

SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DA PRODUÇÃO DE ÍMÃS PERMANENTES E RESERVAS DE TERRAS RARAS: BRASIL × MUNDO

Franciele Weschenfelder ¹
Philippe Pauletti ²
Sérgio Deitos Bittencourt ³
Leandro Pelegrini ⁴
Diogo Kaoru Ito ⁵
Lirio Schaeffer ⁶

Resumo

Gerar energia com fontes renováveis não é uma tarefa tão simples, pois demanda diversos tipos de tecnologias, o que pode agregar muito custo ao sistema. Por este motivo, investir em pesquisa nesta área pode ser uma alternativa para viabilização econômica de sistemas eólicos, por exemplo. Uma linha de pesquisa nesta área é o estudo de novos materiais, como ímãs permanentes, com propriedades cada vez melhores. Estes ímãs, quando utilizados em geradores eólicos, agregam muitas vantagens na sua operação, como uma elevada relação torque/volume. Para esta aplicação é necessário que estes ímãs apresentem elevado campo coercitivo (H_c) e elevada indução remanente (B_r). O Brasil ainda não apresenta competitividade na indústria de ímãs permanentes, por isso, muitos estudos por parte do governo e da iniciativa privada estão em fase de desenvolvimento no país. Há uma atenção especial voltada aos ímãs de Terras Raras, matéria-prima fundamental para produção de ímãs permanentes.

Palavras-chave: Ímã permanente; Terras raras; Energia eólica.

CURRENT SITUATION AND PROSPECTS OF PRODUCTION AND RESERVES OF PERMANENT MAGNETS OF RARE EARTHS: BRAZIL × WORLD

Abstract

Generating energy from renewable sources is not an easy task since it requires different types of technologies, which can add much cost to the system. For this reason, investment in research in this area can be an alternative for economic feasibility of wind power plants, for example. One line of research in this area is the study of new materials such as permanent magnets, with even better properties. These magnets, when used in wind generators add many advantages in the operation there of, and a high torque/volume. For this application it is necessary that these magnets have high coercive field (H_c) and high remanent induction (B_r). Brazil still has no competition in the industry of permanent magnets, so many studies by government and private enterprise are under development in the country. There is a special focus to the Rare Earths Magnets, the primary raw material for production of permanent magnets.

Keywords: Permanent magnet; Rare earth; Wind power.

¹Mestrando, Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: franciele.weschenfelder@ufrgs.br

²Mestrando, Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: philippe.pauletti@ufrgs.br

³Mestrando, Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: sergio.bittencourt@ufrgs.br

⁴Mestrando, Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: eandro.pelegrini@ufrgs.br

⁵Mestrando, Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: diogo.ito@ufrgs.br

⁶Professor e Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: shaeffer@ufrgs.br

I INTRODUÇÃO

As tecnologias de geração de eletricidade, utilizando como base fontes renováveis, têm criado espaço no contexto atual da economia e na nova realidade de conscientização ambiental vivida. Um dos principais impasses para a popularização desse tipo de geração (eólica, solar etc.) é o alto custo para implantação desses sistemas, fazendo com que os mesmos fiquem nas mãos de grandes empresas. Assim, infelizmente, não chegam à realidade da população, que poderia ter sistemas menores, que produziram a sua auto-suficiência podendo, também, comercializar o excedente de energia gerado. Esse conceito de geração distribuída resolveria problemas como o alto custo das linhas de transmissão e a dependência do setor elétrico de algumas poucas usinas geradoras.⁽¹⁾

Uma das formas de resolver os problemas com o alto custo de implantação desses sistemas inovadores é investir em pesquisa nos seus diversos componentes, para que cada vez mais a eficiência seja aumentada e os custos reduzidos. Uma linha de pesquisa importante referente à energia eólica está relacionada aos materiais magnéticos (ímãs permanentes) utilizados nos geradores eólicos.

Um aerogerador síncrono com ímãs permanentes tem o mesmo funcionamento de um gerador síncrono, diferindo apenas pelo fato de o campo do rotor ser produzido por ímãs permanentes ao invés de correntes que circulam por enrolamentos. Torna-se desnecessária uma fonte de excitação para produzir correntes rotóricas, reduzindo custos. Também, com esta técnica não há perdas joule (I^2R) no campo, aumentando a eficiência. Devido a estas vantagens, os geradores com ímãs permanentes são usados em pequenas turbinas eólicas.⁽¹⁾

Considerando as vantagens do uso de geradores síncronos com ímãs permanentes, o estudo para aprimoramento da qualidade do ímã é um tópico relevante. Um ímã permanente é um dispositivo utilizado para criar um campo magnético estável em certa região do espaço.⁽²⁾ Para motores elétricos de alto rendimento é de grande interesse que os ímãs permanentes apresentem um elevado campo coercitivo ou coercividade (H_c) e elevada indução remanente ou remanência (B_r). Um elevado H_c impede que o ímã seja facilmente desmagnetizado e um alto valor de B_r resulta em um fluxo magnético elevado.⁽³⁾

A Figura 1 mostra dois ciclos de histerese, sendo que o ciclo com largura maior representa um ímã permanente (*material magnético duro*), e o estreito representa um *material magnético macio*. A largura representa os valores do campo B_0 necessário para desmagnetizar o material, ou seja, um material magnético duro necessita mais campo B_0 para ser desmagnetizado que um material magnético macio.⁽⁴⁾

I.1 Estado da Arte

A produção de ímãs permanentes no Brasil ainda está em escala de estudos, necessitando de uma estratégia para implementação de cadeia produtiva. Uma alternativa seria o desenvolvimento de uma competência nacional divi-

dida em três níveis. O primeiro seria a busca de domínio, que compreenderia a produção em escala laboratorial para o desenvolvimento tecnológico dos processos, planejamento de unidades produtivas e formação de especialistas. O segundo nível, operação piloto, abrangeria a produção em escala piloto para exercer o desenvolvimento tecnológico para futura produção em altos níveis de qualidade e produtividade. E, por fim, o terceiro nível corresponderia à produção competitiva, plantas industriais para produção em larga escala e com competitividade internacional.⁽⁵⁾

A estratégia não deve se limitar ao desenvolvimento e a produção desses bens minerais no país. Os países desenvolvidos desprovidos desses recursos minerais os importam nos estados bruto ou beneficiado e, após processamento, fazem uso deles em produtos de alta tecnologia. A estratégia preconizada vai muito além, com a necessidade de programas específicos coordenados entre governo e setor privado para o desenvolvimento de processos e produtos em cadeias produtivas de alto valor agregado, eventualmente atuando em determinados nichos, em um ambiente de intensa competitividade internacional.⁽⁶⁾

É neste contexto que os importantes recursos identificados de terras-raras no Brasil, com teores e reservas elevados, deverão merecer uma atenção muito especial e a implantação de um amplo programa de P, D&I.

As terras-raras são cada vez mais aplicadas nas indústrias de alta tecnologia, como na 'energia verde' (turbinas eólicas e células fotovoltaicas), nos carros híbridos elétricos, nos ímãs permanentes de alto rendimento e na comunicação à distância. É necessário que sejam também destacadas ações na sua cadeia produtiva para que o Brasil continue exercendo controle em todas as fases dessa indústria tão importante.⁽⁶⁾ A Figura 2 mostra um esquema do desenvolvimento de competências em toda a cadeia produtiva.

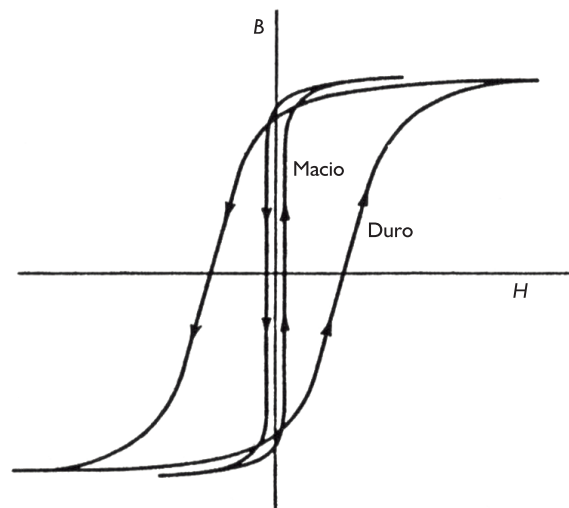


Figura 1. Ciclo de histerese para materiais magnéticos duros e macios.⁽⁴⁾

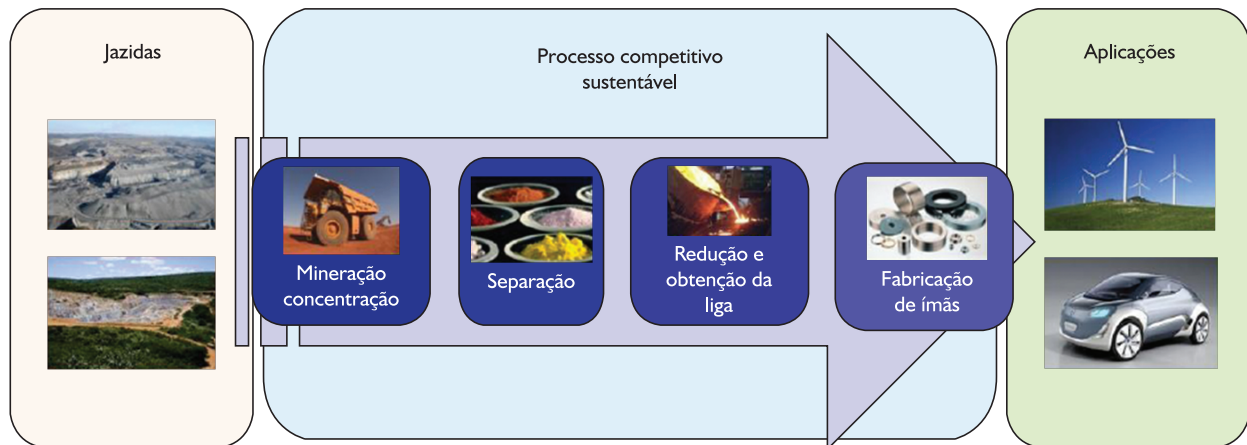


Figura 2. Esquema do desenvolvimento de competência em cadeia produtiva.⁽⁵⁾

Os Elementos de Terras-Raras (ETR) estão contidos, principalmente, nos minerais dos grupos da bastnaesita (Ce, La) CO₃F, monazita (Ce, La)PO₄, argilas i nicas portadoras de Terras-Raras e xenotímio (YPO₄). As maiores reservas de bastnaesita estão na China e nos EUA. No Brasil, Austrália,  ndia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, os ETR ocorrem na monazita e em areias com outros minerais pesados (ilmenita, zirconita e rutilo). No Brasil também se destaca a ocorrência de importantes depósitos de ETR em carbonatitos, como em Catalão (GO), Araxá (MG), Mato Preto (PR), Anitápolis (SC) e outros.⁽⁷⁾

A China possui 36,5% das reservas mundiais de Terras-Raras, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e dos EUA. Mais detalhes das reservas mundiais estão expostos na Figura 3, em que se pode observar que as reservas brasileiras, mesmo grandes, são quase insignificantes quando comparadas às reservas mundiais. A China continua na liderança da produ o mundial, com mais de 97%. A grande produ o permite   China manter preços baixos para as ETR e seus produtos, ao mesmo tempo que desestimula a produ o e a pesquisa das mesmas pelos demais países.⁽⁷⁾ As reservas brasileiras de Terras-Raras representam menos de 1% do total mundial, somando 40 mil toneladas (medidas e indicadas) de Terras-Raras contidas.⁽⁸⁾

Prevê-se, para o período 2010-2015, que a demanda por Elementos de Terras-Raras (ETR) continuará alta. Os aumentos mais significativos previstos na demanda são atribuídos   expansão da fabrica o de carros elétricos híbridos, seguida por catalisadores para o refino do petróleo, fabrica o e polimento de vidros. Nos últimos anos, a China está restringindo as exporta es de Terras-Raras, dando preferência às fábricas que usem a matéria prima no próprio país e exportando produtos, como motores elétricos de alto desempenho. Devido principalmente a este fato justificam-se os atuais estudos para a produ o nacional de  ms permanentes de Terras-Raras, visto que o país possui a matéria prima, mas não possui a tecnologia, em escala industrial, de produ o.⁽⁷⁾

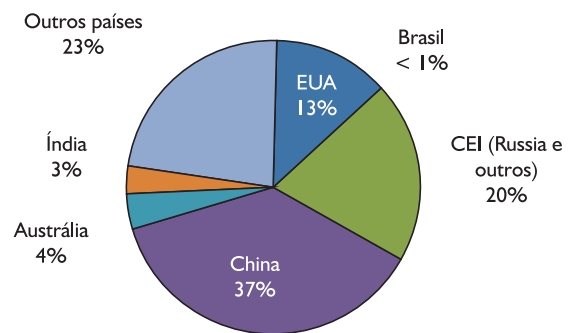


Figura 3. Distribui o de reservas de Terras-Raras no mundo.⁽⁷⁾

No mundo, a técnica de fabrica o mais utilizada para obten o de  ms   o processamento de materiais particulados, pelo processo da metalurgia do p . Como a fase magnética   obrigatoriamente anisotrópica, magnetiza o espontânea do material em numa única dire o cristalina, se o material for mo do a ponto de que cada partícula contenha um só cristal e estas forem depositadas relativamente soltas em uma cavidade, quando submetidas a um campo magnético intenso as elas sofrerão uma rota o, de maneira que tenham suas dire es cristalinas de magnetiza o espontânea alinhadas na dire o do campo externo aplicado. Esta técnica de orienta o do material permite obter um altíssimo grau de paralelismo das dire es cristalinas das partículas, maximizando a remanência.⁽⁹⁾

2 VANTAGENS DE GERADORES COM  MS PERMANENTES

Atualmente, o uso de  ms permanentes com alto produto energético, em substitui o aos enrolamentos de campo em máquinas elétricas, tem aumentado consideravelmente. Esta tendência deve-se   necessidade de sistemas de campo baratos e confiáveis produzidos a partir de ferritas que, dependendo da aplica o, são

adequados. Entretanto, um desenvolvimento mais importante, ocorreu a partir da utilização de novos materiais magnéticos, como os ímãs permanentes de Terras-Raras (super ímãs), que possuem um produto energético muito superior às ferritas.⁽¹⁰⁾

Nos geradores com ímãs permanentes não existem os enrolamentos de campo, que são substituídos por ímãs permanentes de alto produto energético. Não possuem igualmente escovas ou fonte de tensão contínua, reduzindo manutenções e aumentando o rendimento e com melhor relação torque/volume. Na maioria das vezes, os ímãs são fixados tangencialmente na superfície dos polos do rotor ou axialmente internamente no rotor.⁽¹¹⁾

A utilização dos super ímãs em novas configurações resultou em um alto rendimento dessas máquinas elétricas bem como em outras características que são difíceis de comparar com máquinas sem ímãs permanentes. A utilização dos super ímãs diminui sensivelmente os riscos de desmagnetização, uma vez que esses ímãs possuem elevada coercitividade, além de possibilitar o desenvolvimento de máquinas com uma elevada relação torque/volume.⁽¹⁰⁾

3 ASPECTOS A SEREM ANALISADOS NA ESCOLHA DO ÍMÃ

Os ímãs permanentes são essenciais por armazenar energia e por colocar esta energia à disposição através de um campo magnético estático. A escolha de um dado material para uma certa aplicação depende de vários fatores. Existe um balanço entre as propriedades magnéticas e os custos, de forma que nem sempre para uma dada aplicação o ímã permanente a ser utilizado será um material com propriedades excepcionais, se houver similar com custo reduzido.⁽¹²⁾

É feita uma importante distinção entre as propriedades magnéticas intrínsecas e extrínsecas dos ímãs permanentes. Propriedades intrínsecas são as propriedades da fase magnética principal de um ímã que são independentes da microestrutura da amostra. As propriedades intrínsecas são a ordem ferro ou ferrimagnética, a magnetização de saturação M_s , a temperatura de Curie T_c e a anisotropia magnética. Por outro lado, propriedades

extrínsecas são aquelas criticamente dependentes da microestrutura da amostra e da orientação dos grãos, e incluem a indução remanente B_r e o campo coercivo H_c . Para escolha do ímã, devem ser feitas avaliações de fatores como: temperatura de operação, efeitos de desmagnetização, intensidade do campo de indução, características ambientais, espaço disponível para os vários movimentos possíveis etc.⁽¹³⁾ A Figura 4 mostra exemplos de aplicações dos ímãs permanentes.

4 TIPOS DE ÍMÃS

Atualmente, os principais ímãs comercializados são os cerâmicos (ferritas), as ligas alumínio-níquel-cobalto e as Terras-Raras, como samário-cobalto e neodímio-ferro-boro. Com relação aos ímãs comercializados, os sinterizados de ferritas possuem a maior parcela no mercado. Os ímãs de Al-Ni-Co compreendem 9,23% da produção mundial e podem ser obtidos por sinterização ou fundição. O grupo mais recente são os ímãs de Terras-Raras como o Sm-Co e o Nd-Fe-B, também sinterizados, que compõem 23,76% do mercado e são os mais poderosos ímãs atualmente produzidos.⁽¹⁴⁾

4.1 AlNiCo

Este ímã permanente (Figura 5) apresenta uma alta densidade de fluxo magnético remanente, coeficientes baixos de temperatura (0,02%/C para B_r) e uma temperatura de serviço de até 520°C. Mas, em geral, pode se considerar que sua força coercitiva é baixa, e sua curva de desmagnetização é não linear. Como consequência, é fácil de magnetizar, mas também de desmagnetizar.⁽¹⁵⁾

4.2 Ferrite

São fabricados principalmente de ferritas de estrôncio ou de bário e óxido de ferro, exemplos deste ímã podem ser visualizados na Figura 6. Podem ser produzidos como ímãs isotrópicos e anisotrópicos. Os anisotrópicos são expostos a um campo eletromagnético durante o processo de fabricação para alcançar maior energia e



Figura 4. Aplicação dos ímãs permanentes: a) geradores eólicos, b) mancais magnéticos para compressores e c) aparelhos de ressonância magnética.

melhores propriedades magnéticas. O material em p    compactado e logo exposto em altas temperaturas (sintetizado), o que lhes permite apresentar maior resistência mecânica. Apresentam alta resistência   corrosão, a faixa de máximo produto energético   de 8,35 kJ/m³ a 34,4 kJ/m³, a densidade de fluxo remanente está entre 0,23 T a 0,43 T e coercitividade, entre 150 kA/m e 288 kA/m.⁽¹⁵⁾

4.3 SmCo

A composi o t pica consiste em samário, cobalto, cobre, zirc nio e outros elementos; faz parte da primeira gera o de ímãs de Terras-Raras. Os  m s de SmCo podem ser referidos como SmCo₅ ou Sm₂Co₁₇, dependendo da composi o química que afeta, principalmente, os coeficientes de temperatura dos parâmetros magnéticos e a máxima temperatura de trabalho (Figura 7). O máximo produto energético pode variar entre 110 kJ/m³ e 240 kJ/m³, a densidade de fluxo remanente está entre 0,8 T e 1,15 T, e a coercitividade fica entre 620 kA/m a 835 kA/m.⁽¹⁵⁾

4.4 NdFeB

São conhecidos como a segunda gera o de ímãs de Terras-Raras (Figura 8). São  m s com o maior produto energético disponíveis na atualidade e com excelentes

propriedades magnéticas. Apresentam uma resistência   desmagnetiza o muito alta, uma boa resistência mecânica e suas duas vantagens mais evidentes são a suscetibilidade   oxida o e as relativamente baixas temperaturas de emprego (até 120 C).   possível incorporar revestimentos adequados: níquel, zinco, epóxi e ouro. O máximo produto energético excede 400 kJ/m³. Na densidade de fluxo remanente, a faixa   de 1,1 T a 1,5 T e de 0,8 MA/m a 1,14 MA/m para coercitividade.⁽¹⁵⁾

4.5 Comparativos

A Tabela I apresenta as diferentes ligas e alguns fatores de compara o. Embora a Ferrite seja a liga mais barata dentre os grupos,   frágil e apresenta baixa estabilidade térmica. A liga SmCo (Samário-Cobalto) possui alta intensidade de campo magnético, alta resistência   desmagnetiza o e estabilidade térmica, porém possui custo elevado e fragilidade. O AlNiCo (Alumínio-Níquel-Cobalto) possui altos níveis de campos de indu o magnética, porém baixo coeficiente de temperatura e baixa coercitividade quando comparado aos outros grupos. A liga NdFeB (Neodímio-Ferro-Boro) possui alta intensidade de campo magnético, alto fator de remanência e coercitividade.⁽¹³⁾

5 PERSPECTIVAS FUTURAS

O futuro da indústria de ímãs permanentes está atrelado aos desenvolvimentos tecnológicos, porém vai de encontro às preocupa es relacionadas   explora o, minera o e produ o dos elementos Terras-Raras necessários   fabrica o de ímãs permanentes, em NdFeB e SmCo.⁽²⁰⁾ Os chamados "Terras-Raras" (TR) são um grupo formado por 17 elementos químicos. As formas elementares das Terras-Raras são metais tipicamente macios, maleáveis e dúcteis, geralmente reativos, especialmente a temperaturas elevadas ou quando finamente divididos.



Figura 5.  m s de AlNiCo em formatos diversos.⁽¹⁶⁾

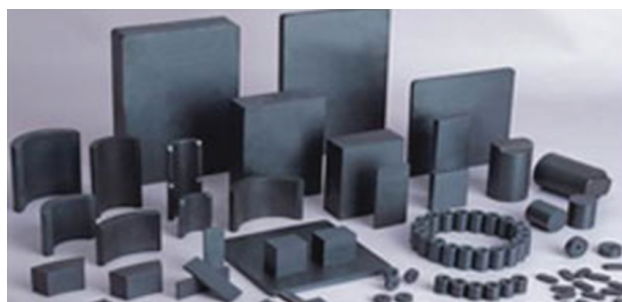


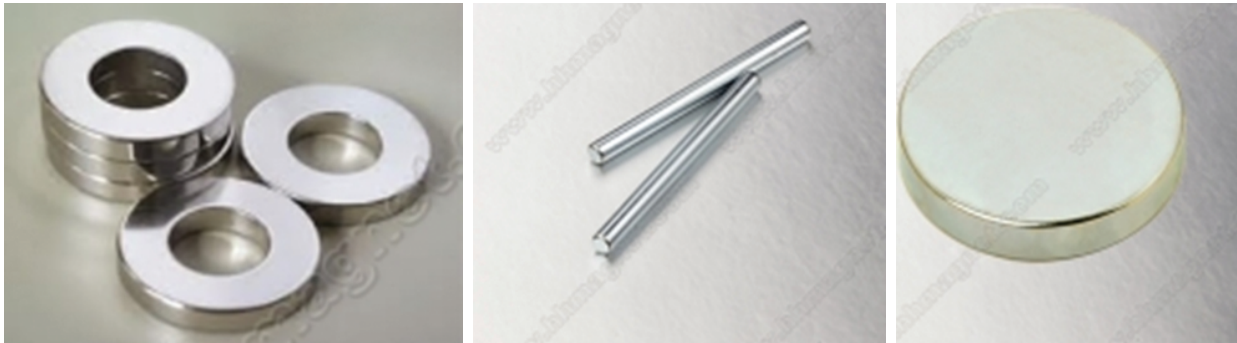
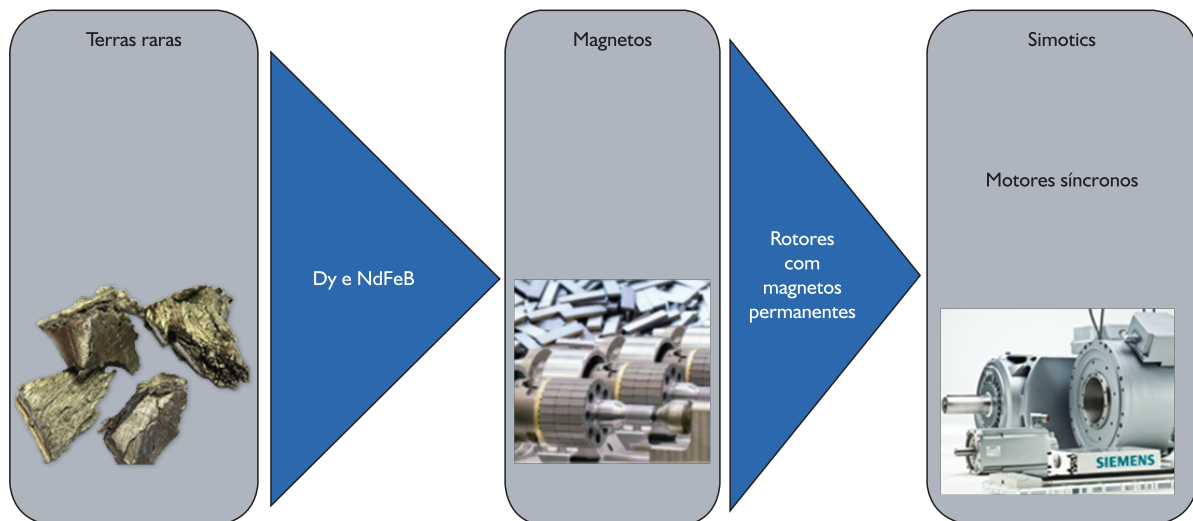
Figura 6.  m s de Ferrite.⁽¹⁷⁾



Figura 7.  m s de SmCo.⁽¹⁸⁾

Tabela I. Comparações de diferentes ligas⁽¹³⁾

Comparações	Baixo	Médio	Alto	
Custo	Ferrite	AlNiCo	NdFeB	SmCo
Intensidade de campo	Ferrite	AlNiCo	SmCo	NdFeB
Temperatura de operação	NdFeB	Ferrite	SmCo	AlNiCo
Resistência à corrosão	NdFeB	SmCo	AlNiCo	Ferrite
Resistência à desmagnetização	AlNiCo	Ferrite	NdFeB	SmCo
Resistência estrutural	Ferrite	SmCo	NdFeB	AlNiCo
Coefficiente de temperatura	AlNiCo	SmCo	NdFeB	Ferrite

**Figura 8.** Ímãs de NdFeB.⁽¹⁹⁾**Figura 9.** Relação de porque o preço das Terras-Raras impacta os custos dos motores.⁽²²⁾

A demanda por ímãs de Terras-Raras é crescente, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis – “verdes”, como a geração eólica e os veículos elétricos e híbridos. São ímãs que permitem miniaturizar os motores; logo, mostram-se como uma alternativa muito promissora para ser utilizada em aerogeradores eólicos.⁽²¹⁾ Os aumentos nos preços do Dy (Disprósio) e Nd (Neodímio) impactam diretamente no custo de geradores síncronos. A Figura 9 mostra um esquema dessa relação. Uma turbina eólica *gearless* da Siemens, com capacidade de 3 MW, possui 50% a menos

de componentes se comparado a uma turbina eólica padrão e, mesmo assim, consome 1.800 kg de magnetos de NdFeB.⁽²²⁾

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando tal implicação duas conclusões se fazem possíveis. Primeiramente, é necessário investir em formas de transformar a extração e a fabricação de ímãs de Terras-Raras no Brasil para que o produto final possua custo e qualidade competitivos no mercado.⁽²³⁾ E, investir

em pesquisa para que se obtenha um ímã que atenda vários aspectos, como custo baixo, durabilidade e eficiência na sua utilidade.

Desenvolver pesquisas nesta área, considerando a liderança da China, pode parecer irrelevante, devido ao baixo custo que o produto final ( m ) chega ao Brasil. Porém, esta não   uma realidade consolidada, o preço pode oscilar de acordo com o interesse do país que det m a tecnologia.

Neste aspecto,   de suma importância estudar e implementar processos de produ o de ímãs permanentes em escala industrial no Brasil, pelos volumes de suas reservas da m teria-prima e, muito, além disso, tem-se a grande eminência do país tornar-se referencia mundial na produ o de energia com fontes renováveis. Para que isto vire realidade   necessário que o Brasil seja independente de outros países, possuindo suas próprias tecnologias.

REFERÊNCIAS

- 1 PATEL, M. R. *Wind and solar Power Systems*. Kings Point: U.S. Merchant Marine Academy, 1999.
- 2 MOREIRA, N. J. H. Setor elétrico no caminho da inova o. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL*, n. 3, p.91-3, jun. 2009.
- 3 PIRES, W. L. *Motor de ímãs permanentes e inversor de freq ncia WEG*. Jaraguá do Sul: WEG Equipamentos Elétricos, 2006.
- 4 KRAUS, J. D.; CARVER, K. R. *Eletromagnetismo*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.
- 5 SCHNEIDER, C. A. Estudos para implanta o de uma cadeia produtiva de ímãs terras-raras no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TERRAS-RARAS, I, 2011, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.
- 6 SCLiar, C. *Plano nacional de minera o 2030: geologia, minera o e transforma o mineral*. Brasília: Secretaria de Geologia, Minera o e Transforma o Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2010.
- 7 ANDRADE, R. H. P. *Terras raras*. Brasília: Departamento Nacional de Produ o Mineral, 2009.
- 8 RESENTAL, S. *Terras raras*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008.
- 9 LANDGRAF, F. J. G. Materiais magnéticos para a indústria automobilística. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA – SIMEA, 16., 2008, São Paulo. São Paulo: [s.n.], 2008.
- 10 NASAR, S. A. *Handbook of electric machines*. New York: Mc-Graw-Hill, 1987.
- 11 FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JUNIOR, C.; UMANS, S.D. *Electric machinery*. New York: McGraw-Hill, 1990.
- 12 MURAKAMI, R. K. *Novos materiais magnéticos para ímãs de alta performance*. Instituto de Física. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.
- 13 FERRAZ NETO, L. *Informa es sobre ímãs permanentes*. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_T03.asp>. Acesso em: 08 mar. 2012.
- 14 DIAS, M. M. *Constru o de uma máquina síncrona de relutância trifásica com rotor de material magnético macio sinterizado*. 1999. 62 p. Tese (Doutorado em Minas, Metalurgia e Materiais) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- 15 MAGNAWORKS TECHNOLOGY. Disponível em: <http://www.magnaworkstechnology.com/>. Acesso em: 13 mar. 2012.
- 16 T. T. NUNES COMERCIO DE PRODUTOS MAGNÉTICOS LTDA. * m s e equipamentos magnéticos nacionais ou importados de altíssima qualidade*. Disponível em: <<http://www.ttnunesimas.com.br/alnico.html>>. Acesso em: 15 mar. 2012.
- 17 KO M S. *Produtos magnéticos*. Disponível em: <<http://www.koimas.com.br/produtos/ferrite-segmentos.php>>. Acesso em: 15 mar. 2012.
- 18 YUXIANG MAGNETIC MATERIALS INDUSTRIAL LIMITED. *All magnets products*. Disponível em: <<http://www.e-magnet.cn/content1.html>>. Acesso em: 15 mar. 2012.
- 19 CHINA SUPPLIERS. *Ningbo Huahui Magnetic Industry Co. Ltda*. Disponível em: <<http://huahuimagnet.en.made-in-china.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2012.
- 20 PORTELA, M. Brasil ignora minerais estratégicos. In: *O Estado de São Paulo*, 28 mar. 2011. Economia & Negócios. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,brasil-ignora-minerais-estrategicos,698161,0.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2012.
- 21 SIMÕES, J. *Brasil tem uma das maiores reservas de terras-raras do planeta*. Campinas: Inova Unicamp. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=reservas-terras-raras-brasil>>. Acesso em: 8 mar. 2012.
- 22 DAUSCHA, R. M. *Impacto das Terras Raras sobre equipamentos elétricos*. Rio de Janeiro: Siemens Brasil, 2011.
- 23 JONAS B. *A explora o das terras raras*. Disponível em: <<http://www.advivo.com.br/blog/luisnassif/a-exploracao-das-terras-raras>>. Acesso em: 8 mar. 2012.

Recebido em: 25/05/2012

Aceito em: 26/10/2012