

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO INTERNO BRASILEIRO DE TERRAS RARAS E SUA REPRESENTAÇÃO NO SISTEMA MULTI-OFFERTA MUNDIAL

Rodolfo Alves dos Santos Ai

Aluno de Graduação da Engenharia de Produção 7º período, UFRJ
Período PIBIC/CETEM : Agosto de 2015 a Julho de 2016.

rasantos@cetem.gov.br

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Orientador, Eng. Industrial, D.Sc.

flima@cetem.gov.br

Ligia Marcela Tarazona Alvarado

Coorientador, Enga. Controle Electronico, M.Sc.,

lalvarado@cetem.gov.br

Resumo

Os elementos terras raras (ETR) são recursos cruciais para o novo milênio por apresentarem características únicas a diversas aplicações tecnológicas. A indústria tem fomentado o crescimento anual da procura destes entre 8% a 11%. Com o auxílio de simulações de modelagem dinâmica, este trabalho tem como objetivo mostrar o mercado brasileiro de tais elementos em face às novas demandas tecnológicas vem crescendo exponencialmente nas ultimas décadas. Para suprir tais demandas, o Brasil importa por volta de 2000 toneladas de terras raras por ano provenientes de compostos químicos e manufaturados. É apresentado, também, a necessidade de melhores estratégias econômicas, principalmente por parte do governo, a fim de incentivar a produção interna e a reciclagem desses elementos cruciais para o novo milênio. Conclui-se que é evidenciada a participação de 2,2% do Brasil no sistema multi-oferta mundial de TR, caso a reciclagem e a produção fossem implementados.

Palavras chave: terras raras, sistemas dinâmicos, abastecimento.

EVALUATION OF THE BRAZILIAN SUPPLY SYSTEM OF RARE EARTH AND ITS REPRESENTATION IN THE WORLD'S MULTI-SUPPLY SYSTEM

Abstract

The rare earth elements (REE) are one of the key resources of the new millennium because they have unique features that can be applied on several technological applications. The industry promotes the annual growth of demand from 8% to 11%. With the help of dynamic modeling simulations, this work aims to show the brazilian supply of such elements in face of the exponential rise of its technological demand in the past decades. To meet such demand, Brazil imports around 2000 tons of rare earths a year from chemical compounds and manufactured goods. Also, it's exposed the necessity of improved economic strategies, especially by the government, in order to encourage domestic production and recycling of these crucial elements for the new millennium. Finally, it's shown the Brazilian participation of 2,2% on the multi-supply system if it occurs the implementation of the domestic production and recycling.

Keywords: rare earths, system dynamics, supply.

1. INTRODUÇÃO

Os elementos terras raras (ETR) formam um grupo de 17 elementos químicos da tabela periódica. Segundo Ortiz; Júnior (2014), suas propriedades físicas e químicas são utilizadas em uma grande variedade de aplicações tecnológicas, garantindo características únicas. Segundo Rocio et al. (2012), as principais indústrias nacionais consumidoras diretas de produtos que apresentam Terras Raras (TR) em suas composições são as fabricantes de catalisadores, vidros e cerâmicos; e as consumidoras indiretas são as fábricas de motores e turbinas eólicas.

Na Tabela 1 é apresentada a demanda destes elementos no Brasil por meio da importação, segundo os relatórios do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) dos 2006 a 2014. Em 2012, o DNPM aprovou reservas lavráveis com cerca de 22.000.000 toneladas desses minerais; porém, estes não vêm sendo alvo de exploração, seja por riscos ambientais, seja por riscos econômicos.

Tabela 1: Importações de TR 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

Neste contexto e tendo em vista a importância das TRs como mineral estratégico, esse estudo apresenta a modelagem dinâmica do mercado brasileiro e seu comportamento ao longo do tempo.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse estudo constitui-se na avaliação do abastecimento brasileiro de terras raras através de um modelo baseado em Sistemas Dinâmicos (SD) focando no prazo de 40 anos. Além de avaliar as possibilidades de uma produção propriamente brasileira e da reciclagem efetiva como meio de suprir a crescente demanda do Brasil.

3. METODOLOGIA

Segundo Kifle et al. (2012) 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 TR.

O processo para a procura de TR no mercado é descrita pelo DLC construído na Figura 1. Ele descreve a causalidade dos ativos no sistema. A demanda aumentará de acordo com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico. A exploração, por sua vez, cresce de acordo com a demanda; a importação diminui na medida em que a produção interna aumenta.

O modelo da Figura 2 no ambiente de modelagem *i-Think* foi composto de acordo com DLC da Figura 1. O fornecimento se dá pela importação, produção e reciclagem. A quantidade de TRs 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 TR e é representado como um fluxo a qual fornece o estoque de reservas conhecidas que estarão disponíveis para a produção de TR.

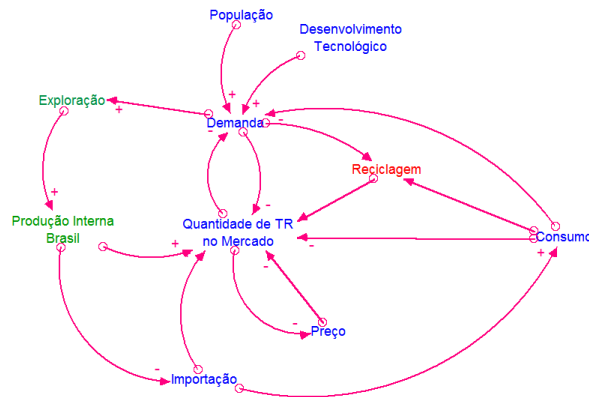


Figura 1: DLC para o sistema de TR do Brasil, mostrando os laços causais no sistema de abastecimento.

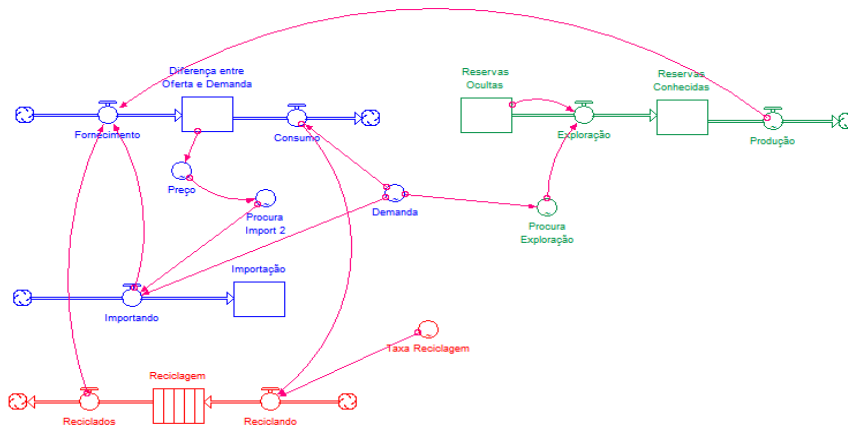


Figura 2: Modelo em i-Think construído com base no DLC da Figura 1.

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 TRs com a implementação da produção e reciclagem.

Os cenários criados estão representados nas Figuras 1 e 2 com seus fatores diferenciados por cor. O Cenário 1 mostra a situação atual brasileira, com a demanda suprida somente pelas importações (Azul). Em seguida, será introduzida a produção interna no modelo para criar o Cenário 2 (Verde). No Cenário 3, a variável de reciclagem aderirá ao modelo de modo que possamos ter uma melhor visão sobre sua possível implementação no Brasil (Vermelho).

O modelo foi parametrizado adaptando as taxas de procura, a relação entre preço e oferta e a demanda mundial de TRs apresentada por Kifle et al (2012) para a realidade brasileira, relacionando-os com os dados do DNPM de 2009 à 2014. A produção foi estimada em relação ao potencial de produção de TR 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. Como estas são previsões sobre o futuro, tais projeções são aproximadas. Relações entre as variáveis do modelo são apresentadas na Figura 3.

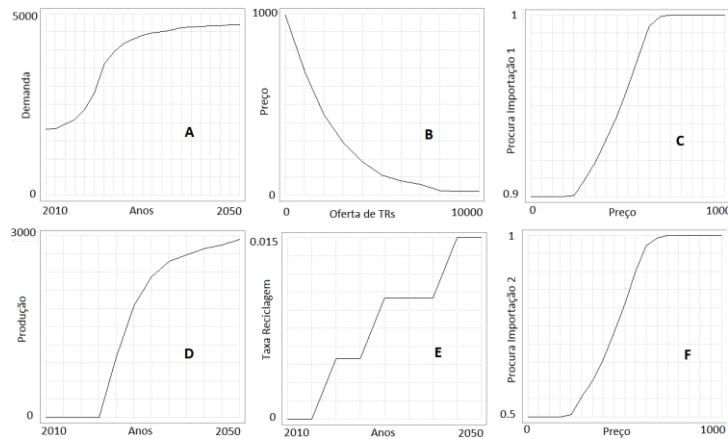


Figura 3: Relações entre as variáveis do modelo. A: Demanda em função do tempo. B: Preço em função da oferta de TR. C: Taxa de importação em função do preço no cenário 1. D: Produção brasileira prevista em função do tempo. E: Taxas de reciclagem previstas em função do tempo. F: Taxa de importação em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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação da modelagem dos três cenários serão dados em gráficos das variáveis importações, produção, consumo, diferença entre oferta e demanda e reciclagem no eixo y, em toneladas, em função do tempo, de 2010 à 2050.

O cenário um, apresentado na Figura 4, mostra o consumo 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.

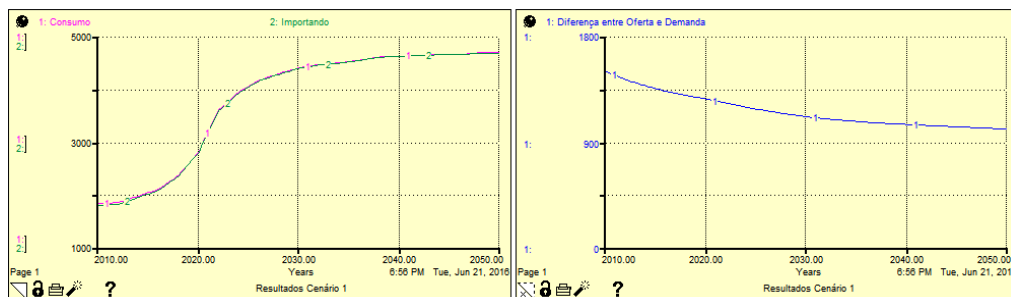


Figura 4: Resultados Cenário 1. Consumo: Rosa (1); Importação; Verde (2); Diferença entre Oferta e Demanda: Azul (1).

No cenário dois, apresentado na figura 5, é importante destacar a queda da importação em 2023, somente 2 anos após a implementação da produção interna de TR. Em 2032, é o ponto de equilíbrio da importação e produção. Nesse cenário, é evidente a maior disponibilidade TRs no mercado brasileiro.

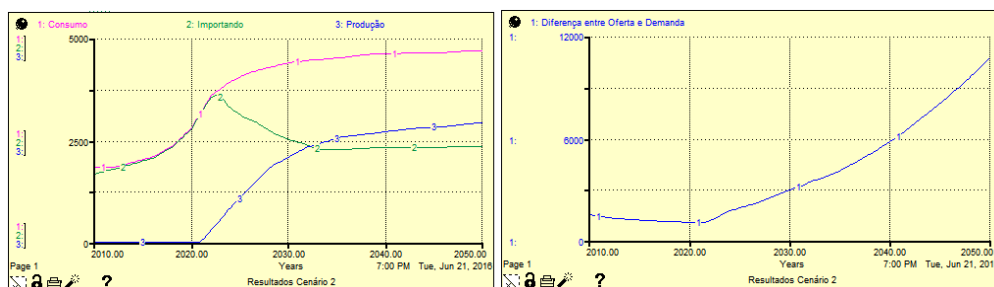


Figura 5: Resultados Cenário 2. Produção: Azul (3); Dif. entre Oferta e Demanda: Azul (1)

Com a adição da reciclagem ao modelo para o cenário três, apresentado na Figura 6, verifica-se que a queda da importação começaria na metade de 2022, seis meses antes que o cenário anterior e que a disponibilidade de TRs no mercado em 2050 sofreria um aumento de 1006 toneladas.

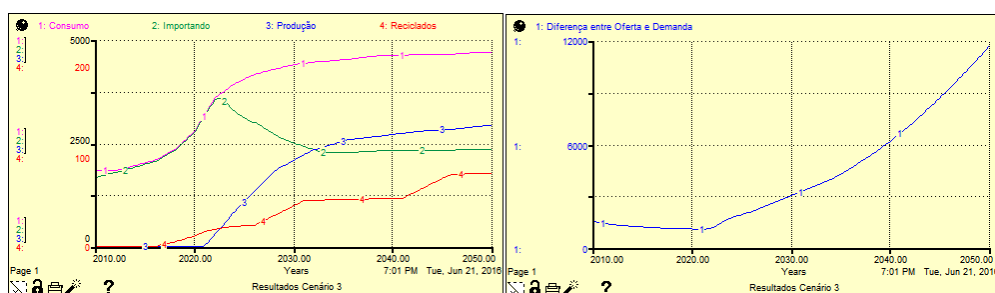


Figura 6: Resultados Cenário 3. Reciclagem: vermelho (4).

A tabela 2 apresenta a estimativa de para o sistema de fornecimento para 2050.

Tabela 2: 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%	5293	100%	5358	100.00%

5 CONCLUSÕES

Com base no trabalho apresentado, o Brasil é apenas um importador de terras raras, e este cenário modifica-se pouco com os empreendimentos em fase piloto ou de viabilidade. Considerando a crescente demanda nacional e internacional desses elementos, bem como as grandes reservas que o país possui, seria de grande relevância alavancar em outra escala de produção e da reciclagem de terras raras em território nacional. Além disso, o Brasil teria uma representação no sistema multi-oferta mundial de TRs de 2,2% em 2050, contra 0,47% em 2009. Contudo, para alcançar tais resultados, é necessário que se invista em estudos aprofundados a respeito da viabilidade técnico-econômica destes empreendimentos no país.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq e ao CETEM pelo incentivo e concessão da bolsa PIBIC.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNPM, B. D. **Sumário Mineral** (ISS 01012053 ed., Vol. 1. 41 p.:il;29cm). 2015

FORRESTER, J. **Industrial Dynamics**. 1.ed, pp. 98-101,1958.

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**, v.3,p 15, 2012

ORTIZ, C. E., & JÚNIOR, E. M. Rare earth elements in the international economic scenario. **Revista Escola de Minas**, v.67, p.361-366, 2014.

ROCIO, M. A., DA SILVA, M., DE CARVALHO, P. S., & CARDOSO, J. G. Terras-raras: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial** 35, p. 369-420, 2012.

ZHANHENG, C. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. **Journal of Rare Earths**, v.21, p.1, 2011.