

**REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO BRASILEIRO DE ELEMENTOS DE
TERRAS RARAS NO CENÁRIO MUNDIAL**

LIGIA MARCELA TARAZONA ALVARADO
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - RIO

FRANCISCO MARIANO SOUZA LIMA

GIANCARLO LOVON-CANCHUMANI

JOSE LUIS SARAVIA OCHARAN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MICHEL SERRA SAMPAIO

REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO BRASILEIRO DE ELEMENTOS DE TERRAS RARAS NO CENÁRIO MUNDIAL

TARAZONA-ALVARADO, LIMA, F.M.S.¹, L. M.¹, LOVÓN-
CANCHUMANI, G.¹, OCHARÁN. JOSE LUIS. SAMPAIO, S. MICHEL¹

¹CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM) – Cidade Universitária – Rio
de Janeiro – Brasil.

Resumo:

Desde o último século, devido ao crescimento exponencial da população mundial, é notório o aumento da demanda de matérias-primas essenciais para o desenvolvimento de alta tecnologia como, por exemplo, as “tecnologias verdes” a demanda pelos os insumos para ditas tecnologias esta em constante crescimento. Nesse contexto, os elementos de terras raras (ETRs) são 17 elementos da tabela periódica que apresentam propriedades físicas e químicas que são únicas para o desenvolvimento do dito paradigma tecnológico. A indústria de alta tecnologia tem fomentando o crescimento anual da procura dos ETRs de 8% a 11%. A posição da China como produtor dominante do mundo e fornecedor de terras raras (TRs) (89% da produção total) e as suas políticas de limitar as exportações levantaram preocupações entre muitos países, e.g. os Estados Unidos de America e a União Européia especialmente por sua indústria de defesa. Por outro lado o Brasil, segundo país que possui as maiores reservas do mundo de ETRs observou a possibilidade de crescimento no mercado e tomou em consideração estes minerais como estratégicos no Plano Nacional de Mineração (PNM) 2030. No Brasil, as principais indústrias consumidoras diretas de produtos que apresentam ETRs em suas composições são os fabricantes de catalisadores, vidros e cerâmicos, e os consumidores indiretos são as fábricas de motores e turbinas eólicas. Existem cerca de 22.000.000 toneladas lavráveis de minério que contêm ETRs no Brasil, o que representa 16% da reserva mundial e o segundo país com a maior reserva de ETRs no mundo, atrás apenas da China. Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise da representação do mercado brasileiro de ETRs *vis-à-vis* os mercado chinês e mundial; são apresentadas as tendências da produção, do consumo, da oferta e demanda para os próximos 40 anos. Propor uma modelagem dinâmica para estimar a representação atual do Brasil no sistema multi-oferta mundial. Além disso, também foram avaliadas as possibilidades de uma produção propriamente brasileira e da reciclagem efetiva. Foi utilizado o software *I-think* para as simulações do modelo proposto e para avaliar com fins comparativos cinco diferentes cenários. As simulações foram mensuradas em quatro variáveis que descrevem os resultados e cenários: consumo, importação, produção e reciclagem. Os resultados evidenciaram uma produção de cento cinquenta três mil toneladas para 2050, O Brasil teria uma participação de 2,2% do Brasil no sistema multi-oferta mundial de ETRs, caso a reciclagem e a produção fossem implementadas. Embora a China diminua a sua produção continuará sendo o maior fornecedor de ETRs. Considerando a crescente demanda nacional e internacional de ETRs, o país possui grande potencial de participação no mercado mundial, entretanto, há a necessidade de melhores estratégias econômicas, principalmente por parte do setor público, a fim de incentivar a produção interna e reciclagem desses elementos.

Abstract:

Since the last century, due to the exponential growth of the world population, the increase in the demand for raw materials is noticeable mainly for the development of high technology, such as "green technologies". The demand for the inputs for these technologies is in evidence and constant growth. In this context, rare earth elements (REEs) are 17 elements of the periodic table that present physical and chemical properties that are unique to the development of the said technological paradigm. The high-tech industry has been driving annual demand growth of REEs from 8% to 11%. China's position as the world's dominant producer and rare earth supplier (RES) (89% of total production) and its policies to limit exports have raised concerns among many countries. For instance, the United States of America and the European Union are constantly monitoring China's policy, due to necessity for defense industry. On the other hand, Brazil, the second country with the world's largest reserves of REEs, observed the possibility of market growth and took these minerals into account as strategic in the National Mining Plan (PNM) 2030. In Brazil, the main direct consumer industries of products that have REEs in their compositions are the manufacturers of catalysts, glass and ceramics, and the indirect consumers are the factories of engines and wind turbines. There are about 22,000,000 tons of ore that contain REEs in Brazil, representing 16% of the world's reserves and the second country with the largest reserve of REEs in the world, behind China alone. This work aims to make an analysis of the representation of the Brazilian REE market vis-à-vis the Chinese and world market; the trends of production, consumption, supply and demand for the next 40 years are presented. To propose a dynamic modeling to estimate the current representation of Brazil in the global multi-supply system. In addition, the possibilities of proper Brazilian production and of effective recycling were also evaluated. I-think software was used for simulations of the proposed model and to evaluate for comparative purposes five different scenarios. The simulations were measured in four variables that describe the results and scenarios: consumption, import, production and recycling. The results showed a production of one hundred fifty three thousand tons by 2050, Brazil would have a 2.2% share of Brazil in the global multi-supply system of REEs, if recycling and production were implemented. Although China will slow down production it will continue to be the largest supplier of REEs. Considering the growing national and international demand for REEs, the country has great potential to participate in the world market, however, there is a need for better economic strategies, mainly by the public sector, in order to encourage the internal production and recycling of these elements.

REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO BRASILEIRO DE ELEMENTOS DE TERRAS RARAS NO CENÁRIO MUNDIAL

INTRODUÇÃO

Os elementos terras raras (ETRs) desempenham um papel fundamental na transição para um novo paradigma tecnológico e no plano de sustentabilidade. Os ETRs são um conjunto de 17 elementos químicos que estão presentes em mais de 250 espécies minerais conhecidas; entretanto somente em algumas dessas ocorrem em concentrações suficientes para justificar sua exploração. Os ETRs estão contidos principalmente nos minerais dos grupos da Bastnasita (Ce, La) CO₃F, Monazita (Ce, La) PO₄, argilas iônicas portadoras de ETRs e Xenotímio (YPO₄) (Cotton, 2006).

Segundo Ortiz e Júnior (2014), suas propriedades físicas e químicas são utilizadas em uma grande variedade de aplicações tecnológicas cada dia mais crescentes como as tecnologias de energia limpa, veículos híbridos, controle da poluição, óptica, refrigeração. Assim como catalisadores, por exemplo, no tratamento de emissões automotivas e no craqueamento do petróleo; na fabricação de lasers e como materiais luminescentes, "fósforos" na fabricação de lâmpadas fluorescentes e tubos de raios catódicos de aparelhos de televisão (Diamond, 2005).

A cadeia produtiva das ETRs é composta por várias etapas e está apresentada na **Error! Reference source not found.** Inicialmente, extrai-se o minério que contém esses elementos. Após a extração, o minério é triturado e moído. Em seguida, através de um processo de flotação, obtém-se o minério concentrado de ETRs. A próxima etapa consiste em separar os diferentes óxidos de ETRs através de diferentes processos. Posteriormente, os óxidos de ETRs são convertidos em metais, que são combinados com outros metais para produzir as ligas contendo ETRs. Finalmente, estas ligas são introduzidas na indústria.

A indústria tecnológica tem fomentado a utilização dos ETRs e o crescimento anual da procura destes elementos é cerca de 8% a 11% (Services Information, 2007). Isto significa que a oferta global destes materiais se torna tão importante quanto o petróleo, aço e carvão, por exemplo, segundo (Kifle, 2013). As principais aplicações de cada ETRs estão apresentadas na Tabela 1.

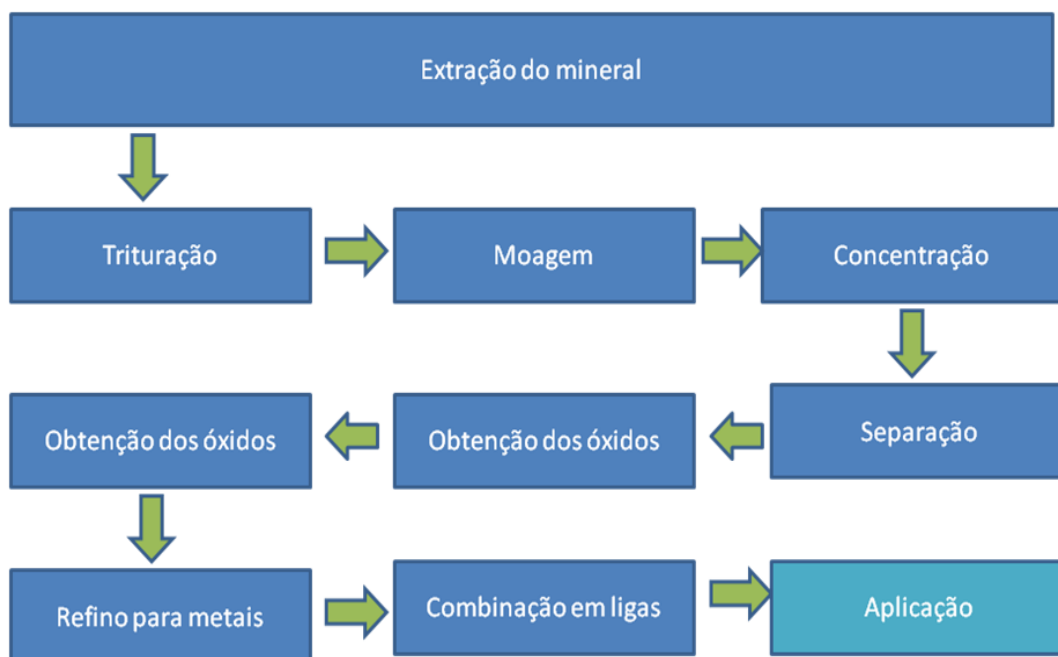


Figura 1. Cadeia Produtiva dos Elementos de Terras Raras.

A Tabela 1. Apresenta as principais aplicações de cada ETRs.

Elemento	Símbolo	Aplicações
Escândio	Sc	Ligas de alumínio, lâmpadas a vapor
Ítrio	Y	Laser, supercondutores, vanadato de ítrio, filtro micro-ondas
Lantânio	La	Vidros de alta refração, armazenamento de hidrogênio, eletrodos de baterias, lentes de câmaras, catalisadores de fluidos em refinarias de petróleo
Cério	Ce	Agente oxidante, pó para polimento, corante amarelo em vidros e cerâmicas, catalisadores de fornos autolimpantes, catalisadores de fluidos em refinarias de petróleo
Praseodímio	Pr	Ímãs, laser, iluminação de arco de carbono, corantes de vidros e esmaltes, aditivo em lentes de óculos de soldagem
Neodímio	Nd	Ímãs, Laser, corantes violetas em vidros e cerâmicos, capacitores de cerâmica.
Promécio	Pm	Baterias nucleares.
Samário	Sm	Ímãs, laser, captura de nêutrons
Európio	Eu	Pigmento em tubos de raios catódicos, lasers, adicionado ao mercúrio em lâmpadas a vapor, agente de relaxação em ressonância magnética nuclear.
Gadolínio	Gd	Ímãs, vidros de alto índice de refração, laser, tubos de raios X, chips de memória, captura de nêutrons, agente de contraste em imagens de ressonância magnética, agente de relaxação em ressonância magnética nuclear.
Térbio	Tb	Ímãs permanentes, pigmento verde em tubos de raios catódicos, lasers, lâmpadas fluorescente.
Disprósio	Dy	Ímãs permanentes; <i>lasers</i> .
Hólmio	Ho	<i>Lasers</i> .
Érbio	Er	<i>Lasers</i> ; liga de aço-vanádio.

...Continuação

Túlio	Tm	Máquinas portáteis de raios X.
Itérbio	Yb	<i>Lasers</i> de infravermelho; agente químico redutor.
Lutécio	Lutécio	Detectores para tomografia por emissão de pósitrons; vidros de alto índice de refração.

A maior reserva de ETRs está situada na China e representa cerca de 40% da reserva mundial, seguida pelo Brasil, com 16%, e EUA, com 10% (DNPM, 2015). A Tabela 2 apresenta as reservas de ETRs para Brasil, China, Estados Unidos de América e outros países.

Tabela 2. Reservas mundiais de minérios de ETRs, entre 2009-2016 (em mil toneladas).

País	Reservas							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brasil	48	48	48	22000	22000	22000	22000	22000
China	27000	36000	55000	55000	55000	55000	55000	44000
EUA	13000	13000	13000	13000	13000	1800	1800	1400
Outros	25000	25000	25000	41000	41000	51200	51200	53700
Total	88000	99000	110000	140000	140000	130000	130000	120000

Fonte: U.S.G.S (2017)

As maiores reservas de Bastnasita, em carbonatitos, estão localizadas na China e nos Estados Unidos da América. No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, os ETRs estão presentes na monazita em areias, junto com outros minerais pesados (iemenita, zircônia e rutilo) e também em carbonatitos.

No Brasil existem reservas lavráveis em Catalão (GO), Araxá (MG), Tapira (MG), Jacupiranga (SP) e em Mato Preto (PR); no rejeito da mineração do nióbio da CBMM, em Araxá, estão concentradas quantidades de ETRs com grande potencial de aproveitamento (DNPM, 2015).

Além disso, a produção mundial de óxidos de ETRs, de cerca de 125 mil toneladas, é composta por 89% de participação chinesa. Portanto, praticamente toda a oferta de ETRs pesadas é suprida pela China, com cerca de 90% em 2015, o que praticamente monopoliza o mercado de produção (Enghag, 2005), como é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Produção Mundial de ETRs, entre 2009-2016 (em mil toneladas).

País	Produção (t)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brasil	nd	nd	nd	nd	nd	1100
China	130	130	100	100	105	105
USA	nd	nd	7,0	4,0	5,4	0
Total	133	130	110.570	112.220	123	124

Fonte: U.S.G.S (2016)

Nos últimos anos, a China estabeleceu algumas restrições ao comércio de ETRs, que incluem tributos mais altos sobre os minérios, restrições rigorosas às exportações de ETRs e o processamento do minério no próprio país. Estabelecendo um plano de redução da quota de

exportação de 35 mil toneladas entre 2010 e 2015, sob a alegação de conservar suas reservas e proteger o meio ambiente.

Além das medidas restritivas internas, a China realizou aquisições de mineradoras e de áreas em países africanos com o propósito de garantir o suprimento de minerais com ETRs.

Em consequência do aumento da demanda e das restrições da oferta exportada iniciadas pela China, novas pesquisas de fontes de ETRs estão em curso na África do Sul, na Austrália, no Brasil, no Canadá, na Groenlândia e nos EUA. As minas nesses países foram fechadas quando houve a acelerada queda de preços nos anos 90, provocada pela abundante oferta chinesa.

Uma fonte significativa de óxidos de ETRs encontra-se no lixo eletrônico, turbinas eólicas e em outros equipamentos que contêm componentes produzidos com ETRs. Os recentes avanços na tecnologia de reciclagem estão viabilizando a extração dessas substâncias e a reutilização de ímãs permanentes.

Em 2015, o consumo global de ETRs (incluindo ítrio) foi estimado em 164 mil toneladas. O maior consumidor foi a China, com 64% da demanda. EUA, Japão e sudeste da Ásia foram responsáveis por quase toda a demanda restante. O consumo de óxidos de ETRs na China aumentou perto de 98.000 toneladas e deverá aumentar para 149.000 toneladas em 2020. Em 2015, o consumo da China foi liderado por ímãs (35%), abrasivos (18%) e catalisadores (15%). A Tabela 4 mostra a distribuição média do consumo por região, segundo a aplicação, desde 2009 até 2015.

Tabela 4. Distribuição média do consumo por país segundo a aplicação desde 2009 até 2015 (em mil toneladas)

Aplicações	China	Japão	EUA	Outros	Total
Catalisadores	7,4	2,2	18	1,5	29,1
Vidros	8,4	2,2	2,5	1,5	14,6
Polimento	8,4	4,4	1,5	1,5	15,8
Ligas Metálicas	25,0	3,4	2,0	1,0	32,4
Ímãs	30,3	3,5	0,5	0,5	34,8
Fosforescentes	7,0	2,5	3,3	1,8	14,6
Cerâmicos	2,0	2,0	2,25	0,8	7,05
Outros	9,0	2,5	0,3	1	12,8
Total	90,5	22,7	26,35	9,6	161,45

Fonte:IMCOA (2009-2010), DNPM (2009-2014), U.S.G.S 2009-2015)

A China voltou-se, com ênfase, para o desenvolvimento de “materiais avançados” com alto valor agregado. Nesses setores, a demanda cresceu mais de 20% ao ano nos últimos anos.

Estima-se que o consumo global, incluindo o de ítrio, fique entre 170 mil e 190 mil toneladas, com crescimento de 8 a 11% ao ano entre 2011 e 2020. As maiores taxas de crescimento referem-se a ímãs e ligas metálicas, que são utilizados em veículos híbridos e elétricos: em ambos os casos, as taxas são superiores a 10% ao ano.

No Brasil, recentemente os ETRs despertaram interesse governamental pela constatação da vulnerabilidade econômica que a ausência de tais recursos pode trazer. Além da confirmação efetiva do grande potencial brasileiro na área, a percepção de que tecnologias "limpas" (como de turbinas eólicas e veículos híbridos) e estratégicas (como petróleo e comunicação) são limitadas pela disponibilidade de terras raras levou a algumas iniciativas de diferentes

setores industriais e a confirmação desses elementos como minerais estratégicos no Plano Nacional de Mineração (PNM) de 2030 para o desenvolvimento do país (Filho, 2014).

Atualmente, a demanda interna do Brasil destes elementos é suprida pelas importações provenientes da China, Bulgária, Alemanha, Irlanda, França e Estados Unidos da América, segundo os relatórios do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

Segundo Rocio et al. (2012), as principais indústrias nacionais consumidoras diretas de produtos que possuem ETRs em suas composições são: as fabricantes de catalisadores, de vidros e de cerâmicas; e as consumidoras indiretas tais como as fábricas de motores e de turbinas eólicas. Para suprir a demanda brasileira incipiente destes elementos, o Brasil importa aproximadamente duas mil toneladas por ano provenientes de compostos químicos e produtos manufaturados (DNPM, 2006; DNPM, 2014), como é apresentado na Tabela 5. Em 2012, o DNPM aprovou reservas lavráveis com cerca de 22.000.000 toneladas desses minerais; porém, estes não vêm sendo alvo de exploração, sejam por riscos ambientais, sejam por riscos econômicos.

Tabela 5. Demanda de ETRs no Brasil.

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Compostos Químicos	1989	2792	2274	1306	1156	765	1082	887	1244
Manufaturados	508	727	635	327	686	396	426	544	529
Total	2497	3519	2909	1633	1842	1161	1508	1431	1773

O Brasil exportou, em 2014, compostos químicos e produtos manufaturados no montante de US\$ 383 milhão FOB. Os principais países de destino dos compostos químicos exportados foram o Paraguai (42%), Argentina (30%), Bolívia (14%), Cabo Verde (8%) e Chile (5%). Para os produtos manufaturados, os principais países de destino foram Angola (47%), Canadá (11%), Uruguai (7%), EUA (20%) e Espanha (5%) (DNPM,2014).

Neste contexto e tendo em vista a importância dos ETRs como um mineral estratégico, esse estudo apresenta um modelo do mercado brasileiro de terras raras baseado em Sistemas Dinâmicos (SD) focando no prazo de 40 anos. Além disso, também se avaliarão as possibilidades de uma produção propriamente brasileira e da reciclagem efetiva como meio de suprir a crescente demanda do Brasil e um comparativo com o cenário chinês e mundial.

1. MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Kifleet al. (2013), a análise de SD é obtida por meio da criação de estruturas de modelos conceituais utilizando os diagramas de laços casuais (DLC) para estabelecer as relações de causa e efeito entre os diferentes componentes de um sistema. A modelagem dinâmica, que foi introduzida por Forrester (1958), é uma metodologia utilizada para compreender o comportamento ao longo do tempo de sistemas complexos. Foi utilizado o software de modelagem dinâmica chamado *i-Think*, que fornece uma visão profunda na identificação de interdependências e processos de feedback de ações que mudam ao longo do tempo, servindo como uma ferramenta de apoio a decisão para avaliar cenários futuros para o fornecimento a longo prazo de ETRs.

O processo da procura de ETRs no mercado é descrita pelo DLC construído na Figura 2. Ele descreve a causalidade dos ativos no sistema. A demanda aumentará de acordo com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico. Por sua vez, a exploração crescerá de acordo com a demanda, e em contrapartida a importação diminui à medida que a produção interna aumenta. A quantidade de ETRs disponível no mercado está diretamente relacionada com o aumento/redução dos preços e o consumo de ETRs em novos desenvolvimentos tecnológicos.

O modelo da Figura 3 no ambiente de modelagem *i-Think* foi composto de acordo com DLC da Figura 2. No modelo descrito, o fornecimento é composto por três linhas de fluxo: importação, produção e reciclagem. A quantidade de ETRs no mercado é definida como a diferença entre a oferta e a demanda representada como um estoque. A exploração é ativada com o aumento da procura de ETRs e é representado como um fluxo a qual fornece o estoque de reservas conhecidas que estarão disponíveis para a produção de ETRs.

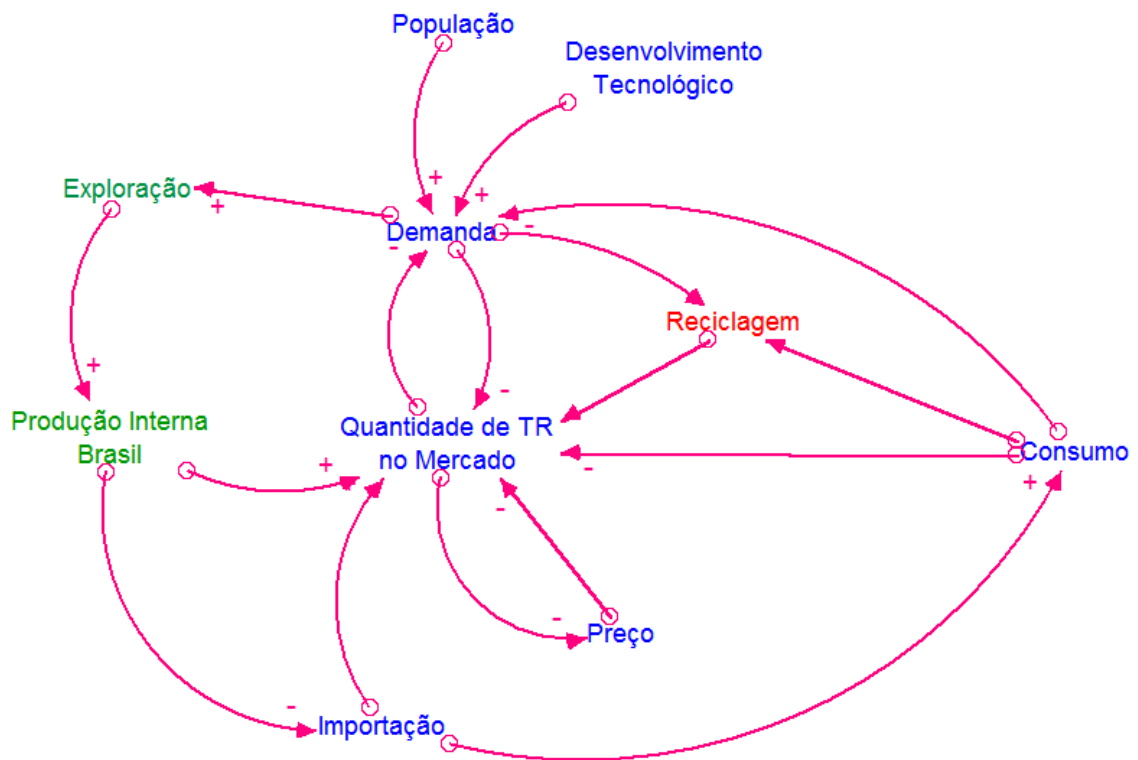


Figura 2. DLC para o sistema de ETRs, mostrando os laços causais no sistema de abastecimento.

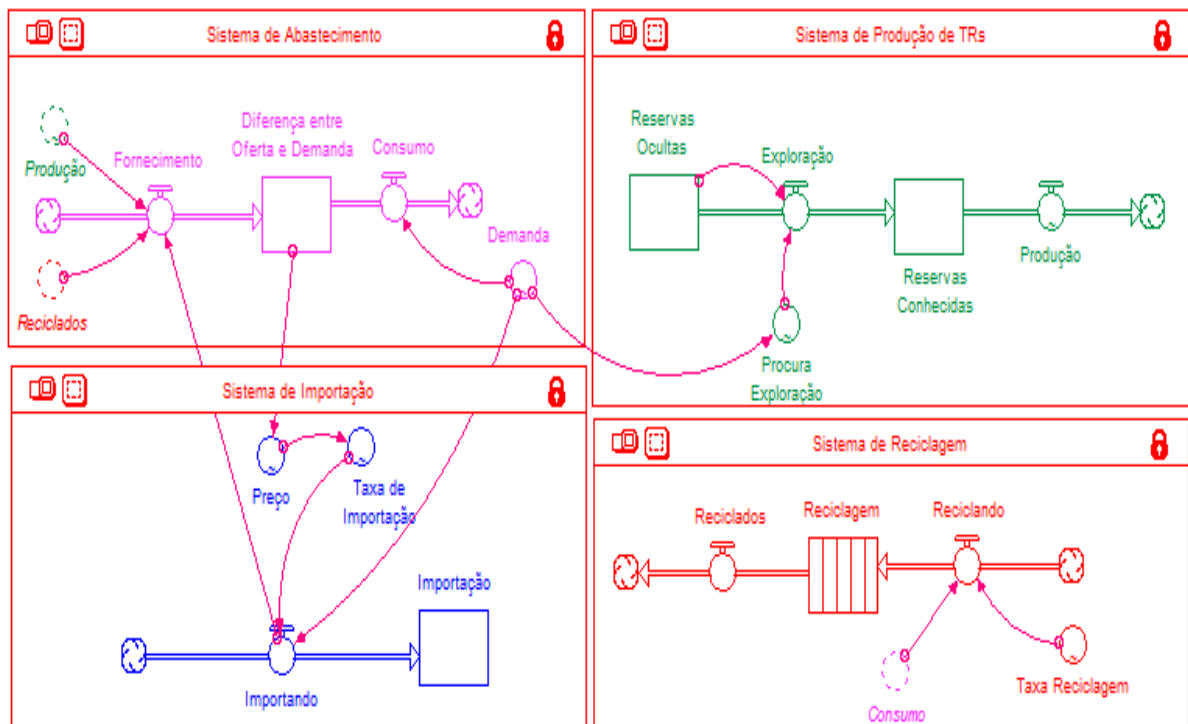


Figura 3. Modelo em *i-Think* construído com base no DLC da Figura 2.

O sistema foi configurado para ser executado com o método de integração de Euler usando um passo no tempo de 0,25 anos. O modelo dinâmico desenvolvido foi usado para estimar qual seria a representação do Brasil em 2050 no sistema multi-oferta de ETRs com a implementação da produção e reciclagem.

Foram criados cinco cenários descritos na Tabela 6 e incorporados ao DLC e à estrutura do modelo, diferenciados por cores (ver Fig. 2 e 3). O cenário 1, em azul, descreve a situação atual do mercado brasileiro no qual a demanda é suprida somente pelas importações. No cenário 2, a produção interna é ativada (cor verde) e posteriormente no cenário 3, o sistema de reciclagem é agregado ao modelo (em vermelho). No cenário 4, o modelo foi parametrizado somente com os dados da China. E finalmente o cenário 5 é composto com os dados da produção e consumo mundial.

Tabela 6. Cenários Propostos para as Simulações

	Brasil			China	Mundial
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Importação	x	x	x	x	
Produção		x	x	x	x
Reciclagem			x	x	x

O modelo foi parametrizado adaptando as taxas de procura, a relação entre preço e oferta e a demanda mundial de ETRs apresentada por Kifle et al. (2013) para a realidade brasileira, relacionando-os com os dados do DNPM de 2009 a 2014. A produção foi estimada em relação ao potencial de produção de ETRs de duas companhias brasileiras que produziriam de 1 a 3 mil toneladas por ano. A taxa reciclagem foi introduzida com 0,5% e chegando a 1,5% em 2050, inspirada em recentes publicações; como estas são previsões sobre o futuro,

tais projeções são aproximadas. As relações entre as variáveis do modelo são apresentadas na Figura 4.

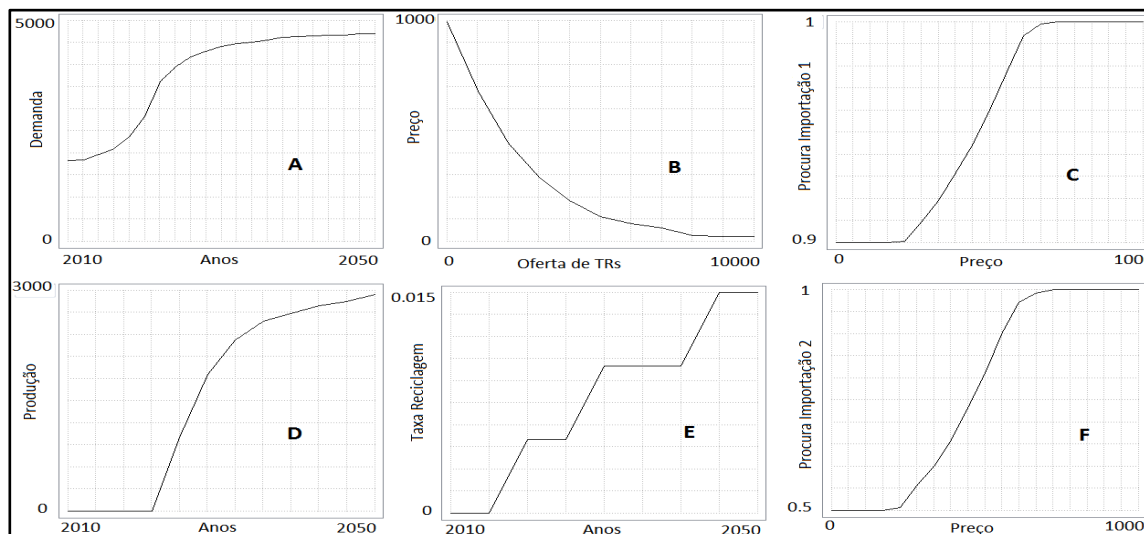


Figura 4. Relações entre as variáveis do modelo.

A: Demanda em função do tempo. B: Preço em função da oferta de ETRs. C: Taxa de importação em função do preço no cenário 1. D: Produção brasileira prevista em função do tempo. E: Taxas de reciclagem previstas em função do tempo. F: Taxa de importação em função do preço nos cenários 2 e 3.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram mensuradas cinco variáveis que descrevem os resultados das simulações e cenários; estas variáveis são: consumo, importação, produção e reciclagem, representadas como a diferença entre oferta e demanda no eixo y, em toneladas, em função do tempo, de 2010 a 2050, no eixo x.

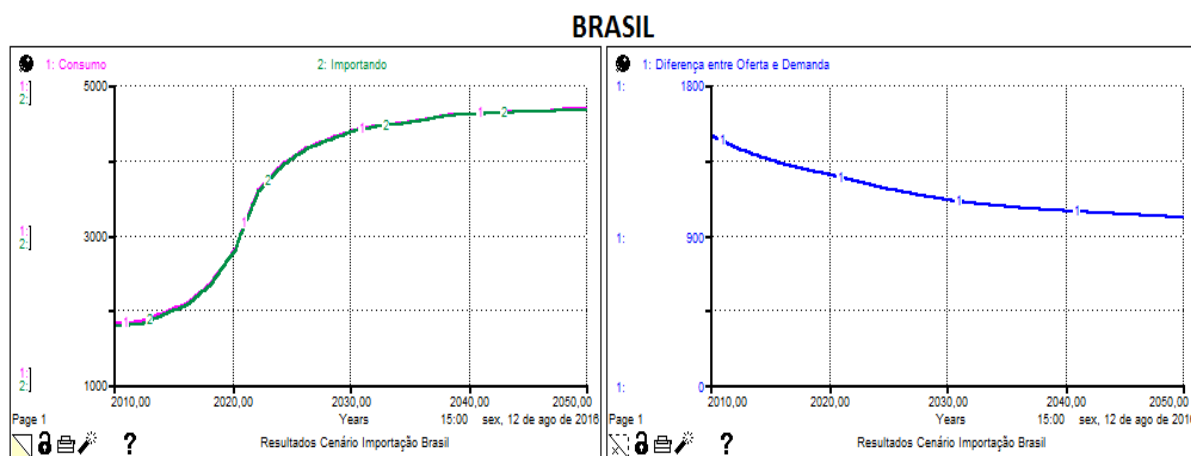


Figura 5. Resultados do cenário 1 – Consumo: Rosa (1); Importação: Verde (2); Diferença entre Oferta e Demanda: Azul (1).

O cenário 1, apresentado na Figura 5, mostra a realidade atual brasileira. O consumo é suprido somente pela importação, com uma leve diminuição da diferença oferta-demanda ao longo do tempo, o que leva a pensar sobre a necessidade de novos meios de fornecimento.

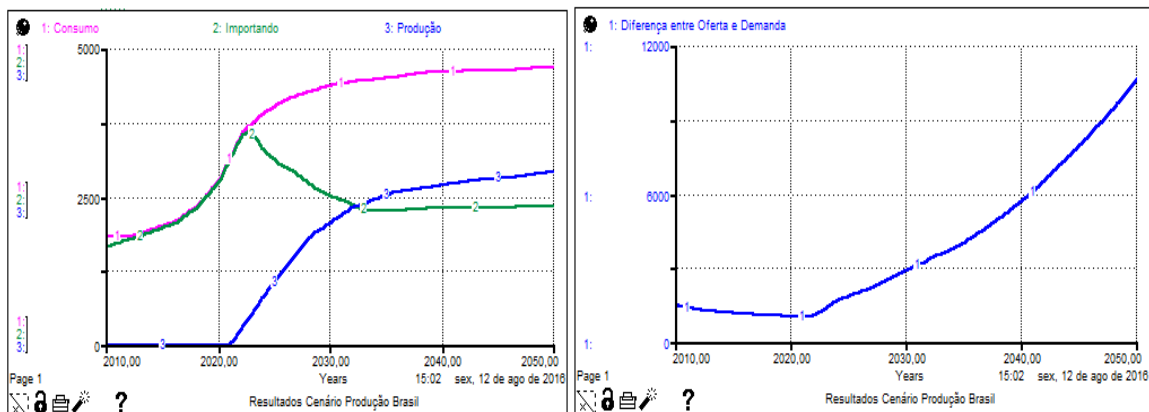


Figura 6. Resultados do cenário 2 – Produção: Azul (3);
Diferença entre Oferta e Demanda: Azul (1).

No cenário 2, apresentado na figura 6, com ativação do sistema de produção interna brasileira em 2020 há uma queda na importação em 2023, somente 2 anos após a implementação da produção interna de ETRs. Em 2032, é o ponto de equilíbrio da importação e produção. Nesse cenário, é evidente a maior disponibilidade ETRs no mercado brasileiro.

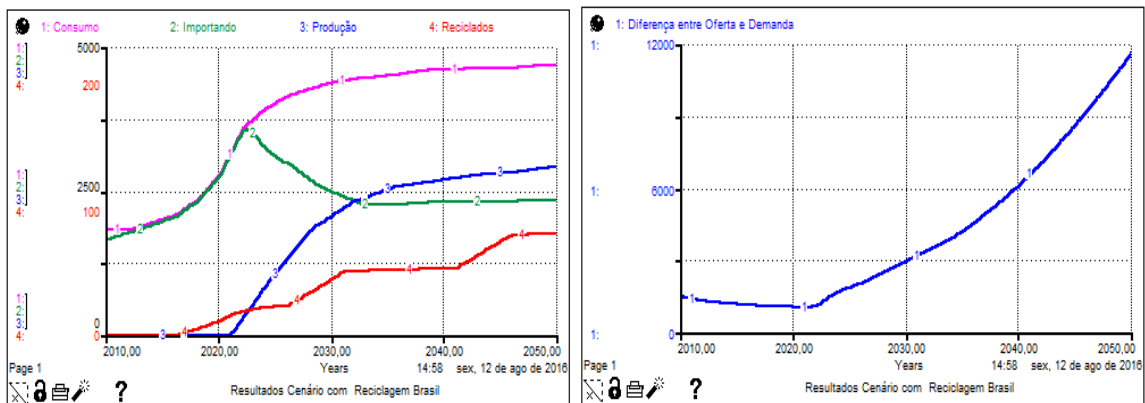


Figura 7. Resultados do cenário 3 – Reciclagem: vermelho (4).

Com a adição da reciclagem ao modelo para o cenário 3, apresentado na Figura 7, verifica-se que a queda da importação começaria na metade de 2022, seis meses antes que o cenário anterior e que a disponibilidade de ETRs no mercado em 2050 sofreria um aumento de 1006 toneladas.

A Tabela 7 apresenta as estimativas dos diferentes sistemas de fornecimento para 2050 no Brasil.

Tabela 7. Porcentagens de cada tipo de fornecimento para 2050, em toneladas.

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Importação	4695	100.00%	2349	44.38%	2340	43.67%
Produção	0	0.00%	2944	55.62%	2948	55.02%
Reciclagem	0	0.00%	0	0.00%	70	1.31%
Abastecimento	4695	100.00%	5293	100%	5358	100.00%

O maior produtor e consumidor de ETRs no mundo, a China teve a sua análise realizada e ilustrada na Figura 8. Devido às políticas de produção interna chinesa, a produção de ETRs diminuiria em 2050.

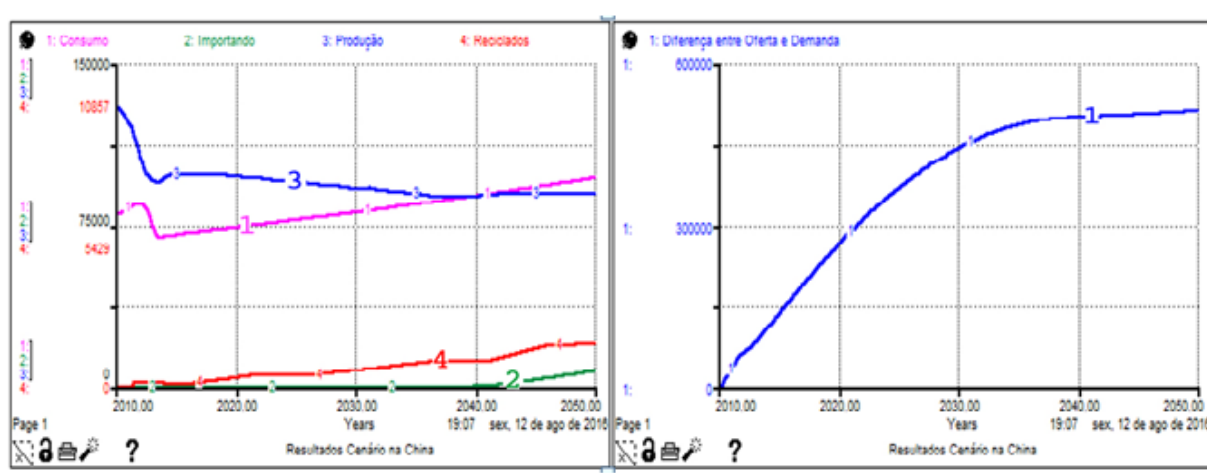


Figura 8. Resultados Cenário 4: análise do mercado chinês entre 2010 e 2050.

Nota-se que em 2040, o consumo seria superior à produção necessitando a ativação da importação. Consequentemente, mesmo a China sendo o maior abastecedor de ETRs, abrirá espaço para outros mercados terem maior participação em 2050.

O panorama mundial é contemplado e ilustrado na Figura 9. Estima-se que há um aumento na produção de ETRs devido a descobertas de novas reservas.

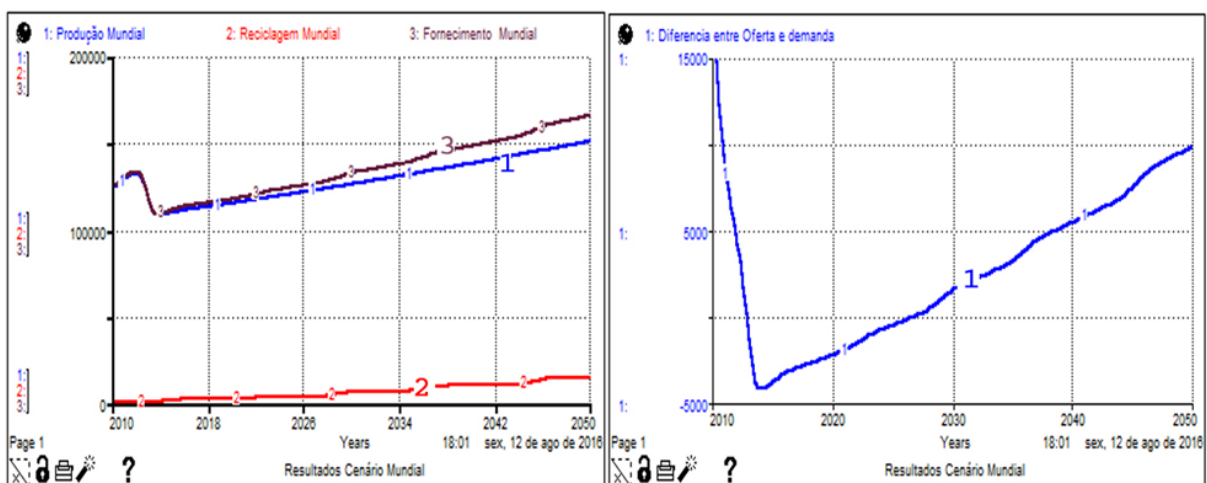


Figura 9. Resultados Cenário 5. Fornecimento Mundial: marrom (3)

Em 2050, o Brasil passa a ter uma participação de 2,2% e ao comparar com 2009 obteve um aumento de 27,16%. A participação dos EUA passou de 0% em 2010 para 7,5% para o mesmo período. E a China, ainda sim continua sendo a maior produtora com 63,0% da participação no abastecimento global.

Como considerações finais, se deve considerar que o mercado global de ETRs, está sendo utilizados pela indústria de alta tecnologia, e se prevê que deve aumentar em um 48,06% de sua demanda até 2050. Atualmente, há um crescente interes por pela exploração e produção destes elementos devido a seu papel significativo para o desenvolvimento tecnológico e econômico dos países que tem minérios com estes elementos. No caso do Brasil, uma forma estratégica para substituir as importações destes elementos, é estimular a mineração de ETRs para fabricação de produtos com base nesses insumos, assim mesmo, deveria estabelecer parcerias/consórcios entre as empresas consumidoras por exemplo, as fabricantes de motores com ímãs permanentes, as empresas produtoras de catalisadores automotivos e de refino de petróleo, entre outras e as empresas mineradoras, com vistas a diminuir o risco de abastecimento e a volatilidade e a permitir uma margem adequada para as mineradoras, viabilizando, assim, investimentos nesse segmento estratégico.

A estratégia política de abertura/fechamento das cotas de exportação da China tende a manipular o mercado das terras raras, influenciando diretamente os preços de venda e compra dos ETRs. No caso de EUA, tem interesses na produção de estes insumos devido que uma parte significativa de seus manufaturados estão compostos por estes elementos, por tanto pretendesse com a o aumento da produção de ETRs diminuir os custos destes. Outros países como Alemanha, procuram fortalecer as pesquisas com países que possuem reservas destes minérios a fim de contrarrestar as estratégias de *shop-go* da China.

3. CONCLUSÕES

Neste trabalho, avaliaram-se os sistemas de abastecimento brasileiro de ETRs, bem como a sua representação no sistema multi-ofertas. Um modelo dinâmico foi proposto para fundamentar a análise e as condições iniciais desta simulação foram dados fornecimentos por órgãos responsáveis. Considerando a crescente demanda nacional e internacional de ETRs, o país tem grande potencial para ter participação no mercado mundial tornando-se um player relevante. A viabilidade de atingir esse patamar requer o alavancamento em outra escala de produção e efetivar a reciclagem de ETRs no Brasil. A produção mundial para 2050 seria aproximadamente de 153.000 toneladas como base nos resultados obtidos. Para o mesmo período, embora a China diminua a sua produção, ainda sim continuaria sendo o maior fornecedor de ETRs. Estimou-se que a participação brasileira seria de 2,2% na produção em oposição ao cenário encontrado em 2009 com o melhoramento na taxa de produção e um sistema de reciclagem. Desta forma, trabalhos futuros e políticas que invistam em estudos aprofundados a respeito da viabilidade técnico-econômica destes empreendimentos no país é recomendado.

4. REFERÊNCIAS

Cotton S. Lanthanide and actinide chemistry. 1a. ed. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd; 2006.

Diamond J. Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive. *Environmental History* 2005; 3; 538-540.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral do Brasil [homepage on the internet]. Brasília: DNPM, 2009-2015 [cited 2016 Dec 2]. Available from: <http://www.dnpm.gov.br/>

Enghag P. *Encyclopedia of the Elements*. 1a. ed. Suécia: Technical Data, History, Processing, Applications; 2005.

Filho PCS, Serra OA. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. *Química Nova Online* 2014; 37; 753-760.

Forrester J. *Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers*. *Harvard Business Review* 1958; v. 36; 37-66.

IMCOA. Industrial Minerals Company of Australia Pty, Disponível em: <http://www.industrialminerals.biz/>. Ltd. Acessado em 25 de novembro de 2016 de 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015.

Kifle D, Sverdrup H, Koca D, Wibetoe G. A Simple Assessment of the Global Long Term Supply of the Rare Earth Elements by Using a System Dynamics Model. *Environment and Natural Resources Research* 2013; v.3; 77-91.

Ortiz CEA, Júnior EMV. Rare earth elements in the international economic scenario. *Revista Escola de Minas* 2014; 67; 361-366.

Roskill Information Services LTD. *The economics of rare earths and yttrium*. Technical report. 2007.

U.S.G.S. *Mineral Commodity Summaries*, January 2016.