremo sudeste do domo de Catalão, no local designado por Lagoa Seca.

Foi definido um corpo mineralizado de anatásio com 28 milhões de toneladas e teor de 26% de TiO_2 recoberto, em parte, por um depósito de fosfato com 25 milhões de toneladas de minério e teor médio de 11% de P_2O_5 . Ambos os depósitos são de origem residual e desenvolveram-se no manto de intemperismo (SOUZA, 1982).

Os trabalhos de avaliação apoiaram-se em poços de pesquisa (168) furos de trado (9), furos de sonda verticais (53) com profundidades entre 29,8 e 120,8 metros (média, 73,9m), bem como em estudos mineralógicos, petrográficos e análises químicas (mais de 5.500 para cada elemento), especialmente, para $\text{CeO}_2 - \text{La}_2\text{O}_3 - \text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Nb}_2\text{O}_5 - \text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$.

O estudo mineralógico revelou os seguintes minerais no minério de Ti: magnetita (26%), anatásio (19,5%), vermiculita (13%), hematita+goethita+limonita (13%), quartzo (10%), ilmenita (9%), gorceixita/ goyasita+perovsquita+vermiculita (6%).

Os elementos de terras raras estariam associados, essencialmente, à apatita e a fosfatos secundários de terras raras. Os minérios apresentam um teor médio de 2 a 3% de terras raras, o que representaria 500.000 t de terras raras contidas no depósito de Ti, na área da Mineração Bálamo. Deve ser destacado que as terras raras devem ser consideradas como subproduto, tendo em vista as expressivas reservas de minerais de Ti e de P_2O_5 .

5.10. Terras raras na Área da Extinta METAGO

A área mineralizada está situada a leste da depressão central, formando um corpo alongado N-S.

As reservas medidas+indicadas+inferidas, com teores acima de 25% de TiO_2 são da ordem de 18 milhões de toneladas.

Entretanto, há referências de que esses valores são certamente muito superiores, dado que se basearam em furos de sonda até 50m. Está bem reconhecido, entretanto, que naquela área a mineralização tem continuidade até profundidades que ultrapassam 100m (CARVALHO, 1974a, 1974b).

À época de preparação desse texto não havia dados oficiais disponíveis quanto aos teores de terras raras no minério de Ti nessa área. É possível, todavia, presumir que por se tratar de um mesmo depósito, as características químico-mineralógicas devem ser análogas. Isto é, o minério de Ti deve conter de 2 a 3% de terras raras, significando que podem existir 360.000 t de terras raras contidas no minério de Ti, até ao nível de 50m.

5.11. Terras raras Associadas ao Minério de Nb e na Escória de Produção da Liga de Fe-Nb

Desconhecia-se, até a elaboração desse texto, a existência de estudos mais aprofundados sobre as ocorrências de terras raras associadas ao minério de Nb, assim como sobre o que ocorre com o prolongamento dos silixitos de Lagoa Seca para a área da Mineração Catalão de Goiás, onde são reconhecidos em vários locais.

BAEKER (1983) refere que, no solo residual laterítico ocorrem numerosos fosfatos secundários de terras raras. VALARELLI (1971) cita, entre outros minerais a ocorrência de: florencita, goyazita, rabdofanita e monazita.

Em agosto de 2009, a empresa Anglo American, com duas minas em Catalão I, Mineração Catalão de Goiás (nióbio) e Copebrás (fosfatos), iniciou o Projeto Tailings, o qual visa recuperar Nb do rejeito gerado durante a etapa de flotação de fosfato, da sua mina de Catalão I. A partir deste rejeito é produzido um concentrado de Nb com 48% de Nb₂O₅.

5.12. Terras raras em Catalão I

Resumem-se na Tabela 24 os recursos totais de terras raras em Catalão I.

Tabela 24 – Recursos totais de elementos de terras raras em Catalão I

Tipo de ocorrência	Reservas (t)
Depósito do Córrego do Garimpo (teor de corte 2%)	78.664.212
Depósito de Lagoa Seca Norte (teores: de corte, 2% - médio, 5,51%)	46.063.962
Área da ex-Mineração Bálsamo: TR (2 a 3% CeO ₂ + La ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃) associadas a minério de Ti	500.000
Área da ex-Metago: TR (2 a 3%) associadas a minério de Ti	360.000
TR associadas ao minério de Nb de Catalão I e à recuperação do pirocloro no Projeto “Tailing”	NI
TR associadas à escória de produção da liga Fe-Nb, incluindo o pirocloro do Projeto “Tailing”	NI

NI: Não informado

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.13. Terras raras em Catalão II

Catalão II é um complexo carbonatítico circular, com 4,3 km de diâmetro situado poucos quilômetros a norte de Catalão I.

O complexo alcalino-carbonatítico de Catalão II mostra-se fortemente intemperizado. Os únicos afloramentos observados correspondem a uma rocha silicosa semelhante ao silexito de Catalão I.

As principais litologias reveladas em trabalhos de subsuperfície são: silexitos, glimeritos, carbonatitos predominantemente calcíticos (sövitos) e foscoritos.

5.14. Terras raras Associadas ao Minério de Nb

A mineração Diadema/CBMM desenvolveu, há cerca de 30 anos, trabalho amplo de pesquisa, consistindo de mapeamentos topográfico, geológico e geofísico; amostragem de solo superficial (1.172 amostras); abertura de uma centena de poços rasos de pesquisa; abertura de 20 poços profundos; duas centenas e meia de furos de trado e de 28 furos de sonda, tendo como objetivo definir as ocorrências de Nb (pirocloro) na sua área (LAPIDO LOUREIRO, 1994).

Com as numerosas amostras coletadas foram compostas duas amostras médias: uma superficial (S) e outra profunda (P). A primeira revelou um teor médio de 2,19% de $CeO_2 + La_2O_3$, enquanto a segunda, a de profundidade, mostrou um teor médio de 1,76%. A partir desses dados foi definida a existência de 900.000 toneladas de minério de nióbio que conteriam 18.000 toneladas de óxidos totais de terras raras (VALARELLI, 1975).

Os direitos minerários pertencem, atualmente, à Mineração Catalão de Goiás S/A (Anglo American), que extrai o minério e o mistura com o de Catalão I, onde são processados para a produção da liga de Fe-Nb.

5.15. Terras raras em Araxá

O complexo carbonatítico de Araxá situa-se a 6 km a sul da cidade de Araxá, município do mesmo nome, Estado de Minas Gerais.

Essa região é reconhecida pelo enorme potencial mineral para nióbio, fosfato e terras raras. As fontes de terras raras estão localizadas em áreas já bem conhecidas, as quais tem condições de acesso privilegiado, ocorrendo entre duas operações mineiras de grande porte: VALE e CBMM.

A intrusão do complexo originou, por arqueamento dos sedimentos do Grupo Araxá que o envolvem, sendo uma estrutura dômica, muito erodida, da qual resta um anel de quartzitos, subcircular, com 6 km de diâmetro, que protegeu da erosão os produtos resultantes do intemperismo das rochas do complexo.

As terras raras em Araxá ocorrem de três maneiras distintas, as quais serão detalhadas abaixo:

- constituindo um depósito de enriquecimento residual formado por material terroso – “Área Zero”;
- ligadas ao minério de nióbio;
- associadas ao minério fosfático.

No primeiro caso concentram-se, principalmente, numa camada de material ferruginoso que muitas vezes aparece logo abaixo do solo superficial.

5.16. Depósito da “Área Zero”

O depósito de terras raras designado por “Área Zero” situa-se na parte norte do complexo. Tem forma elipsoidal, com o seu eixo maior orientado E-W e ocupa uma área de 900 x 300m. Um dos estudos da geologia e do potencial mineiro desta área apoiou-se em mapeamento geológico, levantamento radiométrico, abertura de uma centena de poços até 27m de profundidade, três furos de sonda e quatro galerias de flanco de encosta. Essas ações permitiram delimitar

o depósito e cubar uma reserva superior a 700.000 toneladas de minério, com um teor de 13,5% de óxidos totais de terras raras (CASTRO & SOUZA, 1970).

O depósito formou-se por enriquecimento supergênico resultante do intemperismo de rochas carbonatíticas subjacentes, ricas em terras raras. A sua concentração seria consequência de uma concentração residual. O corpo enriquecido em terras raras caracteriza-se pela horizontalidade dos níveis mineralizados, com faixas mais ricas em terras raras e urânio intercaladas entre camadas mais pobres nestes elementos. /.../ A potência da camada mineralizada varia de 3 a 18m e é, em média de 10m./.../ A zona principal de enriquecimento situa-se entre a superfície e o nível freático (ob. cit.).

A partir de amostras de canal de um metro, coletadas sistematicamente em uma centena de poços abertos na Área Zero, numa malha quadrada de 30m, foi constituída uma amostra média resultante da homogeneização de 500 amostras, que revelou a seguinte composição mineralógica: goyazita (49%), monazita (18%), quartzo (15%), goethita (9%), rutilo (5%), pirocloro (2,5%), magnetita (0,5%), zircão (0,5%), barita (0,5%) (MENDES, MURTA & CASTRO, 1968).

Ainda, como parte desse estudo, foram constituídas outras duas amostras, resultantes, também, da homogeneização de amostras de superfície (273-S) e dos níveis inferiores (273-I), cujas composições químicas aparecem na Tabela 25.

Tabela 25 – Composição química (%) do minério, da goyazita e da monazita da “Área Zero”, Araxá

	AB	273-S	273-I	Goyazita	Monazita
SiO ₂	17,40	20,00	19,60	1,20	5,58
Al ₂ O ₃	14,70	9,00	5,80	24,02	5,40
Fe ₂ O ₃	11,60	40,00	36,50	3,51	12,01
FeO	---	0,23	0,31	---	---
P ₂ O ₅	9,93	5,40	8,90	17,80	13,25
CaO	0,91	0,67	8,50	1,44	2,43
TiO ₂	6,94	3,40	3,30	3,60	2,74
BaO	5,58	2,30	2,20	11,32	1,20
Na ₂ O	---	0,02	0,04	---	---
K ₂ O	---	0,03	0,03	---	---
MnO	0,60	2,23	1,29	---	0,30
PbO	0,65	0,24	(Pb) 0,23	0,44	1,80
Nb ₂ O ₅	2,21	1,10	0,87	1,11	1,56
SrO	2,21	0,66	0,58	5,76	0,71
MgO	---	0,10	0,19	---	---
ZrO ₂	0,47	0,23	0,23	0,27	0,08
V ₂ O ₅	---	0,07	0,06	---	---
LiO ₂	---	0,01	0,01	---	---
SO ₃	0,41	---	---	1,41	0,43
S	---	0,15	0,16	---	---
F	---	0,10	0,39	---	---
Cl	---	0,01	0,01	---	---
CO ₂	---	0,11	0,33	---	---
Ta ₂ O ₃	---	0,1	0,1	---	---
Ce ₂ O ₃	6,28	3,20	2,70	3,24	21,84
La ₂ O ₃	3,80	2,00	1,60	2,44	12,15
Nd ₂ O ₃	1,58	(Nd) 0,66	(Nd) 0,62	0,85	5,64
Sm ₂ O ₃	0,19	0,23	(Sm) 0,16	0,08	0,59
Pr ₆ O ₁₁	0,49	(Pr) 0,48	(Pr) 0,38	0,23	1,98
Y ₂ O ₃	0,19	0,09	0,06	0,10	0,40
U ₃ O ₈	0,05	0,01	0,01	0,09	0,03
ThO ₂	0,60	---	---	0,10	0,35
P.F.	9,87	8,63	7,04	15,30	6,30

Fontes: MENDES et al., 1968; SILVA, 1978

Resultados de outros estudos apontam que as reservas acumuladas de terras raras contidas no minério da “Área Zero” de Araxá somam 1.296.000 toneladas de óxidos totais de terras raras (Tabela 26), cuja distribuição de teores está mostrada na Tabela 27 (GROSSI SAD & TORRES, 1976).

Tabela 26 - Reservas acumuladas em termos de de óxidos totais de terras raras, ‘Área Zero’, Araxá (MG)

Intervalo de teores (%)	Teor mínimo ponderado (%)	Reservas de óxidos totais de terras raras (t)
14-15	14,17	102.000
13-15	13,54	222.000
12-15	12,75	456.000
11-15	12,06	750.000
10-15	11,19	1.296.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES, 1976

Tabela 27 – Reservas em termos de óxidos de terras raras contidas no minério da ‘Área Zero’, Araxá (MG)

Teores de óxidos totais de terras raras (%)	Reservas (t)
10-11	546.000
11-12	294.000
12-13	234.000
13-14	120.000
14-15	84.000
15-16	18.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES, 1976

Estudos realizados, a partir de dados históricos, pela empresa MBaC, os quais foram divulgados durante o I Seminário Brasileiro de Terras raras (SILVA & BRAGA, 2011), mostraram que é a área central do depósito, a conter os maiores teores de terras raras. Esta área é coincidente com aquela designada por Área Zero, sendo que os dados históricos indicam um potencial de 2 a 4 milhões de toneladas, com 8-10% em teores de óxidos totais de terras raras. Consta, ainda, haver 112 milhões de toneladas com 10,2% P_2O_5 e 70 milhões de

toneladas com 0,75% Nb₂O₅. O principal mineral de terras raras é a monazita (Tabela 28), que está distribuído numa faixa de granulometria entre 1,65+0,037mm.

Tabela 28 - Composição (%) mineralógica do minério de terras raras de Araxá

Mineral	Composição (%)
Monazita	15
Pirocloro	2
Gorceixita-goiazita	31
Óxido/hidróxido de Ferro	8
Ilmenorutilo	2
Rutilo	1
Óxido de MnFeBa	1
Quartzo	39
Zircão	0
Outros	0

Fonte: SILVA & BRAGA, 2011.

A MBaC realizou recentemente reanálises em novas amostras disponíveis que mostraram:

- a Área Zero tem recursos inferidos de 2,7 milhões de toneladas com 8,4% óxidos totais de terras raras e 1,4% Nb₂O₅;
- os recursos totais inferidos alcançaram 8 milhões de toneladas com 5,9% em termos de óxidos totais de terras raras;
- adicionalmente há um potencial geológico a ser determinado, que contém entre 28-34 milhões de toneladas, com teores entre 4-6%, em termos de óxidos totais de terras raras.

Recentemente, esse mesmo relatório da MBaC informou, a partir dos resultados dos testes metalúrgicos, ainda em andamento, que:

- minérios de nióbio e fosfato podem ser processados utilizando tecnologias de domínio público; e

- o minério de terras raras é passível de ser lixiviado por solução de ácido sulfúrico ou por fusão alcalina e isolado para produzir óxidos de alta pureza por meio de extração por solvente ou processos de trocas iônicas (Relatório MBaC, 2011).

A Tabela 29 mostra uma análise típica da distribuição de óxidos totais de terras raras, no depósito da MBaC.

Tabela 29 – Composição em termos de óxidos totais de terras raras (OTR) e teor de Nb₂O₅ no minério da Área Zero

Óxidos totais de terras raras + Y	Distribuição em massa (para 100% de óxidos totais de terras raras)
La ₂ O ₃	29,46
CeO ₂	48,64
Pr ₆ O ₁₁ - Nd ₂ O ₃	18,06
Sm ₂ O ₃	1,59
Eu ₂ O ₃	0,33
Gd ₂ O ₃	0,64
Dy ₂ O ₃	0,30
Yb ₂ O ₃	0,04
Y ₂ O ₃	0,94
	100,00
Nb ₂ O ₅	1,83%

Fonte: MBaC, 2011

5.17. Terras raras no Morro do Ferro – Complexo Alcalino de Poços de Caldas (MG)

O Morro do Ferro situa-se no complexo alcalino de Poços de Caldas, 15 km ao sul da cidade do mesmo nome, aproximadamente, no centro da chaminé alcalina. (FRAENKEL et al., 1985 ; LAPIDO-LOUREIRO & SANTOS, 1988).

Pelas suas dimensões (880 km²) e variedades petrográfico-mineralógicas, o complexo alcalino de Poços de Caldas, gerado por uma atividade magmática policíclica, é um dos mais notáveis e melhor estudados do mundo. Há numerosos e completos trabalhos, incluindo algumas teses de doutoramento, entre as quais duas defendidas no Instituto de Geociências da USP e uma sobre o Morro do Ferro,

apresentada na Universidade de Zürich, Suíça, na qual se trata da presença de carbonatitos, em profundidade.

O Morro do Ferro é constituído por uma rede (stockwork) de magnetita cortando rochas alcalinas: tiguaítos (predominantes em profundidade), fonólitos e foiaítos.

O seu topo apresenta a cota mais alta do Planalto: 1.540 m. O stockwork de magnetita comporta-se como um ‘esqueleto’ que sustenta e preserva da erosão o Morro do Ferro.

O Morro do Ferro apresenta a maior radioatividade natural conhecida, a qual é devida principalmente ao tório. Essa particularidade deu origem a um projeto internacional, coordenado pelo Instituto de Biofísica da UFRJ. A equipe internacional estudou durante vários anos os efeitos da radioatividade no bioma natural, na agropecuária local e em espécies aí colocadas para completar o estudo. Estudou-se, por exemplo, o efeito que teria na produção leiteira e de abate, a partir da avaliação feita em gado confinado na área. Os resultados foram apresentados em mais de uma dezena de relatórios.

Quanto às terras raras, a rocha hospedeira é um solo siltítico-argiloso, por vezes muito ferruginoso, com densa rede de vênulas de magnetita e limonita.

Este material terroso só foi ultrapassado em furo profundo (a 425 m), executado pela ex-Nuclebras, quando foi encontrado tinguaiúto muito alterado. A rocha encaixante é a “rocha potássica”, designação local do tinguaiúto hidrotermalizado (UTSUMI et al., 1971) totalmente sericitizado.

Além de magnetita, pirita, rutilo/anatásio, foram identificados em amostras de superfície, por microscopia eletrônica de varredura e microssonda; um silicato de terras raras (“monazita com sílica”), zircão com terras raras, coffinita, chlopinita e pirocloro. O silicato de terras raras é o mineral mais abundante, estando disseminado uniformemente nas amostras estudadas (FUJIMORI, 1982).

O mesmo autor enumera como minerais toríferos do Morro do Ferro: allanita, bastnaesita, cerianita, torogumita, cheralita, fersunita e silicato de terras raras (FUJIMORI, 1984).

Em amostras de furos rasos de sonda foram identificados outros minerais: thorbastnaesita, cheralita zirconífera com alto teor de Th e Zr, cheralita com alto teor de Ce e Eu, thorogumita ou torita, zircão torífero, microlita (fergusonita) e óxidos de terras raras amplamente adsorvidos na matriz argilosa (FUJIMORI, 1984).

Segundo esse mesmo autor, o elemento Th foi trazido juntamente com as terras raras pela solução mineralizante de origem magmática, na fase final, durante o processo de seritização que deu origem à “Rocha Potássica”.

Os minerais primários, silicatos de terras raras toríferos e/ou allanita torífera, podem ter sido decompostos pela ação dos ácidos resultantes da oxidação da fluorita e pirita, e originaram o enriquecimento em terras raras e Th. O mineral secundário predominante é bastnaesita torífera (FUJIMORI, 1984).

Sintetizando as conclusões resultantes de trabalhos anteriores, BARRETO & FUJIMORI (1986) citam:

- como mineral primário rico de Th e de elemento de terras raras, um silicato de fórmula $(\text{TR,Th,U,Ca})\text{SiO}_4$ que terá dado origem a minerais secundários [cheralita, monazita, microlita (ou pirocloro), zircão e allanita];
- como mineral secundário ocorre thorbastnaesita $\text{Th}(\text{TR,Ca})(\text{CO}_3)_2\text{F}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, que ocorre provavelmente como o mineral secundário mais abundante, conforme, ainda, BARRETO & FUJIMORI, 1986.

MIEKELEY et al. (1982), por outro lado, apresentam a seguinte composição para o minério de terras raras-Th do Morro do Ferro, tendo sido de 15,4% a perda ao fogo, conforme mostra a Tabela 30.

Tabela 30- Morro do Ferro - Composição do minério de terras raras e Th

Óxidos	Teor (%)	Óxidos totais de terras raras (%)	
SiO ₂	18,9	La ₂ O	2,35
Al ₂ O ₃	18,9	CeO ₂	3,60
Fe ₂ O ₃	26,6	Pr ₆ O ₁₁	0,56
FeO	2,4	Eu ₂ O ₃	0,06
MgO	0,6	Nd ₂ O ₃	1,40
CaO	0,11	Gd ₂ O ₃	0,12
K ₂ O	2,14	DY ₂ O ₃	0,16
Na ₂ O	0,06	Sm ₂ O ₃	0,27
MnO	0,76	Yb ₂ O ₃	0,008
P ₂ O ₅	0,65	Y ₂ O ₃	0,22
TiO ₂	2,00	ThO ₂	21,30
CO ₂	0,2		
S	0,03		
F	0,62		

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Segundo esses autores, os baixos teores de SiO₂, K, Na, Mg, P e Fe²⁺, indicam ter havido alto grau de lixiviação. Há, por outro lado, uma concentração de Al (gibsite) e de Fe³⁺ (porquanto a magnetita é oxidada dando origem a hematita e limonita). São também abundantes os elementos de baixa mobilidade, tais como: Ti, Th e certos elementos de terras raras, confirmando as condições de oxidação e concentração residual. O valor da perda ao fogo (P.F.) é alto. Deve-se à perda de água dos hidróxidos de Fe e Al. A rocha hospedeira da mineralização de terras raras configura-se, pois, como uma bauxita ferruginosa.

A amostra seletiva de um intervalo de 5m, com teor de 14,3% de óxidos totais de terras raras, mostrou que a bastnaesita representa 22,5% do minério ou 74,9% em termos de óxidos totais de terras raras, sendo, essencialmente, Ce₂O₃ (32,8%), La₂O₃ (22,1%), Nd₂O₃ (11,5%) e Pr₆O₁₁ (4,4%).

Outra análise para elementos de terras raras em uma amostra do minério do Morro do Ferro foi realizada no laboratório de

Controle de Qualidade da NUCLEMON e apresentou os seguintes valores para óxidos totais de terras raras, representado por: TR_2O_3 ($\text{TR}_2\text{O}_3 + \text{ThO}_2 + \text{U}_3\text{O}_8$), 11,7%; (ThO_2 , 1,1%, U_3O_8 , 0,02%); ZrO_2 0,40% e SiO_2 18,3% (MIEKELY et al., 1982).

Outras análises em termos de óxidos totais, após calcinação a 900°C, mostraram os seguintes resultados (Tabela 31).

Tabela 31 – Composição da monazita do Morro do Ferro em termos de óxidos totais de terras raras, após calcinação a 900°C

ETRL*	(%)	ETRP**	(%)
	86,85		3,40
La_2O_3	28,0	Gd_2O_3	1,2
CeO_2	40,6	Tb_4O_7	< 0,05
Pr_6O_{11}	4,2	Dy_2O_3	0,4
Nd_2O_3	12,8	Ho_2O_3	0,1
Sm_2O_3	1,1	Er_2O_3	0,1
Eu_2O_3	0,15	Yb_2O_3	< 0,05
		Y_2O_3	1,5
	ThO_2 9,7%		

*elementos das terras raras da fração leve

**elementos das terras raras da fração pesada

Fonte: MIEKELEY et al. (1982)

Os resultados analíticos de 28 amostras de 5m, correspondentes a 139m de galeria de flanco de encosta (reaberta para essa amostragem), assim como de 30 amostras de três furos de sonda (CBMM/MINEGRAL/PAULO ABIB ENGENHARIA) definiram um teor médio de 3,9% de óxidos totais de terras raras.

As reservas do Morro do Ferro indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises são, entretanto, de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de óxidos totais de terras raras, o que corresponde a 300.000t de óxidos totais de terras raras contidos (FRAYHA, 1962).

WABER (1992) afirmou que o depósito de terras raras no Morro do Ferro, de origem supergênica, se formou por processos de lateritização, a partir de rochas de composição carbonatítica. Ele inferiu, a partir de dados mineralógicos, geoquímicos, petrológicos e

de cálculos de balanço de massa, que a rocha hospedeira alterada, era de composição carbonatítica e enriquecida em Th e elementos de terras raras, em relação às rochas silicáticas encaixantes. A intrusão do carbonatito causou a fenitização dos fonolitos circundantes, com alteração potássica, a qual foi seguida pela mineralização, do tipo veio, de Th – elemento de terras raras associada à fluorita, carbonato, pirita e zirconita. A subsequente lateritização destruiu completamente o carbonatito, originando o enriquecimento supergênico de Th e elemento de terras raras (WABER, 1992).

Esse mesmo autor afirma, ainda, que o intemperismo inicial do carbonatito criou um ambiente químico favorável à formação de carbonato e dos fosfatos complexos de elementos de terras raras nas águas subterrâneas. Tal fato deve ter restringido a dissolução das fases primárias dos elementos de terras raras. O Ce^{3+} foi oxidado para Ce^{4+} , retido, junto com o Th, em minerais secundários como a cerianita e a torianita, sendo adsorvido nos pouco cristalizados hidróxidos de Fe e Al. Por outro lado, os elementos de terras raras trivalentes são menos retidos, portanto, ficam mais disponíveis para a formação de minerais secundários (Nd-lantanita) e adsorção, em maiores profundidades.

Quanto às reservas, WABER (1992) limita-se a reproduzir os dados de FRAYHA (1962), que correspondem a: 300.000 toneladas métricas de óxidos totais de terras raras e 50.000 de ThO_2 . Por outro lado, WEDOW (1967), compilou para essas mesmas reservas 35.000 toneladas métricas de elemento de terras raras e 12.500 toneladas de Th_2O , dependendo do *cut-off*, teor e profundidade considerados para o minério. Concluiu-se, à época, que o depósito não havia sido explorado comercialmente, porque o minério se revelou muito refratário, em relação aos métodos convencionais, tornando onerosa a extração das terras raras.

O CETEM fez um estudo sobre a viabilidade de concentração física do minério de terras raras do Morro do Ferro. Os resultados obtidos com a simulação de um circuito fechado "mostraram que é possível a obtenção de um concentrado final com 22,62% de óxidos totais de terras raras e uma recuperação final de 72,12%. Foi utilizado um circuito com flotação primária e duas etapas de limpeza. No caso

dos ensaios usando ácido oleico como coletor, foram obtidos os melhores resultados para as duas amostras A e B" (SAMPAIO; LINS; PORPHÍRIO, 1989). No caso da amostra A (3,19% óxidos totais de terras raras), foi obtido concentrado final com teor de 20,25% de óxidos totais de terras raras, enquanto para a amostra B (3,49% óxidos totais de terras raras), foi alcançado o teor de 23,58%. Os dois ensaios foram conduzidos com a temperatura de polpa a 80°C. "Dos estudos de flotação realizados conclui-se que: (i) o baixo teor do minério (amostras A e B); a grande quantidade de finos, cerca de 62% abaixo de 37 micrometros e a liberação não satisfatória do mineral bastnaesita, que ocorre majoritariamente em aglomerados, prejudicaram sensivelmente a seletividade do processo; (ii) a grande quantidade de óxidos de terras raras contida na fração fina ($\cong 50\%$) desestimula, em princípio, a deslamagem do minério antes da flotação; (iii) o aquecimento da polpa nas etapas de condicionamento e flotação mostrou ser fundamental para a obtenção de resultados pelo menos razoáveis em termos de teor e recuperação: 22% e 70%, respectivamente, considerando-se a recirculação dos produtos intermediários e usando-se ácido oleico como coletor" (SAMPAIO, LINS, PORPHÍRIO, 1989).

5.18. Terras raras na Região de São João del Rei (MG) – Pegmatitos e Formações Elúvio-Aluvionares

Na região de São João del Rei, ao norte da cidade, são conhecidas mineralizações tântalo-niobo-estaníferas espalhadas numa área retangular de 100 x 20km, alongada, segundo a direção N 70° W, entre os meridianos 43° 45' e 44° 45'. Estão relacionadas a numerosos pegmatitos graníticos.

Os pegmatitos e os aluviões deles resultantes têm dado origem à atividade mineira, principalmente na margem direita do rio das Mortes.

Os pegmatitos são geralmente subverticais com espessuras variando de um a até alguns metros. Apresentam-se na parte apical das intrusões, sob a forma de lentes sub-horizontais, que podem atingir 10-20m de espessura.

Não se conhece os teores de terras raras nas mineralizações de cassiterita, sabendo-se, contudo, que o xenotímio está presente.

A região de São João del Rei mostra bom potencial para a existência de depósitos eluvio-aluvionares de xenotímio e/ou monazita, resultantes do intemperismo e enriquecimento residual de pegmatitos e talvez de gnaisses. (GUIMARÃES, 1956).

PAULO ROLF (1948) entendia que havia um futuro promissor para essa região, como sendo produtora de areias monazíticas, mas que esse futuro dependeria de um estudo detalhado dos seus aluviões.

DJALMA GUIMARÃES (1956a) apresentou a composição mineralógica de concentrados da região de São João del Rei, correspondentes às localidades de Vargem Grande, Ribeirão Santo Antônio e Córrego Laginha (Tabelas 32, 33 e 34).

Ressaltam, no concentrado de Vargem Grande, os altos teores de xenotímio e de monazita, em todas as frações acima de oito malhas mesh Tyler (< 2mm).

Em relação a Vargem Grande, os números aparecem a seguir:

Tabela 32 – Composição mineralógica (%) do concentrado de Vargem Grande, município de São João del Rei – MG

Mesh	+8	+10	+14	+20	+32	+48	+65	-65	Total
Frações	3,8	5,7	8,9	10,0	11,9	8,2	12,5	38,4	99,4
Monazita	41,4	25,7	33,5	40,7	54,0	52,4	18,2	14,7	28,75
Xenotímio	38,6	66,7	55,0	50,0	37,0	31,5	12,0	9,0	27,05
Tantalita	4,8	--	--	--	--	4,7	7,9	8,5	4,81
Zircão	--	--	0,3	1,3	3,0	1,5	1,2	8,0	3,86
Cassiterita	15,2	7,2	10,0	6,0	4,4	0,4	0,3	0,4	3,21
Magnetita	--	--	1,2	1,3	1,0	2,7	2,8	1,4	1,50
Granada	--	--	--	0,3	--	0,6	0,1	0,2	0,18
Rutilo	--	--	--	0,1	--	0,7	0,1	--	0,08
Ilmeita	--	--	--	--	0,2	--	--	--	0,01
Quartzo	--	0,4	--	0,3	0,4	5,5	57,4	57,8	29,94
TOTAL (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	99,39

Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Com relação às demais localidades as Tabelas 33 e 34 mostram os principais resultados.

Tabela 33 – Composição mineralógica de concentrado de fundo de bateia do Córrego Laginha, Fazenda do Ouro Grosso, Distrito de Itutinga, Município de Lavras, MG

Mesh	+4	+8	+14	+20	+65	Total
Frações (a)	4,9	7,6	7,7	4,8	16,5	---
Cassiterita	98,3	96,2	87,7	64,2	0,7	40,70
Ilmenita	0,2	0,1	3,2	3,8	55,5	34,11
Magnetita	---	---	---	1,3	4,0	6,47
Hematita	0,1	0,1	0,5	8,2	11,8	2,88
Djalmaíta	0,4	0,5	3,3	6,5	0,4	1,75
Monazita	0,5	0,3	0,1	2,6	---	1,52
Pirita (b)	---	---	---	0,6	---	0,96
Zircão	---	---	---	---	1,2	0,20
Estaurolita	---	---	---	---	0,4	0,07
Rutilo	---	---	---	0,5	---	0,04
Cianita	---	---	---	0,7	---	0,04
Quartzo	0,5	2,8	5,2	11,6	---	---

(a) Frações em peso %; (b) Pirita limonitizada

Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Tabela 34 – Composição mineralógica do concentrado de amostras de sondagens de aluviões (arenosos) do Ribeirão Santo Antônio, município de São João del Rei

Mesh	+6	+14	+32	+65	Total
Frações % (a)	1,81	13,63	40,07	0,85	---
Granada	100,0	94,4	26,1	2,6	54,45
Granada dec.	---	2,5	31,6	23,6	16,92
Tantalita	---	---	16,3	21,0	9,14
Casiterita	---	---	11,6	5,6	6,92
Quartzo	---	---	6,5	16,4	4,33
Epidoto	---	---	0,2	0,9	2,21
Monazita	---	---	2,5	4,3	2,24
Magnetita	---	---	1,0	10,9	1,81

Tabela 34 (cont.)– Composição mineralógica do concentrado de amostras de sondagens de aluviões (arenosos) do Ribeirão Santo Antônio, município de São João del Rei

Mesh Frações % (a)	+6	+14	+32	+65	Total
	1,81	13,63	40,07	0,85	---
Djalmaíta	---	---	3,4	3,7	1,70
Ilmenita	---	---	0,6	4,0	1,44
Estauroлита	---	---	0,2	---	0,18
Zircão	---	---	---	7,0	0,14
Rutilo	---	---	---	---	0,01
ROCHA		3,1			0,42
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(a) Frações em peso %

Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Chama-se a atenção para o fato de que mediante a utilização de etapas de peneiramento, ser possível obter concentrados ricos de granada (54,45%) + tantalita (9,14%) + cassiterita (6,92%) + monazita (2,24%).

Além destas ocorrências, ROLF (1951) refere que “o xenotímio está presente em vários pegmatitos, também produtores de monazita, especialmente na região do Espigão dos Pinheiros, Bacia do Mosquito entre os municípios de Prados, São João del Rei e Rezende Costa /.../ certas amostras mostraram-se como misturas mais ou menos íntimas de xenotímio e monazita”.

5.19. Terras raras Associadas a Minerai s Pesados no Litoral Brasileiro

No litoral brasileiro, à exceção da parte norte do litoral fluminense, não se tem notícias de que tenham sido feitos estudos, nas últimas três décadas, para a definição de novas ocorrências de minerais pesados, incluindo as terras raras.

Durante o longo período que decorreu desde a descoberta de monazita, no final do século XIX, em Cumuruxatiba, até os dias de hoje, acumularam-se muitos dados que mostram serem frequentes, e não raro extensas, as ocorrências de minerais pesados no litoral

brasileiro, formando os seguintes tipos de concentrações, segundo VANUZZI et al., 1984:

- pequenos bolsões (teor >30%) em praias atuais;
- em paleopraias (teor >10%);
- extensas áreas formadas por dunas eólicas (teor <10%).

As areias pesadas do litoral brasileiro são, em geral, uma associação mineralógica dos seguintes minerais: ilmenita (42 a 95%), zircão (3 a 24%), monazita (0,55 a 18, 8%), rutilo (0,1 a 4,2%) e outros. A ilmenita é sempre o mineral predominante.

Em 1967 foi realizado um voo de helicóptero entre Rio de Janeiro e Fortaleza, ao longo do litoral, a uma altitude de 100m, com registro radiométrico contínuo. No percurso foram assinaladas 101 ocorrências anômalas, a saber: 61 no percurso Rio-Salvador, a maioria coincidindo com ocorrências de monazita já conhecidas, enquanto 40 foram registradas no itinerário Salvador-Fortaleza (Tabela 35).

Tabela 35 – Anomalias aerocintilométricas detectadas em voo de helicóptero, no litoral, entre Salvador e Fortaleza

Voo Salvador – Aracajú				
Nº de Ref.	Intens. (cps) ^(a)	Intens. / 'bg' ^(b)	Extens. (cm) ^(c)	Indicação dos limites geográficos
S-A-11	170	3	---	Rios Jacuípe e Pojuinhos/Jornada
S-A-2	170	3	1,5	Farol e rio Sauípe
S-A-3	200	3	3,5	Subaúma e rio Inhambupe
S-A-4	210	3	2	Idem
S-A-5	240	3	1,5	Seribinha e barra da Estância
S-A-6	380	4,7	2,5	Idem
Voo Aracajú – Recife				
A-R-1	190	1,7	2,5	Paripueira e Rio Sapucaí
A-R-2	180	1,7	3,5	A norte do rio Sapucaí
A-R-3	460	3,5	2,5	Ao sul da barra do Camadarire
A-R-4	220	3	5	Barra do Uno e Tamandaré
A-R-5	290	4	2	Tamandaré e Guadalupe
A-R-6	250	3,1	1	Guadalupe e barra do Sirinhaém
A-R-7	270	4	4	Barra do Sirinhaém e sul de Recife

Tabela 35 (cont.) – Anomalias aerocintilométricas detectadas em voo de helicóptero, no litoral, entre Salvador e Fortaleza

Voo Recife – Natal				
R-N-1	280	4	5	Recife e Pontinhas
R-N-2	230	3,6	1,7	Pitimú (PR)
R-N-3	340	6,5	0,5	Formação Barreiras ^(d)
R-N-4	320	6	0,8	Formação Barreiras ^(d)
R-N-5	240	4	3,5	Coqueirinho
R-N-6	320	6	8,5	Sul do Farol da Formosa (dunas)
R-N-7	280	4	2	Idem
R-N-8	170	3,4	4	Sul da baía de Cunhaú
R-N-9	240	6	1,5	Norte da baía de Cunhaú
R-N-10	280	4,6	1,8	Tibau do Sul e Natal
Voo Natal – Mossoró				
R-N-11	210	2,6	2,8	Barra do Maxaranguape
R-N-12	200	2,5	1,6	Rio do Fogo e Peroba
R-N-13	150	3	4	Entre Ponta do Reduto e as dunas
R-N-14	270	4	0,5	Região de dunas e Ponta 3 Irmãos
R-N-15	200	4	3,3	Norte de São Bento do Norte
R-N-16	220	3,2	2,5	Sul de Canto do Mangue
R-N-17	270	2	2	Canto do Mangue e Ponta do Mel
R-N-18	200	2,2	19	Extensa faixa a sul de Mossoró
Voo Mossoró – Fortaleza				
R-N-19	260	5	2,8	A norte de Canoa Quebrada
R-N-20	210	2,1	2,5	Junto a Farol Macció
R-N-21	260	3,2	1,5	Barra do Jaguariba e Parajurú
R-N-22	250	2,8	0,5	A norte de Parajurú
R-N-23	290	2,9	0,8	A norte de Reboladas
R-N-24	260	3,1	0,5	N.I. ^(e)
R-N-25	240	2,4	3	Sul de Jacarecoara
R-N-26	230	3,1	2,2	Águas Belas
R-N-27	200	2	0,6	A sul de Jacaúna

(a)cps – Choques por segundo; (b)Número de vezes acima do bg ("back-ground" radioativo); (c)Comprimento da anomalia no gráfico, proporcional à extensão no terreno; (d)Formação Barreiras sujeita a erosão ativa na linha de costa dando origem a fortes anomalias radiométricas; (e)Não identificado.

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Tratando-se de uma única linha de voo, localizada arbitrariamente, os dados obtidos devem ser encarados com cautela (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). O voo foi realizado sobre a praia, a

uma distância do mar da ordem de 200-300m, a qual aumentava quando havia voo sobre restingas e zonas de inundação, mas nunca ultrapassando os 1000m (LAPIDO-LOUREIRO, 1985).

5.20. Reservas e Composição Mineralógica de Terras raras Associadas a Minerais Pesados ao Longo do Litoral Brasileiro

As características mineralógicas e as reservas de minerais pesados no litoral brasileiro são indicadas na Tabela 36.

Tabela 36 - Reservas (toneladas x 10³) e composição mineralógica de minerais pesados em ocorrências ao longo do litoral brasileiro

Ocorrências	Composição dos Minerais Pesados					Res. Mon. 10 ³ t	M / ROM (%)	I / ROM (%)	Z / ROM (%)	R / ROM (%)
	MP	I	Z	M	R					
Norte de Buena-RJ	11,7	47,2	23,3	4,2	1,8	7,7	0,49	5,51	2,72	0,21
Sul de Buena-RJ	23,3	49,7	24,3	2,5	4,2	7,5	0,57	11,6	5,68	0,98
Delta Paraíba-RJ	11,9	42,0	6,0	2,8	1,0	22,8	0,33	5,0	0,71	0,20
Guarapari-ES	12,2	67,9	4,2	3,4	0,8	0,3	0,39	7,73	0,48	0,09
Boa Vista-ES	11,	48,1	17,0	8,4	0,7	1,6	0,98	5,62	1,98	0,78
Rio Saf-ES	16,2	56,0	6,9	4,3	0,7	2,96	0,67	8,99	1,12	0,12
Linhares-ES	6,47	95,3	3,69	0,72	0,30	3,1	0,05	6,16	0,24	0,02
Cumuruxatiba-BA	17,0	55,5	3,8	18,8	0,1	1,4	3,18	9,41	0,64	0,02
Joacema-BA	15,0	74,3	3,0	3,5	0,5	2,25	0,57	10,6	2,3	0,11
Alcobaça-BA	11,8	72,8	5,2	3,4	0,2	4,5	0,41	8,62	0,61	0,02
Belmonte-BA	2,86	95,7	2,11	1,24	0,97	3,6	0,03	2,74	0,06	0,03
Majorlândia-CE	1,87	84,9	3,18	0,55	1,36	1,6	0,01	1,59	0,25	0,02
Beberibe-CE	1,58	81,4	15,2	1,86	1,51	20,8	0,03	0,03	1,28	0,24
Paracuru-CE	1,10	79,9	14,2	4,12	1,72	38,3	0,04	0,88	0,16	0,02
Luiz Correia-PI	1,30	70,3	22,9	2,70	3,79	21,8	0,03	0,92	0,30	0,05

MP = Minerais Pesados (I + Z + M + R). Res. Mon. = Reservas de monazita.

I – Ilmenita; Z – Zircão; M – Monazita; R – Rutilo.

Fonte: Lapido-Loureiro, 1994

5.21. Ocorrências e Reservas de Monazita no Estado do Rio de Janeiro

As ocorrências de monazita na região de Buena, no norte fluminense, estendem-se por 18 km, desde Guaxindiba até Itabapoana. Formam um cordão (restinga) contínuo, paralelo à linha de praia. No início da metade norte, a Formação Barreiras avança para o mar, formando escarpas vivas em cujo sopé pode-se observar o processo de acumulação (VANUZZI et al., 1984). A Formação Barreiras desempenha a função de agente pré-concentrador.

As reservas da região de Buena, consideradas como econômicas, estão esgotadas e a produção mineira estava suspensa à época da elaboração desse texto.

No delta do Paraíba do Sul a estrutura das ocorrências de minerais pesados é complexa. Há intergradação faciológica intensa de aluviões, sedimentos de brejos, lagoas e cordões litorâneos.

As concentrações de minerais pesados ocorrem sob a forma de finas lentes que se escalonam desde a superfície até profundidades de 4 a 5 metros, predominando a ilmenita (60%), porém com zirconita (5-10%), monazita (3-4%) e rutilo (1%).

5.22. Ocorrências e Reservas de Monazita no Espírito Santo

As ocorrências de monazita no litoral do Estado do Espírito Santo se caracterizam pelos altos teores de monazita no concentrado de minerais pesados. O teor de monazita está em torno de 20%, apresentando, entretanto, limitações para seu aproveitamento pelo fato de coincidirem com regiões onde há grande desenvolvimento turístico e/ou apresentem fortes condicionantes ambientais.

Em Boavista e Guarapari, os depósitos de minerais pesados localizam-se em cordões litorais regressivos, formados no sopé dos sedimentos da Formação Barreiras, paralelos à linha de costa (VANUZZI et al., 1984).

No litoral do estado são ainda referidas as ocorrências do Rio Saí e de Linhares. A primeira apresenta bons teores de minerais

pesados e de monazita, ao contrário de Linhares que é relativamente pobre em um conglomerado de minerais pesados (6,47%), apresentando, porém, elevado percentual de ilmenita (95,27%).

5.23. Ocorrências e Reservas de Monazita na Bahia

No litoral sul da Bahia, desde Porto Seguro (16° 25' lat. S) até o limite sul do estado, são conhecidas várias ocorrências de areias monazíticas. Há citações que datam de cerca de 40 anos de que todos os principais depósitos de monazita foram exauridos ou inviabilizados em decorrência de lavras predatórias, desordenadas e intensivas (MACIEL & CRUZ, 1973).

Lembra-se que foi em Cumuruxatiba, entre a ponta do Corumbau (“longe de tudo”, na língua dos Pataxós) e a foz do rio Jucuruçu (Vila do Prado) que, em 1887, teve início a exploração de areias monazíticas no Brasil. No ano anterior o inglês John Gordon havia se estabelecido no local que viria a ser o da jazida de Cumuruxatiba.

Os minerais pesados acumulam-se na zona de espraiamento (no máximo 20m de largura, eventualmente com 10 a 20m de berma) dado que as ondas atingem as escarpas da Formação Barreiras. A espessura da camada de areia varia de 0 a 2m, numa extensão de cerca de 10 km. Essa região apresenta os maiores teores de monazita entre todos os depósitos de “placers” marinhos do Brasil (VANUZZI et al., 1984).

Estimativas feitas anteriormente à elaboração desse texto mostraram que a reserva de Cumuruxatiba representava cerca de 171.000 toneladas de ilmenita, 4.000 toneladas de monazita e 365.000 toneladas de zircão e rutilo (SANTANA, 1999). A ilmenita, mineral predominante, é um pseudo-rutilo que, pela sua composição química em Ti, V e Cr, é considerada uma das melhores do Brasil. A acumulação de minerais pesados é ativa. Renova-se a cada maré, por erosão das escarpas da Formação Barreiras.

Na região de Alcobaça, situada a cerca de 20 km ao sul de Cumuruxatiba, existe, a partir da desembocadura do Rio Jucuruçu,

extensa formação de cordões litorais regressivos, constituídos por uma série de cristas arenosas separadas por brejos e manguezais, com até 300m de largura. No local Ponta de Guaratiba, numa extensão de 6km, há uma excelente concentração de minerais pesados (VANUZZI et al, 1984).

Ao sul de Alcobça, esses cordões litorais atingem a sua largura máxima, 10 km, no local conhecido por Ponta da Baleia. Trata-se de uma região que foi classificada como tendo um bom potencial para terras raras, porém, por se tratar de uma área de preservação ambiental – “APA Ponta da Baleia/Abrolhos” (decreto estadual nº 2218 de 14 de junho de 1993) – não poderá ser considerada como passível de prospecção.

5.24. Ocorrências e Reservas de Monazita no Ceará

No litoral do Estado do Ceará há referências à presença de minerais pesados em Majorlândia, Beberibe e Paracuru.

Da mesma forma que no caso de Alcobça (BA) e por se tratar de uma área com grande potencial turístico, assim como pelo baixo percentual de minerais pesados (1,1 – 1,9%), aos quais estão associados os baixos a médios teores de monazita (0,5 – 4,1%), embora contendo altos teores de zirconita (13 – 18%) na fração pesada, até então, não foram considerados como áreas de interesse prospectivo para terras raras.

5.25. Ocorrências e Reservas de Monazita no Piauí

Foram efetuados estudos preliminares na área de Luís Correia, no litoral do Estado do Piauí os quais definiram, considerando-se uma vida útil de 10 anos, a possibilidade de uma produção que corresponderia a: ilmenita (70.000 toneladas/ano); zircão (26.000 toneladas/ano); rutilo (16.000 toneladas/ano) e monazita (3.000 toneladas/ano).

Não se afigura fácil a implantação de projetos de mineração nessa região porque, tal como nas ocorrências do litoral do Ceará, tendo em vista que os teores de minerais pesados são baixos e,

também, por ter sido criada em agosto de 1996 a Área de Proteção Ambiental (APA) – Delta do Parnaíba, pelo Decreto S/Nº de 28/08/1996, abrangendo uma área de 313.800 hectares.

5.26. Ocorrências e Reservas de Monazita no Maranhão – Bacia do Rio Barreirinhas / Tutóia

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, situa-se no litoral oriental do Maranhão, ocupando uma área de 155 mil hectares e cerca de 120 km de linha de costa, abrangendo os municípios de Humberto de Campos, Primeira Cruz, Santo Amaro e Barreirinhas.

É um mar de areia com dunas que chegam aos 40 metros de altura e se espalham por 70 km de extensão ao longo da costa e por 50 km continente adentro.

No extremo oriental, na região de Tutóia, durante um voo de reconhecimento aerocintilométrico, utilizando helicóptero e linhas de voo perpendiculares à costa, cada uma com uma extensão média de 10km, foi possível identificar 67 anomalias radiométricas, as quais estão muito provavelmente associadas à monazita pelo que se conhece da composição mineralógica destas areias (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

5.27. Outras Ocorrências Continentais de Monazita

CARUSO Jr. et al. (1999) apresentou os estudos realizados por VILLWOCK et al. (1979), e MUNARO (1994) na zona costeira do Rio Grande do Sul.

Boa parte das acumulações de minerais pesados, nessa área, está relacionada à linha de costa, sendo que se apresentam, usualmente, sob a forma de depósitos alongados paralelos e subparalelos à praia, com 30 a 100 m de largura e 18 km de extensão (SILVA, 2008).

Outros depósitos estão relacionados a campos de dunas holocênicas, recobrando terrenos pleistocênicos.

No norte do Brasil podem referir-se como ocorrências, de menor interesse ou ainda mal estudadas, entre outras; Xambioá – TO, Boca Nova – PA, Salinópolis – PA (LAPIDO-LOUREIRO & FIGUEIREDO, 1985).

5.28. Ocorrências de Monazita na Plataforma Continental

São bem conhecidas zonas rasas da plataforma continental que servem para a exploração, de diamantes na Namíbia e de cassiterita na Malásia, Indonésia e Tailândia.

Outros minerais, como cromita (Cr), rutilo (Ti), ilmenita (Fe e Ti), magnetita (Fe), zircão (Zr), monazita e scheelita (W) foram ou estão sendo dragados, em vários locais do Sri Lanka e Austrália (SILVA, 2008).

É fato que há concentrações e ocorrências de minerais pesados ao longo da zona costeira do Brasil, do Piauí ao Rio Grande do Sul, tanto sob a forma emersa, como foi referido anteriormente, mas também submersa.

Na região de Buena (RJ), a ex-Nuclemon estudou, há cerca de 30 anos, a hipótese de recuperação de minerais pesados em águas rasas, estudo esse que estaria sendo retomado pela Universidade Federal Fluminense – UFF e pelas Indústrias Nucleares do Brasil – INB, carecendo, entretanto, de confirmação.

5.29. Ocorrências de Monazita em *Placers* Fluviais

São Gonçalo/Rio Sapucaí – MG

À exceção do rio Sapucaí – MG, têm sido pouco estudados os *placers* fluviais como fonte de minerais de terras raras. No entanto, o seu potencial é grande, sobretudo se forem considerados como ocorrências poliminerálicas.

Os *placers* ao longo do rio Sapucaí, no sul do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Turvolândia, Cordislândia, São Gonçalo de Sapucaí, Careçu, Silvianópolis, São Sebastião da Bela Vista e Pouso

Alegre, constituem um depósito de ouro, zircão, monazita e ilmenita com um volume de 27,6 milhões de m³ de minério (SOUZA & PAIXÃO, 1989).

A região situa-se no interior de um triângulo cujos vértices são Belo Horizonte (330 km), Rio de Janeiro (470 km) e São Paulo (270 km). O depósito é formado por camadas de cascalho e areia nos aluviões atuais (leito) e recentes (várzea). No leito não existe estéril e a espessura média da camada, que foi considerada à época como econômica para exploração, é da ordem de 3,5m. Nas várzeas, levando-se em consideração os mesmos aspectos econômicos da época apontavam, entretanto, para uma espessura média de 6,7m, dos quais 3,8 são de estereis constituídos, basicamente, de argilas.

O volume das reservas de minério (medidas + indicadas) no aluvião pesquisado, foram referidas como sendo de 34,7 milhões de m³, sendo 27,6 milhões de m³ de cascalho e 7,1 milhões de m³ de estéril (SOUZA & PAIXÃO, 1989).

As reservas e suas composições em termos de minerais pesados e o esquema de lavra proposta para aplicação no Projeto Rio Sapucaí são indicadas nas Tabelas 37 e 38 e Figura 20, respectivamente.

Tabela 37 – Reservas do depósito fluvial do Rio Sapucaí (MG)

ROM	52.116.000 t	Distribuição de Minerais Pesados
Ilmenita	631.800 t	85,30%
Zircão	70.700 t	10,75%
Monazita	29.300 t	3,95%
Ouro	50 mg/m ³	---

Fonte: SOUZA e PAIXÃO, 1989

Tabela 38 – Composição de minerais pesados no aluvião do rio Sapucaí.

Composição dos minerais pesados (MP)				Res. M	M / ROM	I / ROM	Z / ROM
MP	I	Z	M	(t)	(%)	(%)	(%)
1,42	85,3	10,75	3,95	29.000	0,5	1,2	0,1

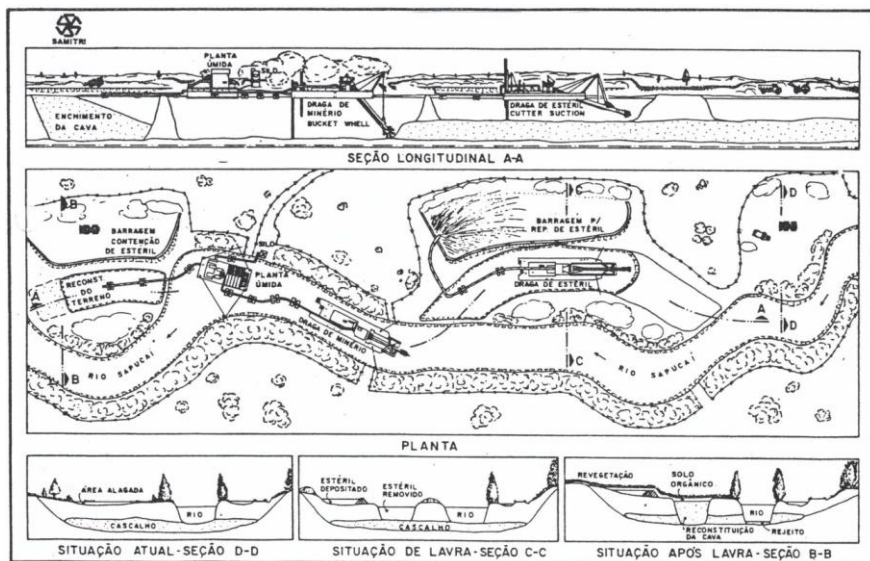
MP – Minerais Pesados; M – Monazita; I – Ilmenita; Z – Zircão; ROM – *Run-of-Mine*.

Fonte: SOUZA e PAIXÃO, 1989

A empresa que requereu a área, SAMITRI, fez estudos, à época, pormenorizados de diagnóstico ambiental para avaliação dos impactos que a implantação do projeto poderia provocar.

Há, ainda, citações de outros autores de que um projeto da Mendes Júnior no Rio Sapucaí, MG, (Figura 20) foi inviabilizado pela militância ecológica radical (CHAVES & CHIEREGATO, 2002).

Após o fechamento do projeto, quando os prejuízos econômicos e sociais foram, criteriosamente, contabilizados, "houve reavaliação e reversão do impedimento que havia sido imposto, mas a empresa mostrou-se irredutível em retomá-lo" (CHAVES & CHIEREGATO, 2002).



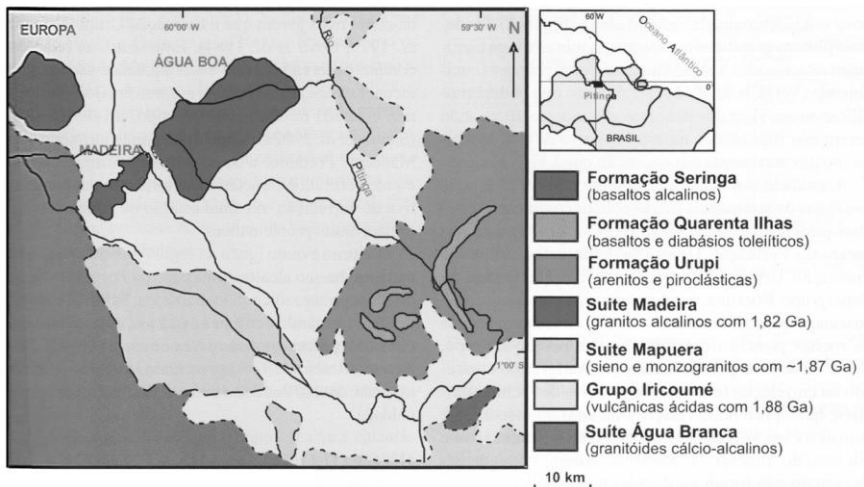
Fonte: SOUZA & PAIXÃO, 1989

Figura 20 – Esquema de lavra do Projeto Rio Sapucaí

5.30. Ocorrências de Terras raras Pesadas Associadas a Rochas Graníticas

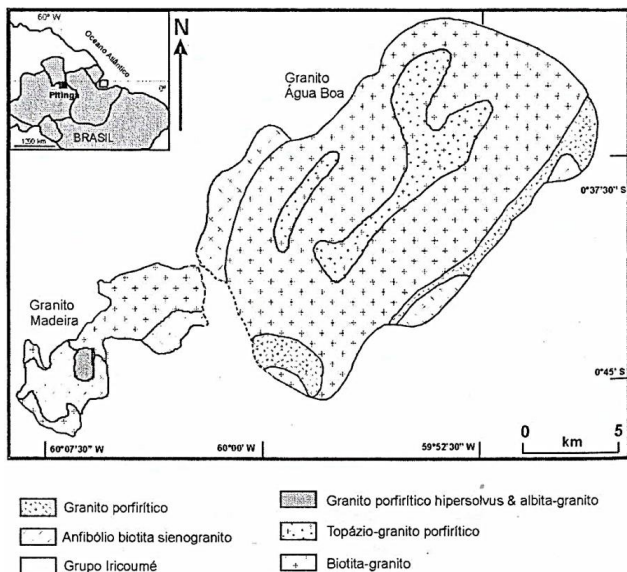
Pitinga - Minérios de Sn, Nb-Ta-Zr-TR

Pitinga é uma jazida de estanho, que é considerada como sendo de classe mundial e que está situada na porção norte do Cráton Amazônico. As mineralizações estaníferas poliminerálicas estão ligadas aos corpos graníticos de Água Boa e Madeira. São corpos alongados, com eixos maiores de 10,7km e 21,5km, conforme mostram, respectivamente, as Figuras 21 e 22, a seguir.



Fonte: COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005

Figura 21 – Mapa geológico esquemático da região da mina de Pitinga



Fonte: COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005

Figura 22 – Mapa geológico esquemático da área da mina de Pitinga

As mineralizações primárias que deram origem aos placers ocorrem nos dois corpos graníticos.

No granito Água Boa ocorrem veios de quartzo/cassiterita e de cassiterita maciça, encaixados numa assembléia de veios de greisen, formados por mica litinífera, quartzo, cassiterita, topázio e columbita-tantalita.

No granito Madeira, as mineralizações são controladas pela fácies granito albitizado, que contém albita (20-60%), quartzo (15-30%), feldspatos potássicos (15-30%) e, ainda, disseminações poliminerálicas de cassiterita, zircão, columbita-tantalita, pirocloro e xenotímio.

As mineralizações ocorrem, tanto nos “granitos albitizados de borda” (cassiterita, fluorita, zircão, columbita, xenotímio) como nos “granitos albitizados de núcleo” (criolita, zircão, pirocloro). (COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005).

Pitinga é uma jazida poliminerálica que contém como coprodutos do Sn, Nb, Ta, criolita e ainda Zr, lantanídeos, Y, Li e U, os quais poderão ser extraídos como subprodutos de alto valor comercial, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade e para um melhor aproveitamento da jazida.

As reservas de minério de estanho disseminado são de 164 milhões de toneladas, com teor médio de 0,14%, contendo, ainda, 0,20% de Nb₂O₅ e 0,024% de Ta₂O₅. As reservas, até então, estimadas de terras raras contidas, principalmente, em xenotímio, nos aluviões são da ordem de 20.000 toneladas em termos de óxidos totais de terras raras.

Com relação a Pitinga, seguem algumas informações fornecidas por Rotenio Castelo Chaves Filho, ex-consultor da Paranapanema/Mineração Taboca.

“A pesquisa geológica não se preocupou em dimensionar as reservas de xenotímio no aluvião ou no minério primário, mas detectou uma área anômala para Y e outras terras raras.

O xenotímio do aluvião apresenta-se grosseiro e em associação com o zircão. É rejeitado durante as separações eletrostática e eletromagnética, junto com o zircão, a partir dos concentrados obtidos em jígues. A separação zircão – xenotímio chegou a ser feita, de forma experimental, mas em escala industrial, pela Minebra, em Araçatuba (SP).

Os rejeitos zirconíticos da usina de concentração final eram retomados, moídos e reconcentrados para recuperação final da cassiterita. Desta forma o xenotímio voltava para a bacia de rejeitos, com o zircão e quartzo, mas com granulometria mais fina, o que talvez não permita mais a separação eletrostática e eletromagnética.

Até a recente aquisição da Mineração Taboca pela empresa peruana Minsur, a concentração de cassiterita era feita a partir dos aluviões provenientes dos granitos Madeira e Agua Boa e do minério primário do granito Madeira. Associada a este granito, ocorre de forma disseminada, criolita (4 a 6% de teor) e, em profundidade, na base do granito mineralizado em minerais pesados, criolita maciça. No granito não intemperizado também são encontrados teores anômalos de Rb e Li.

Entretanto, a granulometria dos minerais pesados era bastante distinta nos dois granitos: nos aluviões do granito Água Boa, o mineral mais grosseiro era a cassiterita (-6 mm), enquanto todos os demais ocorriam abaixo de 48mm ou 65mm. Por essa razão a pesquisa geológica baseada em concentrados de bateia não detectou os demais minerais pesados nos igarapés do granito Água Boa. A pesquisa dividia o minério em “zirconítico” (no Madeira) e “não zirconítico” (no Água Boa).

Nos aluviões do granito Madeira o mineral mais grosseiro era a torita, seguido pela zirconita. A torita aparecia a -10 mm, e a zirconita a -1,5 mm aproximadamente, seguindo-se a xenotima e a cassiterita a -1 mm. Os minerais de Nb e Ta eram os de granulometria mais fina. Nos aluviões do Madeira chamava a atenção a torita com dimensão centimétrica. Essa distinção visível da distribuição granulométrica desapareceu no beneficiamento do minério primário rocha sã, que é moído antes da concentração gravimétrica.

O granito Europa, em parte ou mesmo todo dentro da reserva Waimiri-Atroari (o limite da reserva foi alterado na década de 90, tomando pequena parte da área de concessão da Taboca), também apresenta indícios de mineralização em zircônio e, provavelmente, dos demais minerais associados encontrados nos granitos Água Boa e Madeira, mas não se chegou a nada mais concreto – a pesquisa foi interrompida.

Perfis bauxitizados estão presentes nos granitos e nas rochas vulcânicas da região. Mesmo no minério primário intemperizado havia um perfil de bauxita com teor anômalo de gálio. O “nível laterizado é, em geral, uma anomalia cintilométrica mais acentuada do que o *background* da região.”

O xenotímio de Pitinga tem a particularidade de apresentar teores elevados da fração pesada (98,4%) e relativamente baixos de Y (42%), quando comparados com outros xenotímios (90% e 60%, respectivamente), conforme citado por outros autores (BARBOSA et al., 2001).

Os *placers* são a principal fonte de minerais pesados, entre os quais se inclui o xenotímio. Situam-se nas proximidades de suas

fontes primárias. Nos aluviões com minerais pesados distinguem-se duas seqüências estratigráficas principais, as quais são designadas, pretérita e sub-atual. “A primeira está preservada nas encostas dos vales e se apresenta com espessas coberturas colúvias. A segunda ocorre preenchendo os vales recentes e mostra as bordas recobertas por massas colúvias” (KOURY e ANTONIETTO Jr., 1988).

Um pré-concentrado na área PF 11 do Igarapé Jabuti apresentou a seguinte composição mineralógica: cassiterita (32%), zircão (30%), topázio (3%), columbita-tantalita (2%), magnetita (1,8%), xenotímio (0,2%) e quartzo (31%) (CPRM – informação pessoal obtida pelo autor).

As características químicas do xenotímio de Pitinga, comparando-as com as de outros lugares, são apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Composição química (%) de diferentes amostras de xenotímio

ORIGEM	OTRs*	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ETRL**	ETRP***	Th ₂ O	UO ₂
1	66,84	30,00	29,80	0,07	66,77	---	---
2	63,65	27,63	31,0	0,314	63,34	---	---
3	70,00	31,95	27,97	0,431	69,57	---	---
4	47,70	32,58	27,50	1,388	46,31	---	---
5	58,90	---	35,70	0,1	58,80	1,00	---
6	60,52	---	29,46	---	---	0,95	0,22
7	62,15	---	31,66	3,02	59,13	---	1,67
8	57,74	---	30,31	0,93	56,81	---	4,13
9	67,78	---	32,11	---	67,78	---	---

*Óxidos totais de terras-raras

**Elementos de terras-raras leves

***Elementos de terras-raras pesadas

1-2-3 – Pitinga; 4 – Cable Sands (Austrália); 5 – Urais/Rússia (granito); 6 – Jos/Nigéria (granito alcalino); 7-8-9 – Carolina do Norte/EUA (pegmatito)

Fontes: 1 a 4 – PARANAPANEMA; 5 a 9 – VLASOV Ed., 1966

No granito Madeira as terras raras também estão associadas à mineralização de criolita, que ocorre como minério disseminado (com reservas de cerca de 110 milhões de toneladas, com teor de 4,2% de Na₃AlF₆), assim como sob a forma de criolita maciça, com reservas de 10 milhões de toneladas (32% de Na₃AlF₆).

As assinaturas de elementos de terras raras na criolita e fluorita são similares àquelas do granito Madeira. Os maiores valores do somatório dos elementos das terras raras são encontrados na criolita magmática disseminada (677 a 1.345 ppm); somatório dos elementos das terras raras é menor na criolita maciça, com valores médios de 10,3 ppm, 6,66 ppm e 8,38 ppm, respectivamente, nos tipos de criolita nucleada, caramelo e branca. A fluorita magmática disseminada apresenta os valores mais altos do somatório dos elementos das terras raras (1.708 e 1.526 ppm), contrastando com a fluorita de veio tardio (34,81 ppm). A concentração de Y é maior na fluorita disseminada e na criolita magmática. As evoluções de diversos parâmetros (somatório dos elementos das terras raras, elementos das terras raras leves/elementos das terras raras pesadas, Y) podem ser seguidas através dos sucessivos estágios de evolução dos albita granitos e mineralização associada (COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005).

Recentes notícias dão conta de que a mina de Pitinga pertence atualmente à empresa peruana Minsur e que despertaria vivo interesse de outras empresas, tais como: Mitsubishi e Neo Materials. Nos sites das referidas empresas, à época da elaboração desse texto, havia referências do que estava ocorrendo, com relação ao interesse em Pitinga, ao longo do período 2010-2012.

“The Pitinga mine in Brazil is a tin mine with heavy REE tailings. It is not owned by NEM.TO but it is a Serra da Madeira a subsidiary of Minsur a Peruvian mining concern which is primarily centered around tin and copper. The mine currently processes over 30,000t ore to produce about 10,000t tin and high amounts of tantalite.

Neo's terms with Minsur stated they had 2 years to evaluate exploiting the tailings at Minsur's Pitinga mine for REO, this 2 year period is up around April 2011, and Neo has been very quiet on the subject so far.

In addition, Neo has an agreement with Mitsubishi where Mitsubishi will fund up to US\$2.5million of all costs associated with Neo's development of the heavy rare earth resource at the Pitinga tin mine in

Brazil. As part of the agreement, Neo is also committed to use its reasonable best efforts to include Mitsubishi's participation in the commercial phase of the Pitinga project with Taboca and to allocate a portion of all mixed rare earth concentrate produced from Pitinga to Mitsubishi for its own use.

NEM.TO signed a deal with Minsur to process rare earths from the tailings of its Pitinga tin mine in the Amazon. Neo's tests indicate that the mine is producing very high concentrates of terbium and dysprosium, two of the key heavy rare earths."

Granitos Rondonianos – Mineração Oriente Novo (RO)

Na região central de Rondônia, mais especificamente, na área da Mineração Oriente Novo, são conhecidos vários distritos mineiros, nos quais a monazita e o xenotímio estão presentes.

As ocorrências primárias de Sn, W, Nb, F, elementos das terras raras, topázio e berilo relacionam-se a granitos estaníferos (“Granitos Rondonianos”). Os corpos mineralizados são veios, stockworks, corpos de greisen, chaminés de brechas e corpos pegmatíticos. Os depósitos do tipo placer resultam do seu intemperismo e denudação.

“O minério de cassiterita é formado por: quartzo, cassiterita, topázio, zircão, monazita, ilmenita, ilmeno-magnetita e, em pequenas quantidades, rutilo, columbita-tantalita, berilo, feldspatos, limonita, turmalina, anatásio, amazonita, xenotímio, granada e leucoxênio. “/.../ Junto à columbita-tantalita, outros minerais de interesse econômico, tais como, zircão, monazita, xenotima, ilmenita e rutilo se concentram nos rejeitos magnéticos, os quais podem ser comercializados, dependendo das condições de mercado” (BETTENCOURT, et al., 1988).

Na Tabela 40 apresentam-se os teores de Sn, Ti, Ta, Nb, Zr, elementos das terras raras de rejeitos de separação magnética (amostras 1 a 4), de pré-concentrados (amostras 5 e 6) e de escória (amostra 7).

Tabela 40 – Teores de Ti (%) e de Sn, Ta, Nb, Zr, ETR (ppm), de rejeitos de separação magnética (amostras 1 a 4), de pré-concentrados (amostras 5-6) e de escória (amostra 7)

Am.	Ti (%)	Sn (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	Pr (ppm)	Eu (ppm)	Lu (ppm)
1	8,86	>1.000	915	1.930	1.200	151	5	21
2	5,11	>1.000	300	>10.000	1.600	183	5	333
3	21,36	>1.000	12	265	100	3	<5	1
4	7,69	>1.000	3.630	7.530	4.200	694	25	67
5	17,48	>1.000	9	125	<50	2	<5	1
6	0,42	>1.000	15	210	<300	12	<5	54
7	5,03	>1.000	5.540	>10.000	3.000	896	10	109

Fonte: 1 a 4 –Paranapanema.e LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Granitos do Norte/Nordeste de Goiás – Sul/Sudeste de Tocantins

Nas regiões Norte/Nordeste de Goiás e Sul/Sudeste de Tocantins (entre outras, provavelmente) localizam-se granitos, de tendência alcalina, como os de Pedra Branca e Serra Dourada com mineralizações de cassiterita, terras raras e fluorita, no primeiro, e de cassiterita e terras raras, no segundo. Entretanto, ainda faltam dados quantitativos para a melhor definição dessas ocorrências.

Por outro lado, em função de trabalhos mais recentes, como se pode ler na memória da 2ª Reunião do Grupo de Trabalho Interministerial Ministério das Minas e Energia (MME)/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em 13/08/2010, a propósito do potencial para terras raras existente nos granitos de Pedra Branca, o Prof. Nilson Botelho, da UnB, destacou que: “merecem destaque também as concentrações de háfnio associadas aos elementos terras raras. /.../ e também do índio. Essa é uma das regiões do mundo onde se tem uma das maiores concentrações locais de índio, que é um metal de altíssimo valor”.

5.31. Outras Ocorrências de Terras raras Mal Definidas

São numerosas no Brasil, as ocorrências de terras raras pouco estudadas, em complexos carbonatíticos. Essas ocorrências estão, frequentemente, associadas a outros bens minerais como o anatásio, a apatita e o pirocloro, no caso específico dos complexos carbonatíticos, assim como à cassiterita, niobo-tantalita e zircão, tal como ocorre no caso dos granitos do norte do país. Essas ocorrências estão, ainda, mal definidas por falta de estudos específicos.

Estão neste caso os ricos aluviões estaníferos de Rondônia que foram responsáveis pela primeira “corrida garimpeira” da Amazônia, na década de 1960.

Entretanto, no final dos anos 60, a garimpagem do estanho foi proibida pelo governo federal, passando a produção para a mineração empresarial.

BRENO AUGUSTO DOS SANTOS (2002) referiu que na década de 1970 surgiram novos distritos estaníferos na Amazônia, em especial, a oeste de Carajás, no Estado do Pará. A descoberta foi feita por empresas de mineração, mas logo houve a invasão garimpeira, ainda que tenha sido temporária.

O mesmo autor esclareceu que somente no início dos anos 80 foram descobertos os mais expressivos depósitos de cassiterita da Amazônia. Informou, ainda, que a jazida do Pitinga, no Estado do Amazonas, estaria reativando sua produção por meio de uma nova empresa de mineração e a de Bom Futuro, no Estado de Rondônia, continuava com a atividade garimpeira, apesar dos esforços governamentais para regularizar a implantação de uma atividade empresarial.

Entretanto, a sensível queda do preço do estanho no mercado internacional tem desestimulado a abertura de novas minas, bem como a busca de novos depósitos.

Os corpos graníticos da Amazônia também são de bom potencial para depósitos de zircônio, nióbio, tântalo, tungstênio e terras raras.

Nesse contexto, na Amazônia são conhecidos três complexos alcalino-ultrabásicos com potencial para depósitos de titânio, fosfato, nióbio e terras raras, quais sejam: Seis Lagos, no Estado do Amazonas, Maicuru e Maraconaí, no Estado do Pará. Em Seis Lagos há um destacado potencial para nióbio. O complexo de Maicuru está associado a um corpo de carbonatito, sendo que além de suas reservas de fosfato, há um considerável potencial em titânio, mas sob a forma de anatásio, mineral para o qual ainda não há tecnologia provada que permita o seu aproveitamento industrial em bases econômicas (SANTOS, 2002).

5.32. Terras raras em Tapira – MG

A lavra da mina de fosfatos foi iniciada em 1979, pela então VALEP. Até a elaboração desse texto não havia dados disponíveis, fora do contexto da atual empresa detentora dos recursos minerários, que permitissem fazer uma precisa avaliação técnica-econômica, acerca das mineralizações e dos teores de elementos de terras raras no minério fosfático de Tapira.

Sabe-se, entretanto, que o minério fosfático encontra-se localizado abaixo de duas camadas sobrepostas uma de estéril com 30 a 40m de espessura e outra de minério de titânio (anatásio), com espessura de 25 a 30m. Da mesma forma, se sabe que para minerar o fosfato, há que se retirar essas camadas, assim como que o estéril e o minério de titânio, foram acumulados em pilhas separadas durante atividades pretéritas.

Os minérios de anatásio são abundantes no Brasil. As ocorrências de Tapira e Salitre, somadas a outras do Brasil Central, totalizam reservas de cerca de um bilhão de toneladas de minério de anatásio, contendo cerca de 20 a 25% de TiO_2 . A essas reservas devem ser acrescentadas ainda as da região Norte do país, as quais mais do que duplicarão as reservas indicadas, até então.

Vários autores consideram que o Brasil detém, assim, as maiores reservas de Ti conhecidas no mundo, sendo que trabalhos realizados em escala de laboratório e piloto, mostraram ser viável,

técnica e economicamente, o aproveitamento do anatásio (BAETA, 1988; CVRD, 1986).

A ex-CVRD (atual VALE) investigou a possibilidade do aproveitamento do anatásio existente em Tapira, que embora, sendo uma mina de fosfato, é detentora de recursos potenciais de titânio, nióbio e terras raras.

Há cerca de 30 anos, algumas indústrias estrangeiras mostraram interesse em se associar à ex-CVRD, almejando apenas a produção de titânio, mas o projeto foi abandonado por não se ter revelado competitivo, à época. Contribuíram, ainda, para essa decisão os altos teores remanescentes de cálcio e fósforo e a existência de radiatividade decorrente da presença de urânio e tório associados. A legislação ambiental de alguns países produtores, assim como dos prováveis países consumidores de titânio exigiam que, à época, o somatório de urânio e tório não ultrapassasse 100 ppm.

Fica, entretanto, a questão: se o depósito de anatásio fosse considerado como um minério poliminerálico constituído de – Ti, Nb, terras raras, U – não o tornaria econômico? Pode-se dizer que, aos preços praticados atualmente para estes elementos químicos, muito provavelmente, sim.

Devido ao processo de formação, o anatásio encontra-se associado a minerais fosfáticos, Nb, terras raras, U e Th que seriam co-produtos da exploração do titânio.

Alguns autores citam que em Tapira o minério de Ti, que capeia o anatásio, contém terras raras, com teores variando entre 1 a 10%.

Estima-se, portanto, que nos 350 milhões de toneladas de minério com 23% de TiO_2 , possam existir de 800 a 900 mil toneladas de óxidos totais de terras raras (BAETA, 1988; CVRD, 1986; LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

Os mesmos autores vislumbraram, entretanto, que um processo que incluísse a recuperação das terras raras contidas no anatásio, poderia ser esquematizado, simplificadaamente, por um fluxograma

que contemple as operações unitárias, segundo a sequência abaixo (BAETA, 1988; CVRD, 1986; LAPIDO-LOUREIRO, 1994):

- ROM (25% TiO_2)
- Preparação mecânica do minério (55% TiO_2)
- Moagem, classificação, concentração em separador magnético (65% TiO_2)
- Calcinação e redução (69,5% TiO_2)
- Separação magnética e eletrostática (80% TiO_2)
- Lixiviação com solução de HCl (90% TiO_2 e 1% em termos de óxidos totais de terras raras)
- Circuito de separação dos elementos de terras raras usando processo de extração líquido-líquido.

5.33. Terras raras em Mato Preto (PR)

O complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto está situado no município de Cerro Azul, junto à povoação do mesmo nome, que está a leste da confluência dos rios Mato Preto e Ribeira do Iguape.

A atividade geradora da fase carbonatítica promoveu a concentração de vários elementos, tais como elementos de terras raras, Th, Fe, P e de minerais como a fluorita.

Os teores mais elevados de terras raras atingem até 12,84%, estando presentes em magnetita sövitos (carbonatito calcítico) (Tabela 37), assim como em alguns solos residuais (de 1 a 9% em 27 amostras), segundo LAPIDO-LOUREIRO & FIGUEIREDO (1984), assim como no corpo de minério de fluorita (SANTOS, 1988), Tabela 41.

Tabela 41 – Radiometria e teores de terras raras em ferrocarbonatitos de Mato Preto

Nº de Ref.	Radiometr. (cps)	OTR* (%)
1143	>15.000	12,84
1144	>15.000	10,36
1145	12.500	6,77
1146	15.000	4,67
1147	>15.000	9,12
1148	12.000	2,54
1149	13.000	5,65
1150	---	9,71

*Óxidos totais de terras raras

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

A Tabela 42 nos mostra que nas fluoritas roxas, não considerando a amostra P81b, cujo valor de Ce parece irreal, os teores de terras raras oscilam entre 6.692 e 2.508 ppm, ao passo que nas incolores variam entre 5.167 e 417 ppm, enquanto nas remobilizadas estão entre 1926 e 103 ppm.

Tabela 42 – Teores de elementos de terras raras (ppm) em fluoritas roxas de Mato Preto – PR

ETR*	P81b	29db34	P30a	P34b	P70b	TH2
La	15.113	2.881	699	1.670	762	833
Ce	188.869	3.017	1.178	2.121	1.241	1.573
Nd	4.416	550	412	670	408	708
Sm	453	59	67	97	69	121
Eu	94	14	17	25	21	32
Gd	241	50	44	67	72	71
Dy	81	38	27	30	47	33
Ho	17	7	5	5	7	6
Er	39	17	12	12	14	16
Yb	15	12	10	7	7	10
Lu	2	1	1	1	1	1
TOTAL	209.340	6.646	2.472	4.705	2.649	3.404

*Elementos de terras raras

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Duas das amostras de solo residual (trincheira 1/Nuclebras), as quais são muito ricas em fluorita, mostraram a seguinte composição percentual (Tabela 43).

Tabela 43 - Composição percentual em amostras de solo residual (trincheira 1/Nuclebras)

Amostra N ^o Ref.	Composição (%)				
	OTR*	P ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	U ₃ O ₈	ThO ₂
31	3,47	0,49	0,22	0,0024	0,076
32	9,92	0,34	0,13	0,0035	0,076

*Óxidos totais de terras raras

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.34. Terras raras na “Anomalia 13” / São Francisco (PR)

Quando da realização do “Projeto Açungui – Mapeamento Geológico” (TAVARES & MARQUEZAN, 1978), foram realizados estudos detalhados em áreas pré-selecionadas, em função de suas características quanto a radiometria/geologia/mineralogia. Destacou-se, à época, um conjunto de anomalias radiométricas, com cerca de 20 km de continuidade, que passou a ser designado por “Anomalia 13”, sendo constituída, por vezes, pelas mineralizações de fluorita e teores elevados de Th.

Foi avaliado o potencial uranífero de duas áreas situadas a leste de Mato Preto. A análise em 234 amostras de canaleta e lascas de rocha de trincheiras, gerou resultados pouco significativos em termos de U e Th, da mesma forma que os teores de terras raras em termos da mistura dos óxidos de cério, lantânio e ítrio, raramente ultrapassavam 1%, atingindo, entretanto, um teor máximo de 3,18% (SILVA, 1980).

5.35. Terras raras na Fazenda Varela – Lages (SC)

O complexo alcalino-carbonatítico de Fazenda Varela situa-se no município de Correia Pinto, comarca de Lages, na região central de Santa Catarina.

É constituído por rochas alcalinas leucocráticas, rochas ultrabásicas alcalinas, carbonatitos e brechas vulcânicas, em

decorrência de atividade que aconteceu num curto intervalo do Cretácico (70 – 80 milhões de anos).

Trincheiras, poços e furos de sonda definiram um corpo tabular carbonatítico com 20 metros de espessura, 600m de diâmetro e veios menores anastomosados, também de carbonatito, cortando brecha feldspática (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

As terras raras ocorrem na brecha feldspático carbonatítica que está, parcialmente alterada. Foram analisadas, para terras raras, quatro amostras de carbonatito nas quais foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 44).

Tabela 44 – Teores de elementos de terras raras (ppm) em quatro amostras de carbonatito – Fazenda Varela, Lages, SC

ETR*	LG-1-2	LG-1-10	LG-3-5	FV-32
La	16.883	853	2.115	3.266
Ce	19.457	1.612	4.152	5.959
Pr	1.324	166	389	571
Nd	3.430	626	1.492	1.981
Sm	233	30	164	216
Eu	78	24	48	23
Gd	226	94	119	170
Tb	36	9	9	17
Dy	105	35	22	56
Ho	9	6	3	8
Er	35	14	4	17
Tm	3	2	1	2
Yb	14	7	3	8
Lu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Y	535	177	56	239
ETR + Y	42.360	3.655	8.577	12.533

*Elementos de terras raras

Fonte: extraído e adaptado de SCHEIBE e FORMOSO, 1982.

5.36. Terras raras na Barra do Rio Itapirapuã (SP-PR)

O complexo carbonatítico da Barra do rio Itapirapuã localiza-se no vale do Ribeira do Iguape no limite dos estados de São Paulo e do

Paraná, a norte do rio Itapirapuã, na proximidade da sua confluência com o rio Ribeira.

É sabido, entretanto, que há dois corpos (focos) carbonatíticos, de um e outro lado do Ribeira do Iguape, nos municípios de Ribeira (SP) e Cerro Azul (PR), que designamos por Barra do Itapirapuã I (SP) e Barra do Itapirapuã II (PR). A sua descoberta apoiou-se em trabalhos de foto-interpretação e levantamento gama-espectrométrico (LAPIDO-LOUREIRO & TAVARES, 1983).

5.37. Terras raras na Barra do Itapirapuã I (SP)

O complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã I constitui, na margem esquerda do Ribeira, um plug de forma subcircular e relevo proeminente, com uma área aproximada de 2 km². O maciço é circundado por espessos depósitos de vertente e coberto, na parte superior, por eluviões que escondem o substrato rochoso.

Fábio Ramos D. de Andrade, autor da tese “Geoquímica do sistema de alteração hidrotermal do carbonatito de Barra do Itapirapuã”, afirma que: “o carbonatito é composto por rochas plutônicas de composição magnésio a ferrocarbonatítica e, por um volume subordinado de magnesiocarbonatito subvulcânico. As encaixantes do carbonatito são granitos proterozóicos. Processos extensivos de alteração hidrotermal levaram à formação de quartzo, apatita, fluorita, fluorcarbonatos de terras raras, barita e sulfetos em proporções variadas.

Dois tipos de carbonatitos plutônicos afetados por alteração hidrotermal foram reconhecidos. O tipo I contém principalmente quartzo, fluorcarbonatos de terras raras e apatita como minerais hidrotermais, apresentando padrões de elementos de terras raras altamente fracionados, com até 3% em peso de elementos de terras raras+Y, i.e., teores duas ordens de magnitude mais elevados que os do carbonatito plutônico fresco” (ANDRADE, 1998).

“O tipo II contém apatita, fluorita e barita como principais minerais hidrotermais, sendo caracterizado por enriquecimento em terras raras pesadas, em relação às amostras frescas”. É proposto um

modelo no qual um fluido hidrotermal derivado do carbonatito e enriquecido em terras raras percola o carbonatito não mineralizado, causando o enriquecimento em terras raras.

Este processo é seguido pela percolação de um fluido hidrotermal de origem crustal em células de convecção através do carbonatito em resfriamento, incrementando o fracionamento isotópico e causando redistribuição dos elementos de terras raras. A evolução geológica deste carbonatito estende-se até o processo de intemperismo em atividade” (ANDRADE, 1998).

Sabe-se que, até então, a empresa detentora dos direitos minerários da área – Serrana – não tem divulgado os resultados de prospecção que tem sido feitos nessa região.

5.38. Terras raras na Barra do Itapirapuã II

O corpo carbonatítico da Barra do Itapirapuã II tem forma ovalada e abrange uma superfície de 1620 km².

Os trabalhos desenvolvidos pela empresa estadual MINEROPAR no início dos anos 80, do século passado, atingiram bom detalhe, com excelente tratamento e interpretação dos dados, de campo e de laboratório.

Foram analisadas para terras raras, várias amostras de superfície (de afloramentos, solos e poços) e de sete furos de sonda inclinados, com profundidades variando de 40 a 250 m, dos quais apenas três interceptaram rochas carbonatíticas (SILVA & OLIVEIRA, 1984).

Os teores médios ponderados de óxidos totais de terras raras, nos furos IT-05 e IT-06 foram, respectivamente, de 1,29% (máximo 6,3%) e de 0,87% (máximo 6,4%). Em superfície, nas amostras de rochas, os teores oscilaram entre 3,0% e 4,4% para óxidos totais de terras raras. Em amostras de ferrocabonatito, coletadas em poços, atingiram-se valores de até 11% em termos de óxidos totais de terras raras.

Cabe assinalar que foram encontrados, para óxidos totais de terras raras, valores de até 3,21%, em granitos encaixantes. Há que se

destacar que se trata de uma rocha originalmente granitóide, a qual sofreu intensos processos de substituição hidrotermal, responsável pela introdução de minerais de terras raras, apatita, barita, carbonatos e outros derivados do evento carbonatítico (informação obtida pelo autor junto ao geólogo Donaldo C. da Silva, MINEROPAR, 1992).

Com base nos furos de sonda e numa rede de poços espaçados de 100 metros, a MINEROPAR apresentou uma primeira estimativa das reservas de terras raras em Barra do Itapirapuã II, a qual é reproduzida a seguir:

Minério: 2.390.250 toneladas

Teor: 1,29% em termos de óxidos totais de terras raras

Óxidos totais de terras raras: 30.834 toneladas

5.39. Terras raras em Seis Lagos (AM)

Situa-se no município de São Gabriel da Cachoeira, região do Alto Rio Negro, no noroeste do Estado do Amazonas. O complexo de Seis Lagos dista cerca de 30 km da pequena cidade de São Gabriel da Cachoeira, que está a 840 km de Manaus.

É formado por três estruturas circulares que sobressaem numa área fortemente aplanada de gnaisses e migmatitos. A maior, com 5,5 km de diâmetro, é conhecida pelo nome de Seis Lagos devido aos lagos que se formaram em depressões de colapso. As outras são Morro do Meio e Morro Norte com 0,75 km e 0,50 km de diâmetro, respectivamente.

Na estrutura de Seis Lagos foram reconhecidos 4 ambientes geológicos:

- canga laterítica resultante de intenso intemperismo dos ferrocronatitos, ocorre na superfície dos três morros, apresenta forte radioatividade;
- argilas calcíferas e carbonosas, características de ambiente redutor de pântano, localizadas nas zonas de subsidência;

- brechas carbonatíticas e/ou carbonatitos existentes em profundidade;
- depósitos de vertente na parte inferior das encostas.

Os trabalhos de prospecção que foram, há pelo menos trinta anos, executados pela CPRM visavam definir essencialmente depósitos de Nb. A canga laterítica de Seis Lagos constitui um minério de Fe (50%) com Nb, (até 9,72% de Nb₂O₅ e um valor médio de 2,63%), Ti e terras raras. O mineral portador de Nb é ilmeno-rutilo niobífero e (ou) brookita niobífera, sendo que uma parte do Nb pode estar contida nos minerais de Fe.

Nas amostras superficiais de argilas das zonas de subsidência foram encontrados valores de até 1,5% de Ce. No único furo que atravessou este tipo litológico, em 11 das 12 amostras analisadas foram encontrados valores acima de 1.000 ppm, para La, e iguais ou superiores a 5.000 ppm para Ce e 200 ppm para o Y. No intervalo 36,85 – 41,50 m, o teor de elementos de terras raras alcançou 3,68% no seu conjunto.

No CDTN, em Belo Horizonte, foram analisadas para a CPRM 36 amostras de canga laterítica. Os resultados são reproduzidos na Tabela 45.

Tabela 45 – Teores de terras raras (%) em amostras superficiais de Seis Lagos

Amostra	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃
487	0,77	1,38	0,14	0,43	0,059	0,014	0,018	0,005	0,007	-	-
513	0,23	0,40	0,045	0,11	0,017	0,005	0,009	0,005	0,005	-	-
522	0,12	0,26	0,024	0,063	0,013	0,005	0,006	0,005	-	-	-
524	0,25	0,40	0,036	0,085	0,013	0,005	0,009	0,005	-	-	-
526	0,29	0,48	0,051	0,14	0,023	0,005	0,011	0,005	-	-	0,005
527	0,30	0,49	0,053	0,11	0,018	0,005	0,008	0,005	-	-	-
529	0,10	0,19	0,022	0,055	0,011	0,005	0,007	0,005	-	-	-
538	0,25	0,28	0,053	0,16	0,021	0,005	0,014	0,005	0,005	-	0,005
539	0,061	0,14	0,013	0,34	0,009	0,005	0,009	0,005	-	-	-
544	0,22	0,42	0,047	0,13	0,021	0,005	0,011	0,005	0,005	-	-
547	0,37	0,59	0,068	0,19	0,030	0,007	0,015	0,005	0,005	-	-
549	0,34	0,74	0,073	0,21	0,037	0,009	0,009	0,022	0,005	-	0,005
550	0,20	0,65	0,041	0,10	0,021	0,007	0,016	0,005	0,007	-	0,005
551	0,20	0,54	0,049	0,14	0,029	0,008	0,020	0,005	0,005	-	0,005
560	0,052	0,21	0,013	0,038	0,007	0,005	0,009	0,005	0,005	0,005	-
562	0,15	0,27	0,029	0,077	0,015	0,005	0,010	0,005	0,005	-	-
564	0,20	0,43	0,042	0,13	0,024	0,005	0,009	0,005	-	0,005	-
565	0,30	0,69	0,062	0,18	0,027	0,007	0,014	0,005	0,005	-	-
575	0,038	0,41	0,009	0,024	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
576	0,11	0,24	0,024	0,061	0,012	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
581	-	0,67	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	-	0,005	0,005
585	0,071	0,22	0,031	0,12	0,040	0,012	0,027	0,005	0,008	0,005	0,005
589	0,039	0,15	0,013	0,027	0,006	0,005	0,005	0,005	-	-	0,005
649	0,46	1,09	0,096	0,31	0,044	0,011	0,014	0,005	0,005	-	0,005
679	1,02	2,23	0,21	0,64	0,068	0,013	0,014	-	-	-	0,008
829	0,11	0,10	0,027	0,081	0,011	0,005	0,007	-	-	0,005	0,005
830	0,14	0,31	0,031	0,076	0,016	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,006
838	0,13	0,32	0,036	0,090	0,015	0,005	0,007	0,005	-	-	0,006
856	0,091	0,17	0,028	0,098	0,015	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,007
869	1,11	1,82	0,16	0,45	0,058	0,013	0,022	0,005	0,005	-	0,006
898	0,21	0,71	0,094	0,21	0,024	0,005	0,005	-	-	-	0,005
930	0,061	0,19	0,024	0,089	0,032	0,006	0,009	-	-	-	0,005
950	0,14	0,36	0,057	0,32	0,15	0,050	0,11	0,007	0,037	0,005	0,015
954	0,13	0,24	0,24	0,073	0,020	0,005	0,009	-	-	-	0,005
960	0,050	0,11	0,006	0,024	-	-	0,005	-	0,005	-	0,007
964	0,025	0,086	0,008	0,032	0,008	0,005	0,005	0,005	-	-	0,005

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

A despeito dos teores poderem ser considerados como muito baixos, em termos de óxidos totais de terras raras faltam, ainda, estudos mais precisos sobre a distribuição, teores e a mineralogia das terras raras em Seis Lagos e nos vizinhos Morro do Meio e Norte.

5.40. Terras raras nas Províncias Estaníferas da Amazônia/Ariquemes (RO)

As províncias estaníferas da região Norte do Brasil (a de Pitinga já foi referida em detalhe) são fontes potenciais de depósitos poliminerálicos, incluindo terras raras.

Nesse sentido a CPRM iniciou, recentemente (início de 2012, um projeto de mapeamento nessa região intitulado Províncias Estaníferas da Amazônia). O projeto abrangerá a porção centro-norte de Rondônia e nordeste do Amazonas, as quais incluem os depósitos de: cassiterita em Rondônia (mina de Bom Futuro, Jacundá, Santa Bárbara, Formiga, Caneco, São Lourenço, entre outras), de wolframita (mina Igarapé Manteiga), de topázio (Massangana) e, ainda, os de cassiterita, columbita, criolita e terras raras em Pitinga (AM). É de se esperar que com a conclusão desse projeto se possa obter uma nova e proveitosa contribuição, para uma melhor avaliação do potencial de terras raras na região.

A CPRM assim justificou a sua proposta: “os depósitos de cassiterita e minerais associados carecem de um conhecimento mais aprofundado em relação a sua gênese, litotipos encaixantes, natureza dos fluidos mineralizantes, idade dos jazimentos, fonte e contexto tectono-estrutural. Portanto, torna-se necessário um estudo aprofundado no sentido de caracterizar as fácies mais evoluídas dos granitos portadores de mineralizações de cassiterita, wolframita, columbita-tantalita e minerais associados, como é o caso das terras raras”.

Portanto, os objetivos principais da pesquisa da CPRM são: i) caracterizar as rochas encaixantes dos corpos graníticos mineralizados em estanho, tungstênio, columbita-tantalita, topázio, criolita e terras raras, que ocorrem em Rondônia e Amazonas; ii) efetuar cartografia geológica e estudos metalogenéticos nos depósitos de cassiterita em Rondônia, wolframita, topázio; e cassiterita, columbita, criolita e terras raras em Pitinga (AM), contribuindo, pois, para uma avaliação do potencial em terras raras, que se prevê, desde já, ser grande à escala mundial.

Um estudo anterior realizado pela CPRM, nessa região, constatou que: “os minerais do minério de cassiterita são: quartzo, topázio, cassiterita, zirconita, monazita, ilmenita, ilmeno-magnetita e, em pequenas quantidades, rutilo, tantalita-columbita, berilo, feldspatos, limonita, turmalina, anatásio, amazonita, xenotímio, granada, leucocênio. Os minerais principais, objeto de lavra e de interesse econômico atual, são a cassiterita e columbo-tantalita, estando esses minerais enriquecidos nos rejeitos magnéticos resultantes da separação da cassiterita. Junto à columbita-tantalita, outros minerais de interesse econômico, tais como, zircão, monazita, xenotima, ilmenita e rutilo se concentram nos rejeitos magnéticos, os quais podem ser comercializados, dependendo das condições de mercado" (BETTENCOURT et al., 1988).

Na Tabela 46 apresentam-se os teores de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu e Y, obtidos nos pré-concentrados e nos rejeitos de concentração dos principais distritos mineiros, assim como na escória da Mineração Oriente Novo, os quais estão incluídos nesse mesmo estudo de BETTENCOURT et al., 1998.

Tabela 46 - Teores de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu e Y (ppm), de pré-concentrados, rejeitos de separadoras dos principais distritos mineiros e de escória da Mineração Oriente Novo

Local	(*)	Composição elementar (ppm)							
		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Lu	Y
(01)	(a)	915	1.930	1.200	151	5	15	21	400
(02)	(a)	300	>10.000	1.600	183	5	74	333	5.487
(03)	(a)	12	265	100	3	<5	<1	1	<2°
(04)	(a)	3.630	7.530	4.200	694	25	77	67	2.066
(05)	(b)	9	125	<50	2	<5	<1	1	<20
(06)	(b)	15	210	<300	12	<5	<5	54	<20
(07)	(c)	5.540	>10.000	3.000	896	10	65	109	1.004

(01) Mina Belém/Oriente Novo; (02) Mina Primavera/Oriente Novo; (03) São Lourenço/São Lourenço; (4) Igarapé Cachoeirinha/Cachoeirinha; (5) Lateral Saubinha/São Lourenço; (6) Queimada/Cachoeirinha; (7) Bera do Brasil (Metalúrgica) Grupo Brumadinho.

(a) Rejeito de concentração; (b) Pré-concentrado; (c) Escória secundária.

Fonte: Extraído e adaptado de BETTENCOURT et al., 1998

5.41. Terras raras em Itataia (CE)

Itataia é uma jazida fósforo-uranífera que está situada a 150 km de Fortaleza e a 45 km de Santa Quitéria. Constitui a maior reserva de urânio do Brasil, assim como a que apresenta o mais alto teor de P_2O_5 . Até então, sabe-se que o minério ocorre desde a superfície até a profundidade de 180 metros.

Dois tipos de minérios têm sido reconhecidos: um com massas uniformes de colofanito e o outro de vênulas e stockwork de minério de colofanito, em mármore, gnaisses e epissienitos.

O urânio ocorre em hidroxi-apatita criptocristalina, que também justifica interesse econômico, como minério de fosfato. A rocha maciça de colofano (variedade maciça, criptocristalina, de apatita) tem sido referida como colofanito. A rocha colofanito é quase monomineralica (80% de colofano).

As análises químicas efetuadas em oito amostras de colofanito, a partir de testemunhos de oito furos de sonda, revelaram a existência de teores de até 870 ppm de Y, correspondendo, entretanto, a um valor médio de 456 ppm. Estes valores, que podem ser considerados altos para rocha fosfática, sugerem que sejam de origem marinha.

É sabido que se considera, atualmente, a hipótese do aproveitamento, além do U, de recuperação dos elementos das terras raras pesadas, assim como subprodutos da produção de ácido fosfórico.

5.42. Terras raras em Angico dos Dias (BA)

Angico dos Dias localiza-se na divisa dos estados da Bahia e Pernambuco, no distrito de Campo Alegre de Lourdes (BA), localidade que fica a 390 km a oeste da cidade de Petrolina.

É a única associação carbonatítica datada como pré-cambriana e o único carbonatito linear conhecido no país, onde são todos do tipo central ou filoniano.

A descoberta do carbonatito foi precedida pela caracterização de um depósito de fosfato residual com espessura máxima de 25 m, teor médio de 15,4% de P_2O_5 .

Os teores de Nb, Th e U são anormalmente baixos para a média encontrada nas rochas carbonatíticas. O carbonatito tem alto teor de apatita, sendo, em média, superior a 14%. Em termos de óxidos totais de terras raras os teores são da ordem de 0,25% e, como habitualmente, acontece com a monazita, apresentam uma acentuada proporção de elementos de terras raras leves (Tabela 47).

Observando a Tabela 43, vale a pena destacar o elevado valor da relação Nd / La+Ce, assim como um valor aproximadamente constante para a razão La+Ce+Nd / P_2O_5 , o que sugere que as terras raras estejam, essencialmente, associadas à apatita ou aos fosfatos dela derivados.

Tabela 47 – Teores de terras raras (ppm) em 8 amostras de carbonatito de Angico-dos-Dias (BA)

Amostra	Composição (ppm)				
	La	Ce	Nd	La+Ce+Nd	P_2O_5 (%)
56	960	1.680	2.200	4.840	10,90
58	1.040	1.720	1.940	4.700	9,70
62	580	980	1460	3.020	9,61
106	760	780	1.620	3.160	7,00
107	1.420	3.200	2.400	7.020	14,00
136	1.120	1.200	1.134	3.454	7,90
521	521	1.134	659	2.314	10,40
522	521	1.134	654	2.309	8,30

Fonte: SILVA et al., 1988

5.43. Terras raras em Bambuí (MG)

A área considerada localiza-se na porção sudoeste do Estado de Minas Gerais. No seu centro situa-se a cidade de Bambuí, que dista 270 km de Belo Horizonte.

É ocupada pelo Grupo Bambuí e está coberta com relativa frequência por sedimentos terciários (argilitos, siltitos,

conglomerados), que podem alcançar espessuras de 30 a 40 m. Neles não foi detectada qualquer anomalia radiométrica que pudesse revelar uma associação das terras raras com elementos radioativos.

Em relatório elaborado pela CNEN em 1969, foi citada a possível existência de terras raras e Y coincidindo com estruturas filonianas e diatremas, sendo este termo utilizado no sentido de identificar uma chaminé preenchida por brechas de explosão resultantes da pressão dos gases.

A CNEN estudou uma área de 2.000 km², coberta por levantamento aero-gama-espectrométrico. Nessa área foram detectadas 131 anomalias radiométricas, sendo que 12 delas correspondiam, seguramente, a diatremas (CORRÊA, 1971).

Por outro lado, em 1984 a ex-Nuclemon, no âmbito do seu projeto "Fontes Alternativas de Terras raras", procedeu ao reconhecimento e amostragem de 18 das anomalias mais representativas dessa região (LAPIDO-LOUREIRO, 1985), cujos dados analíticos são apresentados na Tabela 48.

Desse estudo resultou que o material que preenche as estruturas filonianas e os corpos designados por diatremas é essencialmente brechoide. Em superfície, só a anomalia 7 revelou uma área apreciável: 0,75 km².

Tabela 48 - Dados analíticos de amostras da região de Bambuí, MG

Nº da Anomalia.	U ₃ O ₈	ThO ₂	Y ₂ O ₃	TR ₂ O ₃ sol em HCl (%)	Nº da Amostra.
01	0,02	0,50	0,11	2,3	BMB-3
03	0,01	0,12	0,06	0,2	BMB-4
03	0,09	0,73	0,66	0,7	BMB-5
07	0,03	0,05	0,03	0,2	BMB-9
07	0,02	0,04	0,03	0,1	BMB-23
07	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-18
07	0,02	0,05	0,04	0,2	BMB-25
07	0,02	0,05	0,04	0,1	BMB-26
24	0,05	0,12	0,22	0,3	BMB-16
26	0,02	0,92	0,05	1,1	BMB-20
32	0,05	0,08	0,11	0,1	BMB-17
40	0,02	1,1	0,25	1,4	BMB-14
40	0,02	0,25	0,08	0,2	BMB-15
49	0,03	0,17	0,05	1,0	BMB-11
49	0,03	0,54	-	-	BMB-12
62	0,02	2,1	0,06	2,1	BMB-27
62	0,02	2,3	0,08	2,5	BMB-22
80	0,02	0,81	0,07	6,2	BMB-21
97	0,04	0,37	0,13	0,8	BMB-1
97	0,04	0,36	0,12	2,1	BMB-2
101	0,02	0,28	0,04	1,4	BMB-13
103	0,02	0,06	0,06	0,2	BMB-6
103	0,02	0,07	0,06	0,4	BMB-7
103	0,02	0,07	0,06	0,6	BMB-8
108	0,03	0,16	0,04	0,2	BMB-19
109	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-24
Abacaxis	0,04	0,50	0,04	1,4	BMB-10

*óxidos totais de terras raras em solução

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO e FIGUEIREDO, 1985

No Laboratório de Controle de Qualidade da ex-NUCLEMON foram dosados os elementos de terras raras em uma das amostras (a BMB-21) que anotou a concentração de 6,2% para a associação de óxidos totais de terras raras e de óxido de tório (Tabela 49).

Tabela 49 – Composição em termos de óxidos totais de terras raras + óxido de tório da amostra BMB-21 (Bambuí)

Óxidos	Teores %	Óxidos	Teores %
La	27,1	Tb	< 0,05
Ce	43,6	Dy	0,8
Pr	2,9	Ho	0,4
Nd	9,3	Er	0,3
Sm	0,7	Yb	n.d.
Eu	0,08	Y	1,1
Gd	0,9	Th	12,8

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.44. Terras raras em Peixe (TO)

O complexo alcalino de Peixe, de idade Mesoproterozoica (aproximadamente 1,5 Ga) é um corpo intrusivo, em metassedimentos do Grupo Serra da Mesa, composto por micaxistos com granada e sillimanita.

Tem uma forma alongada (cerca de 30 x 7 km), com seu eixo maior orientado no sentido N-S. Geotectonicamente está localizado na parte norte da Faixa Brasília.

“O Complexo apresenta várias mineralizações de interesse econômico, incluindo córindon, allanita e zircão, sendo que o zircão é lavrado até hoje” (KITAJIMA, 2002). O autor, nesta sua tese de doutorado refere que a “allanita ocorre como cristais milimétricos a centimétricos em sienitos médios a grossos, veios e lentes em monazita, pegmatitos graníticos e como megacristais detríticos”.

Transcrevem-se, a seguir, os resultados divulgados por Luiz Fernando W. Kitajima (KITAJIMA, 1998), na sua tese de mestrado intitulada “Caracterização mineralógica e avaliação do potencial econômico preliminares da monazita e allanita do complexo alcalino de Peixe-TO”.

“O complexo é constituído de nefelina sienitos com uma borda estreita de sienitos, quartzo sienitos e granitos. Pegmatitos sieníticos e graníticos ocorrem dentro e fora do complexo. Várias mineralizações

(zircão, monazita, allanita, ilmenita, coríndon, berilo) ocorrem no complexo. As monazitas ocorrem dentro de pegmatitos sieníticos e no horizonte de intemperismo, junto com fragmentos de quartzo, feldspato e biotita. Apresentam-se cortadas por veios e cristais de allanita, flúor-apatita e, possivelmente, hidróxidos de Fe e Al. Quimicamente podem ser separadas em duas populações, uma com alto teor de terras-raras (monazitas de alto La) e pouca substituição das terras raras nos sítios octaédricos e do P nos sítios tetraédricos, e outra mais pobre em terras raras leves (monazitas de baixo La), que apresenta maior substituição química nos seus sítios cristalinos. Suas características químicas, em especial o conteúdo de Th e terras raras, são semelhantes a de monazitas de rochas alcalinas (especialmente carbonatitos), embora as monazitas de baixo La assemelhem-se às monazitas de rochas graníticas. Foram possivelmente formadas por cristalização direta em um magma alcalino, com progressivo fracionamento de terras raras, ou em magmas distintos, sendo um alcalino e o outro possivelmente contaminado por rochas mais saturadas.

As allanitas são encontradas em monazitas, sienitos finos a grossos e em pegmatitos graníticos. Também podem ser encontradas no horizonte de intemperismo como mineral detrítico. Para cada paragênese as allanitas têm características distintas, sendo as allanitas em monazitas mais ricas em terras raras leves e as de pegmatitos graníticos mais pobres. As allanitas de sienito têm teores de terras raras leves aproximadamente intermediários, mas mais próximos das allanitas de monazitas.

As allanitas em monazitas e sienitos têm características químicas semelhantes as de allanitas em rochas alcalinas, enquanto as allanitas de pegmatitos graníticos são semelhantes às allanitas de rochas graníticas de diversas procedências.

As características texturais das allanitas em monazitas e em sienitos, como a associação com fluorita, calcita, etc., e em veios cortando a monazita sugerem que estas allanitas foram cristalizadas a partir de fluídos magmáticos, que percolaram por monazitas e

formaram complexos solúveis de terras raras com fluoretos, carbonatos, etc.

As diferenças químicas entre as allanitas de monazitas e de sienitos são atribuídas a um processo de fracionamento das terras raras nestes fluidos hidrotermais. As características desta associação de allanita substituindo a monazita são semelhantes a outros exemplos estudados no mundo.

Allanitas e monazitas foram, até recentemente, objeto de lavra no Complexo Alcalino de Peixe, por serem minerais ricos em terras raras, além da monazita ser fonte de Th e P. São ainda recursos potenciais (a exploração destes minerais foi algo restrito), mas a presença de tório nestes minerais pode causar problemas ambientais e legais (o tório é propriedade do Estado). Além disto, a infraestrutura (estradas e energia elétrica) é precária e a região é distante dos centros consumidores.”

Em concordância com o autor acima citado, mas também em decorrência de trabalhos de campo realizados pela Nuclemon em 1984 (FIGUEIREDO & LAPIDO-LOUREIRO, 1984), foram localizados bolsões pegmatíticos com grandes cristais ou massas de monazita e/ou allanita, ocorrendo nos micaxistos e gnaisses situados a sudeste do complexo alcalino de Peixe. Prolongam-se para norte, sempre nas proximidades da margem leste do complexo alcalino, de forma irregular e descontínua, por cerca de 15 km. A monazita vai dando lugar, progressivamente, à allanita, passando os bolsões de monazita, a sul, a serem de allanita, ao norte.

Uma amostra de material monazítico mostrou ser constituída, essencialmente, por esse mineral (75%), estando associado a óxidos de ferro limoníticos, apatita + allanita (20%) + opacos + quartzo + mica + leucoxênio + material argiloso (5%).

No bolsão de maiores dimensões haviam sido extraídos, à época, até a profundidade de 5-6 metros, cerca de 30 toneladas de monazita, em decorrência de trabalhos de garimpagem que foram suspensos, à época, em virtude de desabamento e inundação da cava.

Na Tabela 50 apresenta-se a composição de óxidos totais de terras raras para a monazita dessa região.

Tabela 50 – Dados analíticos de material monazítico de Peixe – TO referida a óxidos totais de terras raras (%)

Óxidos	P1	P15	P19	P19	P22	P24	P27
La ₂ O	37,7	34,6	34,4	33,7	36,8	36,7	37,6
CeO ₂	50,4	51,3	51,9	52,0	507	50,1	50,1
Pr ₆ O ₁₁	2,8	3,2	3,1	3,2	2,9	3,1	2,8
Nd ₂ O ₃	7,7	9,0	8,7	9,2	7,9	8,2	7,7
Sm ₂ O ₃	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3
Eu ₂ O ₃	0,030	0,031	0,035	0,036	0,035	0,031	0,038
Gd ₂ O ₃	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Y ₂ O ₃	0,10	0,13	0,16	0,10	0,26	0,10	0,28
ThO ₂	0,79	0,87	0,82	0,88	0,85	0,86	0,87
Extrato sulfúrico							
TR ₂ O ₃ *	36,5	65,8	53,8	62,7	56,5	71,2	59,6

*Óxidos totais de terras raras

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Por outro lado uma amostra rica de allanita mostrou a seguinte composição mineralógica: allanita (77%); plagioclásio (15%), quartzo (3%), leucóxênio + opacos + moscovita + monazita (5%).

As terras raras predominantes na allanita são os elementos leves, Ce e La. Em seções polidas, Reiner Neumann observou que as inclusões mais brilhantes são provenientes de um provável flúor-carbonato de terras raras (possivelmente, bastnaesita ou sinchisita/parisita, pois contém cálcio) e que, aparentemente, a alteração da allanita deixa o flúor-carbonato cristalizado nas fraturas pelas quais a alteração avança (informação obtida pelo autor junto ao Dr. Reiner Neumann, CETEM/MCTI).

5.45. Terras raras na Serra do Repartimento (RR)

A ocorrência de terras raras na Serra do Repartimento está localizada no Estado de Roraima, Município de Mucajaí, distando cerca de 180km, por estrada, de Boa Vista.

A área de estudo é recoberta por solo laterítico, apresentando raros afloramentos. No local foram identificados 4 stocks constituídos de sienitos, tinguaitos, monzonitos, diques de fonolito e nefelinito.

A área laterítica enriquecida em terras raras, por vezes com blocos abundantes de barita, é cercada por rochas sílico-feldspáticas, também recobertas, quase sempre por lateritas.

No material laterítico, radiometricamente anômalo, foram identificados, além de óxidos-hidróxidos de ferro, barita, monazita, zircão e gorceixita-goyazita.

As análises em amostras de solo laterítico definiram teores variando entre 1 a 5,5% para a mistura de óxido de cério, lantânio, praseodímio e ítrio, assim como, variando de 0,11 a 1,6% para óxido de zircônio. Entretanto, para óxido de nióbio a composição variou entre 0,10 a 0,28%.

5.46. Terras raras no Igarapé Bahia, Carajás (PA)

O Grupo Igarapé Bahia foi definido, em 1988, pela ex-DOCEGEO/CVRD. Corresponde a rochas metassedimentares e metapiroclásticas intercaladas com metabasaltos. Furos de sondagem revelaram a existência de brechas e grandes espessuras de metabasaltos, na porção basal desse grupo, com mineralização poliminerálica, predominando Cu e Au.

O depósito de Cu-Au de Igarapé Bahia está localizado na Província Mineral de Carajás (PA). Caracteriza-se por apresentar uma sequência de rochas vulcanossedimentares de idade arqueana, metamorfizadas na fácies xisto verde, compostas por rochas metavulcânicas básicas, na base, e por rochas metapiroclásticas/metassedimentares no topo da sequência. As rochas do depósito “apresentam um forte enriquecimento em elementos de terras raras, especialmente nas brechas mineralizadas /.../. Os minerais ricos em elementos de terras raras, até agora encontrados, foram a monazita, alanita, bastnaesita e parisita, relacionados a alteração hidrotermal” (TAZAVA, 1999).

Estudos desenvolvidos pela ex-SUTEC/CVRD em 1996 mostraram que as assembléias minerais, predominantes em todos os tipos de rochas da área, consistem de clorita (Fe-clinocloro), quartzo, albita e carbonato (siderita e calcita). As rochas encaixantes da mineralização estão enriquecidas em elementos de terras raras leves, U, Rb, F, Cl, Cu, Au, Ag e Mo.

O principal constituinte do minério é a calcopirita, secundada por pirita, bornita e covelita. Além desses minerais foram identificados traços de uraninita, hessita (Ag, Te), monazita, apatita, bastnaesita [(Ce,La)FCO₃], parisita [(Ce,La)₂Ca(CO₃)₃F₂], molibdenita, cassiterita, ferberita (FeW₄O₁₄), fluorita e ouro. Na ganga destacam-se clorita, siderita, quartzo e magnetita (ALMADA & VILLAS, 1999).

O sistema hidrotermal responsável pela mineralização continha fluidos altamente salinos (até 40%, em termos de equivalente peso de NaCl) e ácidos, provavelmente de contribuição crustal, e provenientes de fonte granítica, à semelhança dos depósitos de Cu (Au-Mo) do Salobo e Cu(Zn) do Pojuca.

5.47. Terras raras nos Fosfatos Sedimentares – Miriri (PB - PE)

O depósito de rocha fosfática da bacia sedimentar de Miriri localiza-se ao sul de João Pessoa nos municípios de Alhandra e Pedra do Fogo, no Estado da Paraíba, se estendendo até o município de Goiana, em Pernambuco.

A CPRM executou 134 furos e estudou 1.060 amostras de testemunhos, mas as análises não incluíram as terras raras. As reservas totais foram calculadas como sendo de 28 milhões de toneladas de rocha fosfática, com um teor de 10,9% de P₂O₅.

Duas dezenas de amostras, escolhidas aleatoriamente, a título de pesquisa preliminar, foram analisadas para 30 elementos, por espectrografia de emissão, tendo-se obtido valores da ordem de 500 ppm para Ce e entre 50 e 300 ppm para Y e La.