

CERÂMICAS SUPERCONDUTORAS: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Everton Cristiano DOS SANTOS¹
Mario Tomio MISUCOCHI FILHO²
Pedro Henrique Machado GALLI³
Pedro Roberto de ANDRADE JUNIOR⁴
Elton Aparecido Prado dos REIS⁵

RESUMO: Materiais supercondutores são aqueles que transportam energia elétrica praticamente sem dispersão de energia quando se encontram em baixíssimas temperaturas. A primeira observação da supercondutividade foi feita em 1911, com mercúrio resfriado com hélio líquido. A temperatura na qual uma substância se torna supercondutora é denominada temperatura de transição. Em 1986 pesquisadores na Suíça criaram um composto de cerâmica com propriedades supercondutoras. Neste artigo podemos acompanhar alguns aspectos e estudos da cerâmica como supercondutor elétrico.

Palavras-chave: Supercondutores. Características. Aplicações. Levitação magnética. Maglev.

1 INTRODUÇÃO

Os supercondutores são, basicamente, materiais que não oferecem resistência ao fluxo de eletricidade quando se encontram em baixíssimas temperaturas (SERWAY, 2011).

A primeira oportunidade conhecida de observação da característica da supercondutividade em um material foi feita pelo físico holandês Heike Kamerlingh

¹ Discente do 2º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. everton.santos88@hotmail.com

² Discente do 2º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. mariotomio@hotmail.com

³ Discente do 2º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. pedrogalli1@hotmail.com

⁴ Discente do 2º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. pedandjr@outlook.com. Bolsista do Programa de Iniciação Científica.

⁵ Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais do programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista. elton.reis@toledoprudente.edu.br. Orientador do trabalho.

Onnes, da Universidade de Leiden, em 1911, que observou o desaparecimento da resistividade elétrica do mercúrio, quando resfriado com hélio líquido à temperatura de 4 K (Kelvin). Por conta de sua observação ele foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física em 1913 (RANGEL, 2012).

Em 1933, os pesquisadores alemães Walther Meissner e Robert Ochsenfeld fizeram pesquisas para tentar entender como a matéria se comportava em temperaturas muito frias, próximas ao zero absoluto. Durante suas pesquisas, descobriram que um material supercondutor tende a repelir um campo magnético, uma vez que as correntes induzidas espelham exatamente o campo que, de outra forma, teria penetrado o material supercondutor, ocasionando a repulsão do ímã, tal é chamado de "efeito Meissner". Tal efeito pode ser tão forte ao ponto de ser possível, a olho nú, constatar a levitação do material magnetizado sobre um supercondutor (RANGEL, 2012).

Com o passar do tempo, diversos materiais supercondutores foram sendo descobertos, até que, em 1962, cientistas da Westinghouse desenvolveram o primeiro fio supercondutor comercial, uma liga de nióbio e titânio (NbTi) (RANGEL, 2012).

Os eletroímãs de aceleração de partículas de alta energia feitos de liga níbio-titânio revestido com cobre foram desenvolvidos nos anos 60, pelo Rutherford-Appleton Laboratory, no Reino Unido, sendo utilizados pela primeira vez em um acelerador supercondutor no Fermilab Tevatron, nos EUA, em 1987 (RANGEL, 2012).

Outra grande descoberta sobre o tema ocorreu em 1962, quando Brian D. Josephson, estudante de pós-graduação da Universidade de Cambridge, no Reino Unido, estudou sobre a possibilidade de a corrente elétrica fluir entre dois materiais supercondutores, mesmo que separados por um material isolante ou não supercondutor. Pelo estudo, recebeu o Prêmio Nobel de Física, em 1973. Este fenômeno de tunelamento foi nomeado em sua homenagem como o "efeito Josephson" e é aplicado a dispositivos eletrônicos, como o SQUID, um instrumento capaz de detectar até mesmo os campos magnéticos mais fracos (RANGEL, 2012).

Em 1964, Bill Little, da Universidade de Stanford, nos EUA, havia sugerido a possibilidade de supercondutores orgânicos (à base de carbono). O primeiro desses supercondutores teóricos foi sintetizado com sucesso em 1980, década de descobertas inigualáveis na área dos supercondutores.

Em 1986, Alex Müller e Georg Bednorz, pesquisadores do IBM Research Laboratory, na Suíça, criaram um composto de cerâmica, formado por lantânio, bário, cobre e oxigênio, com propriedades supercondutoras à uma temperatura de 30 K, na época a mais alta dentre as conhecidas. Esta descoberta foi muito interessante, pois a cerâmica é, normalmente, um material isolante.

Mais tarde, descobriu-se que pequenas quantidades deste material eram realmente supercondutores a 58 K, devido à adição de uma pequena quantidade de chumbo como um padrão de calibração.

A partir da descoberta sobre a possibilidade de algumas cerâmicas poderem possuir propriedades supercondutoras, vários pesquisadores começaram a se interessar pelo tema, buscando temperaturas de transições (T_c), temperatura em que o material passa a possuir características supercondutoras, cada vez mais altas.

Em 1987, uma equipe de pesquisa da Universidade de Alabama-Huntsville, nos EUA, substituiu o lantânio por ítrio na molécula de Müller e Bednorz e alcançou uma incrível temperatura de transição de 92 K.

Em 1989, a Illinois Superconductor, atual ISCO International, dos EUA, foi a primeira empresa a investir em supercondutores de alta temperatura, algo próximo de 147 K.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Principais Características

São duas as principais características de um material supercondutor: a resistividade elétrica nula e, ainda, a capacidade de expelir um campo magnético.

Para falarmos sobre resistividade elétrica devemos, antes, visitar os conceitos básicos de corrente elétrica e resistividade elétrica.

Um sistema potencialmente condutor elétrico, como por exemplo um pedaço de fio de cobre, possui, em seu interior, elétrons transitando desordenadamente. Tal movimentação, ainda que de elétrons, não se trata da corrente elétrica, mas é causada pela agitação térmica a que são submetidas as

partículas, pela energia que possui o próprio sistema (SERWAY, 2011).

A corrente elétrica é produzida quando esse sistema condutor elétrico é submetido a uma diferença de potencial elétrico (DDP), como quando ligamos o fio de cobre à rede energizada de transmissão de energia elétrica. Essa diferença de potencial elétrico induz à movimentação ordenada dos elétrons que antes circulavam desordenadamente dentro do material, tornando os elétrons parte de um “fluido” - devemos lembrar que corrente elétrica é a medida da rapidez com que os elétrons podem movimentar um determinado fluxo de carga elétrica através de um material (SERWAY, 2011).

Por sua vez a resistividade elétrica, ou resistência elétrica específica, é o quanto determinado material é capaz de se opor ao fluxo de corrente elétrica que passa pelo mesmo. Quanto mais baixa for a resistividade elétrica, menor resistência o material opõe ao fluxo de corrente elétrica, permitindo mais facilmente a passagem de tal corrente (SERWAY, 2011).

A resistividade elétrica se dá ou pelas impurezas e imperfeições da rede cristalina que compõe o material ou, ainda, pelas constantes vibrações térmicas às quais os íons estão sujeitos, que fazem com que os mesmos saiam de suas posições de equilíbrio, de sua rota de equilíbrio - lembramos, novamente, que o movimento da corrente elétrica se assemelha ao de um fluido, que deve possuir escoamento laminar.

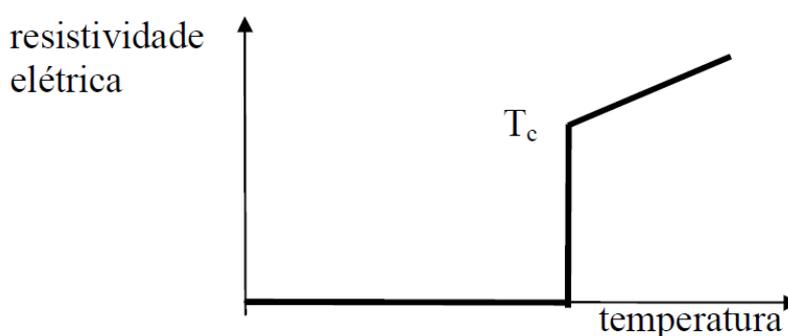
Tais barreiras levam ao espalhamento dos elétrons livres, que conduzem energia, em direções diferentes daquela induzida pela diferença de potencial elétrico, criando a resistividade elétrica.

As vibrações térmicas que podem afetar a rota de transmissão imprimida pelos elétrons livres diminuem à medida em que se diminui a temperatura do material condutor. Por óbvio, quanto mais próximo do zero absoluto, 0 K, se aproxima um material totalmente puro e perfeito (livre de impurezas e defeitos em sua estrutura cristalina), mais próximo de zero tende a resistividade, já que a única barreira que encontraria seriam as vibrações térmicas, reduzidas quando se baixa a temperatura do material (SERWAY, 2011).

Mas, ainda assim, podemos não estar diante de um material supercondutor, já que a situação do zero absoluto é meramente teórica, jamais alcançada em experimentos laboratoriais, e cujo atingimento não seria possível de, se acontecesse, ser repetido para viabilizar alguma aplicação prática.

O material supercondutor, quando resfriado, tem sua resistividade decaindo normalmente, gradativamente, como um material comum. Entretanto, ao atingir determinada temperatura, normalmente próxima ao zero absoluto, a resistividade elétrica decai abruptamente a zero. Nessa situação e nesse momento o material passou ao estado supercondutor.

GRÁFICO 1 - Gráfico representando a temperatura crítica, de transição, de supercondutividade de um material



Fonte: Internet

A temperatura em que o material passa ao estado de supercondutor é chamada de temperatura de transição, ou temperatura crítica, e é característica de cada material. Apresentaremos, abaixo, um quadro com a temperatura crítica de alguns elementos:

TABELA 1 - Temperatura crítica para vários supercondutores

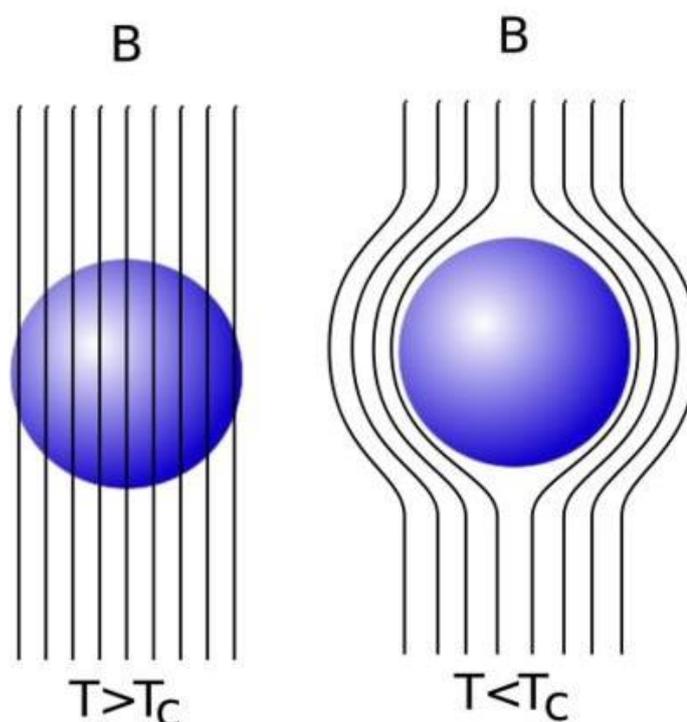
	Nb	Pb	Hg	Sn	Al	Zn
T _c (K)	9,46	7,18	4,15	3,72	1,19	0,88
T _c (° C)	- 263,69	- 265,97	- 269	- 269,43	- 271,96	- 272,27

Fonte: Searway. 2011, p. 124

Algumas ligas, metálicas ou não metálicas, possuem temperatura crítica um tanto quanto mais elevada, o que possibilita sua aplicação como material supercondutor de maneira mais difundida. Vejamos:

de serem diamagnéticos. Diante de tal situação, quando aproximado um campo magnético do material como, por exemplo, aproximando um ímã, ocorrerá a repulsão dessa fonte magnética, o inverso do que ocorreria com um material ferromagnético (que são atraídos pela fonte magnética) (SERWAY, 2011).

IMAGEM 2 - Repulsão das ondas magnéticas quando o material atinge a temperatura crítica, de transição, apresentando características supercondutoras



Fonte: Internet

Os materiais supercondutores possuem, ainda que em campos suficientemente pequenos, campo magnético interior igual a zero.

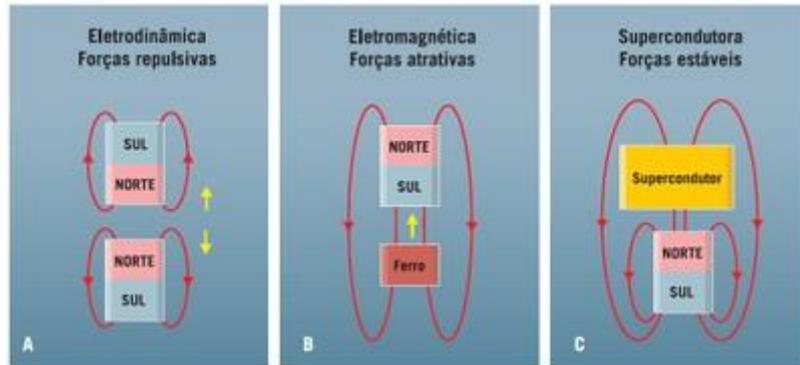
O material supercondutor, assim, não permite a entrada do fluxo magnético emitido pela fonte magnética, como um ímã, por exemplo, causando a levitação da fonte magnética, pela repulsão, tal como a repulsão de dois polos magnéticos iguais se repelem.

Lembramos que, apesar da semelhança, não estamos diante da repulsão magnética causada pela aproximação de dois polos magnéticos iguais.

Abaixo apresentamos uma imagem que demonstra as diferenças entre repulsão (eletrodinâmica) e atração (eletromagnética) e a estabilidade das forças

magnéticas no caso dos supercondutores:

FIGURA 1 - Diferenças entre força repulsiva, atrativa e estável.



Fonte: sítio da internet Ciência Hoje

FIGURA 2 - Demonstração do efeito Meissner. O material supercondutor se encontra imerso em banho criogênico, em nitrogênio líquido, por exemplo. Como as linhas de campo são expulsas pelo supercondutor, o ímã levita espontaneamente.



Fonte: Internet

2.2 Aplicações

Os materiais supercondutores, ainda que de difícil obtenção, já que as propriedades supercondutoras só são reveladas a temperaturas muito baixas, possuem quatro grandes vantagens quando comparados aos condutores comuns:

- conduzem eletricidade sem qualquer perda energética;
- não produzem calor, o

que permite uma redução expressiva nos circuitos elétricos; c. possuem grande habilidade em gerar campos magnéticos poderosos; e, por último, d. podem ser usados para criar as junções de Josephson (chaves supercondutoras, semelhante a transístores, que comutam até 100 vezes mais rápido que os comuns) (RANGEL, 2012).

Por conta dessas vantagens, podemos ter ampla aplicação de materiais supercondutores na geração, armazenamento e transmissão de energia elétrica, principalmente no que toca à transmissão de energia, que hoje desperdiça grande parte da energia elétrica gerada nas centrais elétricas, pelo efeito Joule a que estão submetidas pelas linhas de transmissão, transformando-se em energia térmica. Tais perdas seriam neutralizadas se fossem utilizados sistemas supercondutores. Mas, ainda assim, por conta da grande dificuldade em geração de cabos supercondutores de grandes dimensões, é inviável tal aplicação.

Outra aplicação ligada aos materiais supercondutores reside na produção de campos eletromagnéticos extremamente elevados, com a construção de bobinas confeccionadas a partir de fios de materiais supercondutores. Tais campos magnéticos seriam, ainda, extremamente uniformes em um volume relativamente grande (RANGEL, 2012).

Tal expediente faz possível a utilização e constantes melhorias de equipamentos médicos de ressonância magnética nuclear, que permitem revelar detalhes do interior do corpo de um paciente sem a necessidade de fazê-lo cirurgicamente ou com a utilização de radiação nociva, com a utilização de aparelhos de raio-X ou raios gama.

Os materiais supercondutores, por conta da capacidade de geração de magnetos superpotentes, como dito acima, permitiu, e ainda permitem, a viabilização de aceleradores de partículas, muito empregados em física de alta energia. Nos aceleradores de partículas o elevado campo magnético criado pelos supercondutores permite a aceleração dos feixes de prótons a velocidades extremamente altas, possibilitando o choque dos mesmos com altíssima energia.

E, a aplicação mais intimamente ligada à engenharia hoje possível, já que a transmissão de energia ainda se mostra inviável, está na possibilidade de criação dos veículos Maglev, trens que circulam a altíssimas velocidades, aproveitando-se da levitação magnética, daí seu nome, proporcionada pelos solenoides produzidos a partir de materiais supercondutores.

Por conta da importância do tema, será o mesmo abordado adiante, em separado.

2.2.1 Maglev

Como dito acima, Maglev, ou “Magnetic Levitation”, levitação magnética em tradução livre, é a palavra utilizada para designar todos os trens que utilizam o fenômeno da levitação magnética, com ou sem o uso de supercondutores.

Entretanto, por conta das propriedades dos materiais supercondutores, a levitação magnética proporcionada pelas bobinas supercondutoras é muito mais eficiente que a derivada de materiais não supercondutores (MAGLEV, 2017).

A levitação do trem evita o atrito entre o trem e os trilhos, principal limitador da velocidade da composição férrea (MAGLEV, 2017).

Quando levada a cabo por materiais supercondutores, a levitação do Maglev ocorre porque bobinas supercondutoras existentes no interior do trem geram fortes campos magnéticos, que, ao se aproximar dos trilhos, de material condutor ou composto também por bobinas supercondutoras, os repelem, devido à repulsão magnética entre a bobina supercondutora e o condutor (MAGLEV, 2017).

As bobinas supercondutoras que equipam os trens Maglev são, por conta da temperatura de operação, compostas por materiais cerâmicos. Como visto anteriormente, as ligas cerâmicas supercondutoras são as que possibilitam as mais altas temperaturas de transição, temperaturas críticas (MAGLEV, 2017).

Tal tecnologia possibilita o atingimento de altíssimas velocidades, podendo chegar a 500 km/h de média.

Já se implantou algumas composições dessas em países desenvolvidos, principalmente Japão, China e Alemanha. No Brasil, de tecnologia incipiente, há estudos desenvolvidos pela UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, em conjunto com a Escola Politécnica da USP - Universidade de São Paulo, que pretendem viabilizar a construção do primeiro Maglev nacional, batizado de MagLev COBRA.

O MagLev COBRA, projeto nacional, demonstra ser altamente viável, com custos de implantação e operação bem menores quanto comparados ao metrô,

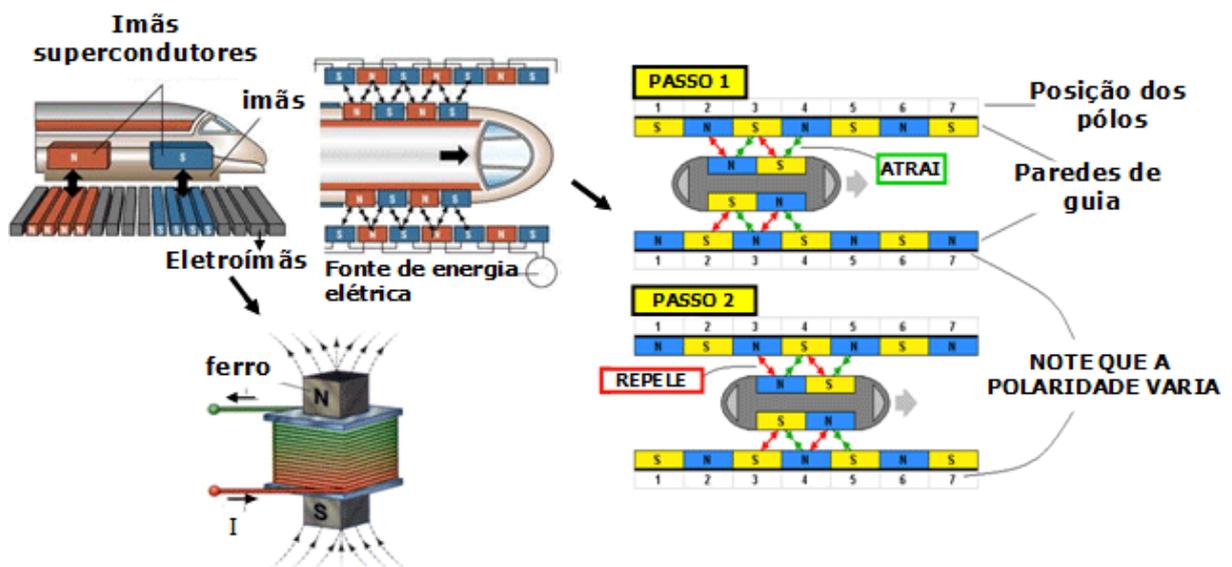
sendo inclusive alimentado por placas fotovoltaicas instaladas no teto das composições.

Ao contrário dos trens europeus e orientais em operação, o MagLev COBRA está sendo desenvolvido para operar em baixa velocidade, algo em torno de 70 km/h, compatível com a necessidade do transporte público urbano nacional.

O motivo da menor velocidade do MagLev COBRA é explicado pelos materiais e tecnologias que estão sendo aplicados. Como a tecnologia é baseada em materiais cerâmicos supercondutores, que possuem capacidade de, parcialmente, excluir o campo magnético no interior dos supercondutores, a força de levitação é reduzida, tendo, em contrapartida, maior estabilidade de levitação, dispensando sistemas de controles sofisticados ou rodas.

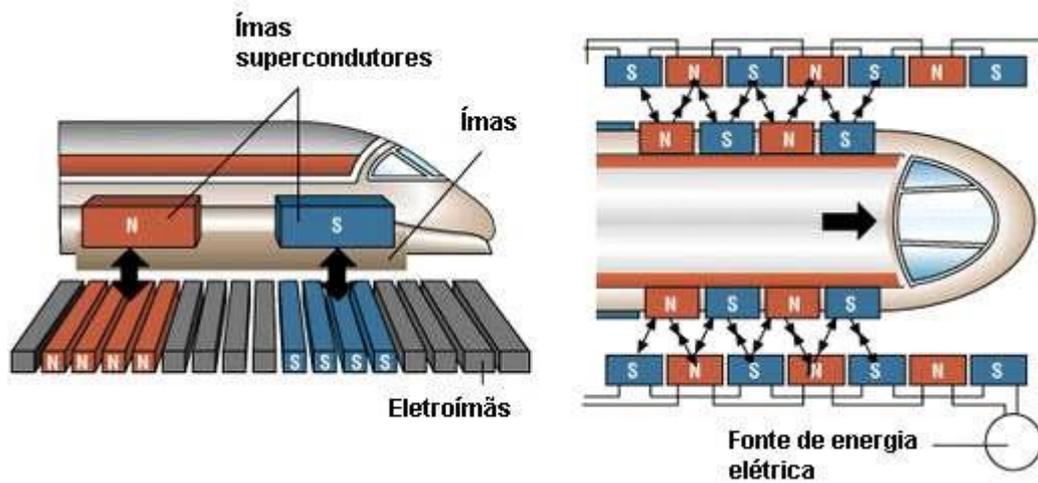
A placa cerâmica utilizada no MagLev COBRA para levitação sobre os trilhos tem como composto a liga $YBa_2Cu_3O_x$ (YBCO), sendo seus trilhos de ímãs permanentes de Neodímio-Ferro-Boro (NdFeB), compondo o circuito magnético, interagindo com os supercondutores, para propiciar a levitação.

FIGURA 3 - Esquema de funcionamento de um Maglev



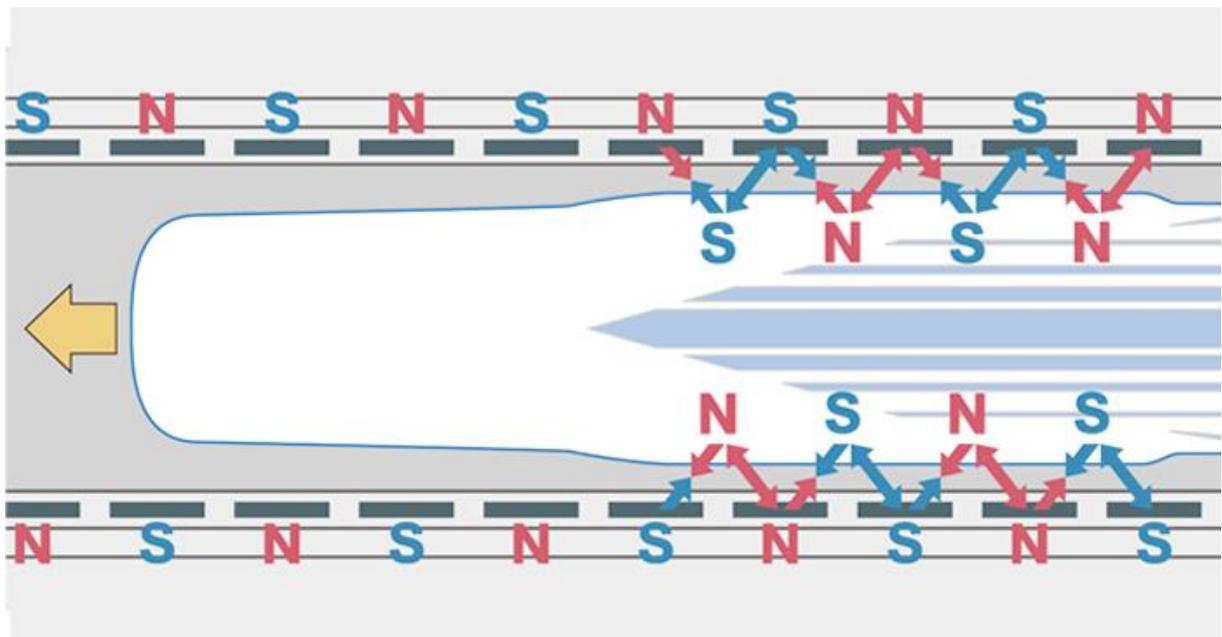
Fonte: Internet

FIGURA 4 - Detalhamento do funcionamento de um Maglev



Fonte: Internet

FIGURA 5 - Detalhamento do funcionamento de um Maglev.



Fonte: Internet

3 CONCLUSÃO

Por conta das vantagens dos materiais supercondutores, existem algumas aplicações, tal como, o armazenamento e transmissão de energia elétrica.

Como apresentado no artigo, a aplicação mais ligada a engenharia, foi a possibilidade de criação dos veículos Maglev, um trem que utiliza o fenômeno da levitação magnética proporcionada pelas bobinas supercondutoras que praticamente faz com que o trem levite e não tenha o atrito com os trilhos.

Porém os materiais supercondutores ainda são difíceis de obter, pois a suas propriedades só são reveladas a temperaturas muito baixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, Luis Gregório. Supercondutores de alta temperatura crítica: 25 anos. **Física, Futebol e Falácias - Um pouco de cada**. Disponível em: <<http://fisicafutebolfalacias.blogspot.com.br/2011/07/supercondutores-de-alta-temperatura.html>>. Acesso entre março e abril de 2017.

LEVITAÇÃO magnética. **Geocities.ws**. Disponível em <<http://geocities.ws/saladefisica7/funciona/levitacao.html>>. Acesso entre março e abril de 2017.

MAGLEV COBRA. **MagLev COBRA**. Disponível em <<http://www.maglevcobra.com.br/index.html>>. Acesso entre março e abril de 2017.

OSTERMANN, Fernanda. **Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio**. Porto Alegre : Instituto de Física-UFRGS, 1998.

PEREIRA, L.A.A.; SOARES, V.; NOBREGA, M.C.S.; NICOLSKY, R. Propriedades elétricas em cerâmicas supercondutoras. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 44., 2000, São Pedro. **Anais...** São Pedro, 2000.

RANGEL, Everton. A supercondutividade. **Prof. Everton Rangel**. Disponível em <<http://profevertonrangel.blogspot.com.br/2012/03/supercondutividade.html>>. Acesso entre março e abril de 2017.

SERWAY, Raymond A. **Física para cientistas e engenheiros, volume 3 : eletricidade e magnetismo**. São Paulo : Cengage Learning, 2011.

STEPHAN, Richard M. Tecnologia de levitação magnética no Brasil. **Ciência Hoje**. Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/revista/materia/id/951/n/tecnologia_de_levitacao_magnetica_no_brasil>. Acesso entre março e abril de 2017.

SUPERCONDUTORS. **Superconductors.org**. Disponível em: <<http://www.superconductors.org/>>. Acesso entre março e abril de 2017.