

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO *PUSH-BUTTON* PARA DEMONSTRAR A LEVITAÇÃO MAGNÉTICA DE UM ÍMÃ

A PUSH-BUTTON DEVICE TO DEMONSTRATE THE MAGNETIC LEVITATION OF A MAGNET

Osmar Henrique Moura da Silva¹ [osmarh@uel.br]

Carlos Eduardo Laburú¹ [laburu@uel.br]

1 Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Física. Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Campus Universitário, Cx Postal 10.011, CEP 86057-970, Londrina-PR.

RESUMO

Museus de Ciência e Tecnologia (MCTs) e similares consolidaram-se como expositores de uma diversidade de aparatos com os quais o público interage movimentando-os, majoritariamente, ou por manuseio de manivelas ou por aperto de botões. Este trabalho divulga a elaboração de um equipamento automatizado que demonstra a levitação magnética de um ímã quando este é posicionado logo acima de uma superfície móvel de metal não ferromagnético. O circuito eletrônico empregado nessa automatização permite o acionamento da demonstração por simples aperto de botão (tipo *push-button*), cuja proposta é fazer com que os próprios visitantes a realizem com segurança e dentro da perspectiva de entretenimento que esses ambientes de educação não formal objetivam.

PALAVRAS-CHAVE: experimento, levitação magnética de ímã, educação não formal, museu de ciência e tecnologia.

ABSTRACT

Museums of Science and Technology (MCTs, in Portuguese) and the like have been consolidated as exhibitors of a variety of devices with which the public may interact by moving them around either by handling cranks or by pressing buttons. This paper reports the development of an automated device that demonstrates the levitation of a magnet when it is positioned just above a mobile non-ferromagnetic metal surface. The electronic circuit used in this automation allows for the demonstration to start by a simple pressing of a button (push-button) and is aimed at making the visitors perform the experiment safely. It is also within the perspective of entertainment intended for these no formal education environments.

KEYWORDS: magnetic levitation device, no formal education, museum of science and technology.

INTRODUÇÃO

A levitação é comumente pensada na observação de um objeto em posição estável no ar sem qualquer contato aparente. Fisicamente, as forças atuantes no objeto contrariam as da gravidade e podem ser de natureza mecânica, por uso de forças pneumáticas ("hovercraft") ou aerodinâmicas (avião); elétrica, em que há forças eletrostáticas (JEON e HIGUCHI, 1998); e magnética. Em relação a essa última, cujo encantador fenômeno é o da levitação magnética, ainda que distintas classificações sistemáticas de técnicas para tal realização possam existir na literatura especializada (BLEULER, 1992; JAYMANT, 1981), basicamente cabe ressaltar as seguintes (AUTORES, 2014): a da *levitação eletromagnética* (EML)¹, situação típica de um eletroímã estabilizando por atração e abaixo dele a posição no ar de um elemento ferromagnético; a da *levitação supercondutora* (SQL), baseada no efeito Meissner, consistindo este na expulsão de campos magnéticos estáticos no interior de supercondutores; e a da *levitação eletrodinâmica* (EDL), em que a força magnética resultante é repulsiva (LANG e AXT, 2003) e proveniente das interações entre correntes e campos magnéticos ao se empregar um condutor não ferromagnético em proximidade de um fluxo magnético variável, indutor de correntes de Foucault nesse condutor (lei de Faraday-Lenz). Como exemplos destacados das aplicações e dos relacionados aperfeiçoamentos dessas técnicas de levitação magnética, estão os meios de transporte terrestre de alta velocidade, populares trens "Maglev" (LEE, 2006), e as turbinas eólicas de última geração (SANTOS, 2011).

Em termos educacionais, diversas demonstrações de levitação magnética podem ser aproveitadas para auxiliarem discussões sobre o tema. Sugestões de montagens experimentais com materiais alternativos e de baixo custo, além daquelas comercializadas, são facilmente encontradas na internet². As mais conhecidas são as de levitação eletromagnética, distinguidas em duas subclasses: tipo ativa (interação atrativa entre eletroímã e material ferromagnético)³ e tipo passiva (interação repulsiva entre ímãs permanentes com um deles suspenso no ar)⁴. Para o caso da levitação supercondutora⁵, a realização de uma básica demonstração necessita de um supercondutor (ROCHA e FRANQUELLI, 2004)⁶ inserido em recipiente de isopor com nitrogênio líquido para levitar um ímã permanente. Já a levitação eletrodinâmica pode ser realizada tanto por uso de ímãs quanto de bobinas. Se uma superfície condutora de material não ferromagnético apresentar movimento relativo com um

¹ É possível deparar-se com a palavra suspensão, no lugar de levitação, nas siglas mencionadas e respeitadas em inglês: EML (*Electromagnetic Levitation*), SQL (*Superconducting Quantum Levitation*), EDL (*Electrodynamics Levitation*).

² Ex.: <<http://www.youtube.com/watch?v=pNJ2EmR6GNo>>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

³ Ex.: 'Globo Flutuante' ou 'Globo Magnético de Levitação' <<http://www.youtube.com/watch?v=QBPvHoM8Inc>>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

⁴ Ex.: 'Levitron'. Originalmente um brinquedo no qual se fazem ajustes da inclinação da base magnética e de pequenas massas acrescentadas no pião para demonstrá-lo girando em posição estática de flutuação sobre a base.

⁵ <<http://www.youtube.com/watch?v=Mz4YWU6ds5g>>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

⁶ Uma técnica de confecção do supercondutor YBa₂Cu₃O₇ com instrumentos específicos é fornecida por esses autores.

ímã permanente próximo a ela, ambos repelir-se-ão⁷. Fato semelhante ocorre quando uma bobina de circulação de corrente alternada (CA) encontra-se próxima à superfície, de área equivalente ou superior à da bobina, de um condutor não ferromagnético espesso⁸. Entre os simples e conhecidos tipos de levitação eletrodinâmica, cabe citar o experimento "Anel de Thompson" (LANG e AXT, 2003), por um comparativo à levitação controlada de chapas metálicas sobre bobinas (BELKELMAN e DZADOVSKY, 2008), que é um exemplar menos comum.

Contudo, quaisquer demonstrações acima comentadas envolvem preparações de arranjos experimentais por aqueles (educadores, estagiários ou estudantes) comprometidos em realizá-las, permanecendo apropriadas a alguém que se habilita em apresentá-las a outrem e, portanto, não se adéquam às condições dos Museus de Ciência e Tecnologia (MCTs) e similares. Isto em razão de, nesses ambientes de educação não formal, os experimentos serem elaborados dentro de uma perspectiva de entretenimento (SILVA et al., 2013: 428; CHELINI e LOPES, 2008: 228 e 235; VALENÇA, 2006: 333; CAZELLI apud CONSTANTIN, 2001: 197) pela qual se almeja possibilitar que os próprios visitantes, independente do nível escolar ou idade, realizem as demonstrações com interação e exploração, de forma livre e espontânea, de um fenômeno ou reflexão sobre o mesmo. Para Pavão e Leitão (2007: 41), além do entretenimento e informação, os experimentos interativos "*representam um progresso ao oferecerem certo envolvimento lúdico do público*", entendimento este exemplificado por Bonatto et al. (2007: 49). E, para que essa maneira "divertida" (PAVÃO e LEITÃO, 2007: 44) de atrelar o conhecimento científico aconteça, os equipamentos interativos necessitam de adaptações que os diferenciam daqueles que se demonstram no ensino escolar tradicional. Além de explicações dos fenômenos pensadas com linguagem acessível à maioria dos experimentadores, textos que induzem o que observar e comandos de acionamento são indispensáveis (SILVA et al., 2014: 81). Dessas adaptações, grande parte das interações com os aparatos nos MCTs tem o interesse despertado, conforme Iszlaji (2012: 90), "*por um simples 'girar manivelas' ou apertar de um botão tipo push-button (apertar um botão para obter uma única resposta)*", em que os desse último tipo ainda são constituídos de uma automatização arquitetada por uma equipe especializada do setor. Curiosamente acerca disto, tem-se avaliado que equipamentos assim preparados superam o papel daqueles experimentos simples e de custo reduzido que são indicados para escolas sem laboratórios (CHINELLI et al., 2008: 4505-4509) e, segundo Pereira et al. (2008: 100), após interação com um agrupamento desses equipamentos em atividades museais, é perceptível um maior envolvimento dos visitantes em saber mais sobre algum tema exposto.

Na intenção de contribuir com aqueles comprometidos com os ambientes planejados para a educação não formal (NRC, 2009: 48), o presente trabalho divulga a elaboração de um equipamento automatizado que demonstra a levitação magnética de um ímã posicionado logo acima de uma superfície condutora não ferromagnética em movimento. Mais especificamente, essa montagem inovadora emprega um

⁷ <http://www.youtube.com/watch?v=rkxUL-_lqyI>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

⁸ <<http://www.youtube.com/watch?v=PXmrJvEi7Fs&NR=1&feature=endscreen>>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO PUSH-BUTTON...

circuito eletrônico que automatiza a demonstração por simples apertado de botão (*push-button*), cuja proposta faz com que os próprios visitantes a realizem dentro da perspectiva de entretenimento em atendimento às seguintes preocupações: todo experimentador, individualmente, deve obter êxito na demonstração; o equipamento precisa estar protegido contra danos previsivelmente ocasionados por “curiosidades” indesejadas em razão de ele poder ser livremente manuseado pelo público no dia-a-dia⁹; os visitantes devem estar seguros ao manipularem o equipamento, impossibilitando acidentes como por choques elétricos, perante inoportuna falha elétrica ou eletrônica, ou por contato físico com a “lâmina” metálica não ferromagnética em alta rotação.

A ELABORAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

A metodologia de construção e os materiais utilizados são tratados nesta seção. Devido à variedade de itens e das peculiaridades procedimentais, pretende-se melhor orientar essa elaboração por meio de três subseções assim designadas: O arranjo experimental da interação ímã versus superfície condutora não ferromagnética móvel; O circuito de controle automático; A montagem final. Ainda nessa última subseção, apresenta-se a elaboração de uma sintética explicação qualitativa do fenômeno que pode servir de guia à preparação de um texto modelo, a ser atrelado no equipamento, com linguagem inteligível a um público visitante mais geral.

O ARRANJO EXPERIMENTAL DA INTERAÇÃO ÍMÃ VERSUS SUPERFÍCIE CONDUTORA NÃO FERROMAGNÉTICA MÓVEL

Segundo o teorema de Earnshaw (1842), é impossível realizar uma levitação elétrica ou magnética de forma estável limitando-se apenas a cargas elétricas ou ímãs permanentes. No caso de ímãs permanentes, para manter um deles suspenso em equilíbrio, o uso de um encosto lateral ou central, ou efeito giroscópio, ou dispositivo eletrônico (COELHO, 2012), entre os variados recursos, torna-se necessário. Assim sendo, nessa particular montagem, apresenta-se uma estrutura de sustentação do ímã que o permita sensivelmente mover-se para cima por ação da força magnética gerada, fazendo uso dos seguintes materiais: 1 ímã pequeno de neodímio (encontrado em HD de computador); 2 rolamentos de aço de diâmetro interno próximo de 5 mm cada; 1 eixo de ferro de 5 cm de comprimento e 5mm de diâmetro; 1 cilindro maciço de ferro de cerca de 70 g; 10 cm de arame de ferro de 1,5 mm de diâmetro (pode-se usar arame de clips); ripa de madeira maciça de (2x1x50) cm; 1 haste de ferro de 15 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro.

A figura 1 auxilia essa montagem. Com a ripa de madeira, 3 peças são prontadas: uma de 20 cm de comprimento, outra de 15 cm de comprimento, e, com

⁹ Como se verá, peças internas apresentam sensibilidade ao toque indevido: se remexido, o contrapeso desajustado interfere negativamente na levitação do ímã; manuseios forçados nas laterais do disco metálico podem desalinhar sua superfície com a do ímã, etc.

os restantes 15 cm da ripa, monta-se uma peça em formato de U. A ripa de 20 cm constitui a haste móvel (Figura 1B) que tem fixos (com cola líquida instantânea) o ímã, numa de suas extremidades, e o eixo de 5 cm, centralizado transversalmente na outra extremidade. Esse eixo é adaptado nos rolamentos então posicionados num alinhamento em dois determinados orifícios da peça de formato U. Logo abaixo da haste móvel, a ripa de 15 cm constitui uma haste de apoio (Figura 1B) que limita a descida do ímã. Em localização oposta à do ímã, o cilindro de ferro de 70 g constitui um contrapeso de posição ajustada que permita a haste móvel ainda permanecer em repouso na horizontal, mas com sensibilidade para que o ímã seja suspenso quando a força magnética repulsiva atuar sobre ele. A haste de ferro de 15 cm de comprimento é fixada na parte inferior central da peça de formato U para sustentar a estrutura.

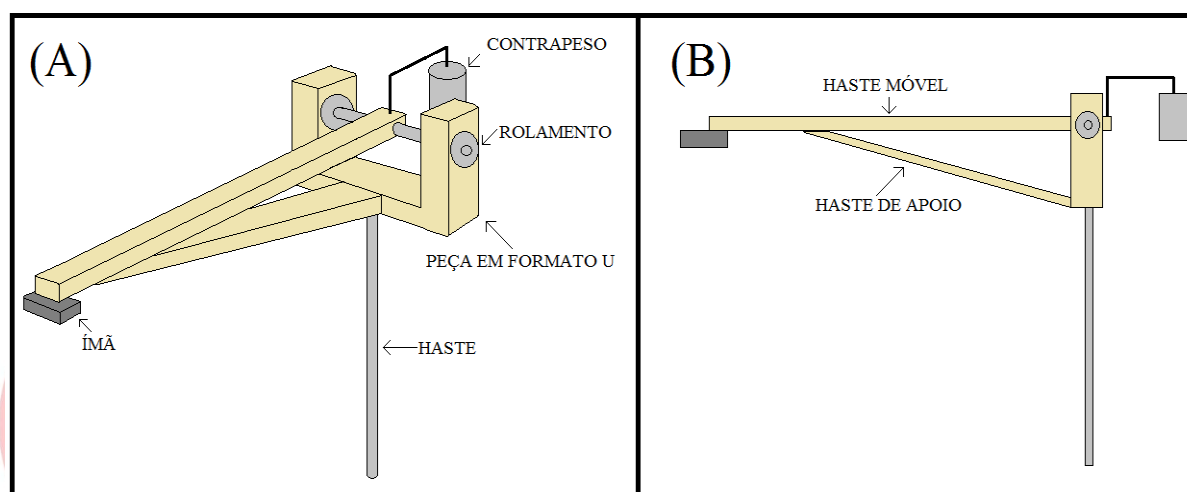


Figura 1 – Duas diferentes imagens da estrutura de sustentação do ímã.

Relativa à superfície condutora não ferromagnética móvel, a montagem é basicamente composta por 1 disco de alumínio (20 cm de diâmetro e 3 mm de espessura) e 1 motor elétrico (de 100 W, comumente usado em máquina de costura residencial). Esse disco é adaptado no eixo do motor para ser girado no plano horizontal, conforme se vê na figura 2. Uma caixa pequena de acrílico (ou madeira) pode servir para acomodar o motor e é parafusada numa estrutura maior de acrílico, também comentada na seção da montagem final. As adequações dessa caixa de acrílico e da estrutura de sustentação do ímã devem ser de modo que o ímã, da haste móvel em repouso na posição horizontal, esteja localizado próximo da borda do disco e cerca de 1 mm acima de sua superfície quando imóvel.

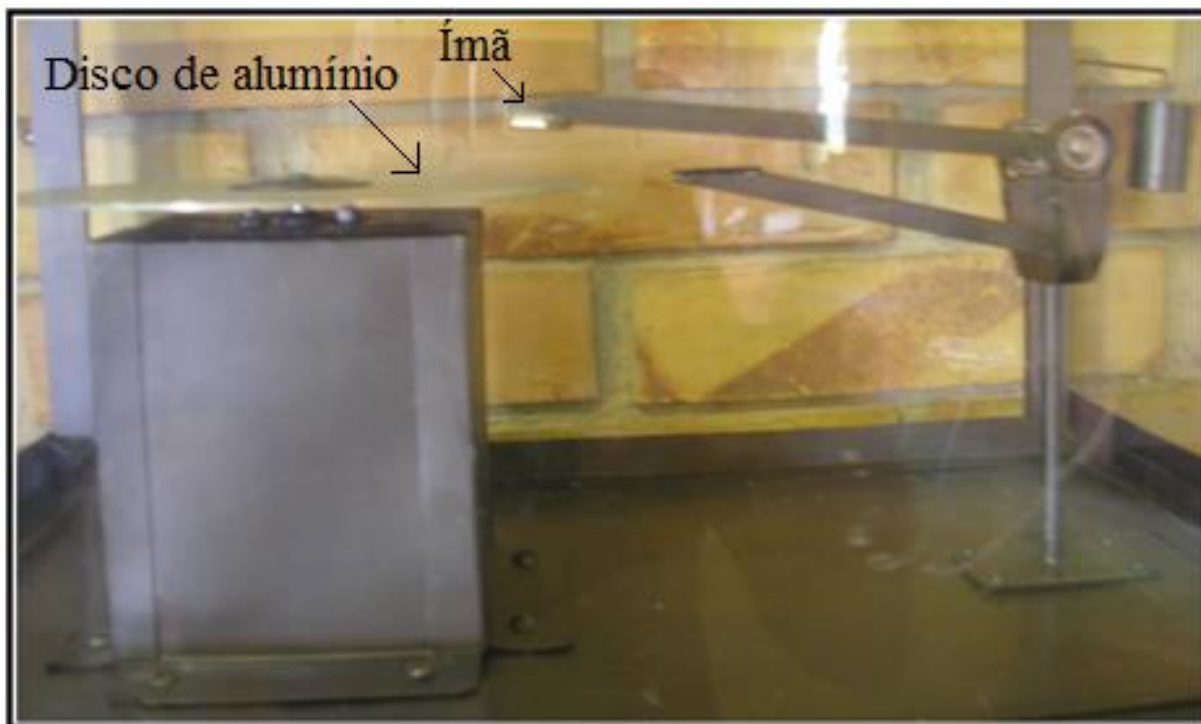


Figura 2 – O arranjo experimental da superfície de alumínio em movimento com suspensão magnética do ímã

O CIRCUITO DE CONTROLE AUTOMÁTICO

O acionamento da demonstração é feito por apertar de botão em que um dispositivo eletrônico controla o funcionamento com tempo programado. Os componentes para a montagem do dispositivo são: 1 placa para circuito impresso de 7x12 cm; 2 diodos IN4007; 1 transformador de 127 V para 12 V (de 1 ou 0,5 A); 1 capacitor de 4,7 μF (16 V); 1 capacitor de 1000 μF (16 V); 1 capacitor de 10 μF (16 V); 1 botão *push-button* (tipo NA); 1 chave liga-desliga; 1 resistor de 22K Ω ; 1 resistor de 1M Ω ; 1 transistor BC548; 1 relé de 12V; 1 resistor de 1K Ω ; 1 fio duplo com macho para ligação na tomada; 1 CI 555¹⁰.

A figura 3 apresenta um diagrama esquemático para ser desenhado, na placa para circuito impresso, com caneta especial para isso. Deve-se efetuar os devidos furos na placa para posterior encaixe dos componentes, mergulhando, então, a placa em solução de perclorato de ferro para remoção do cobre da superfície que não ficou marcada. Depois, deve-se remover a tinta da caneta das trilhas desenhadas dessa superfície, lixando-as com lã de aço. Depois, deve-se acomodar e soldar os componentes nos furos das trilhas, concluindo a montagem. Aliás, pode-se substituir

¹⁰ Circuito integrado composto por 23 transistores, 2 diodos e 16 resistores, num chip de silício em um encapsulamento duplo em linha de 8 pinos, cuja versatilidade é tal que pode ser usado em uma variedade de aplicações como temporizador (situação que aqui é empregado) ou multivibrador.

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO PUSH-BUTTON...

esse método mais tradicional já partindo de uma placa perfurada (pré-furada) de 160x100 mm, onde se encaixam os componentes citados, realizando as ligações com fios tipo cabinho e solda estanho.

Ao interligar esse dispositivo com o motor elétrico na rede elétrica especificada, ativa-se a demonstração quando o botão *push-button* for pressionado, em que o tempo para o desligamento automático (seguindo os valores indicados dos componentes no diagrama esquemático da figura 3) é próximo de 5 segundos. Esse tempo pode ser alterado substituindo o capacitor de 20 μF , que pode até mesmo ser trocado por um capacitor variável com estimativa do valor da escala relacionada ao tempo de funcionamento interessado (nessa finalidade, pode-se também manter o capacitor de 20 μF e trocar o resistor de 1 $\text{M}\Omega$ por um resistor variável (trimpot)). Como opção, uma chave liga-desliga pode servir para estabelecer o equipamento permanentemente conectado na tomada¹¹.

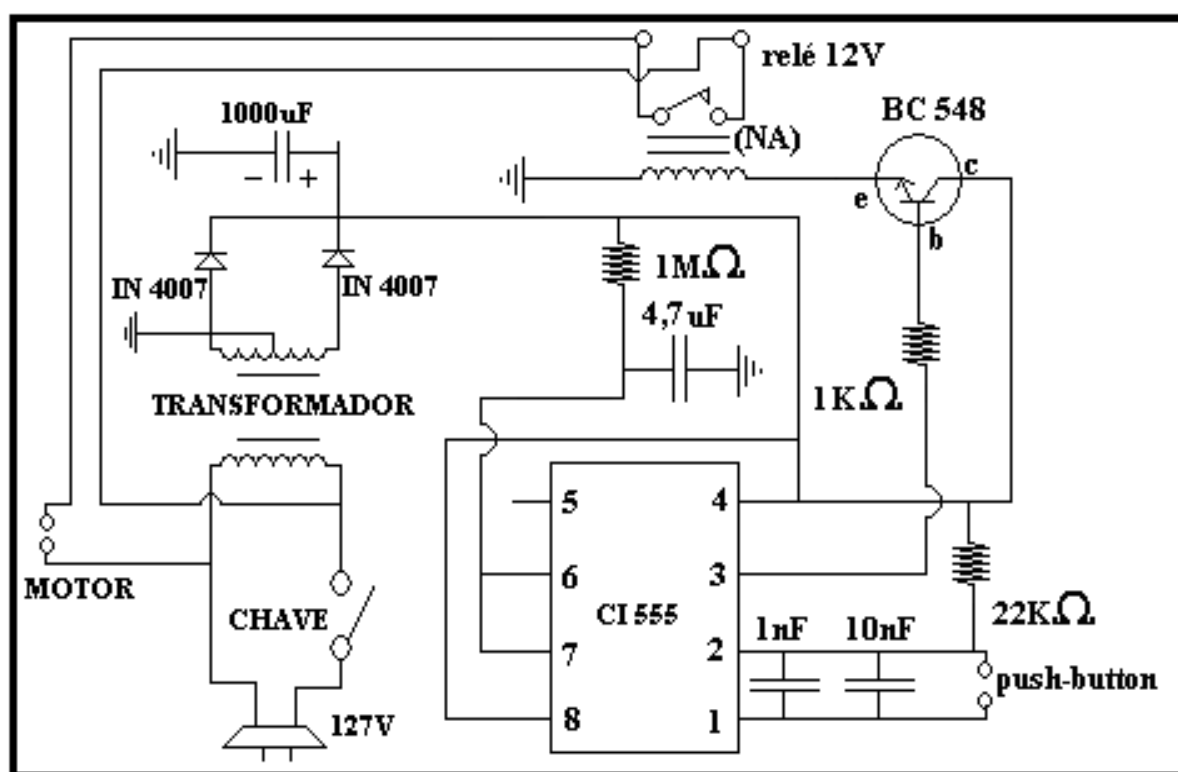


Figura 3 – Diagrama esquemático do circuito de controle automático.

Desenvolvimento alcançado por ideias em *Saber Eletrônica*

<<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1595>>. Acesso em: 10/10/2014

¹¹ Este dispositivo eletrônico está elaborado para ficar continuamente conectado na tomada sem a chave liga-desliga, mas é sensato, para aumentar a sua durabilidade (como para todo equipamento eletrônico), desligá-lo ao final de cada expediente ou no final do dia.

A MONTAGEM FINAL

Nesta etapa final, sugere-se aprontar uma caixa de acrílico transparente, chapa 10 mm, de 40x40x40 cm, com uma divisória centralizada na horizontal. Na região abaixo dessa divisória, faz-se uma pintura na caixa com alguma tinta spray para, ali dentro, se acomodar o circuito de controle automático que fica escondido na montagem, deixando exposto o botão *push-button* para ser pressionado, na parte frontal da caixa, como também a fiação para ligação do equipamento em tomada. Sobre essa divisória, encontram-se fixadas a pequena caixa de acrílico do motor e a estrutura de sustentação do ímã, conforme disposições mencionadas em seção anterior. O equipamento pode ser experimentado deixando-o sobre uma bancada, ou um suporte de ferro, tipo cantoneira, confeccionado para fixá-lo em determinada parede. Exemplifica-se essa última opção na figura 4, em que o equipamento mostra-se pronto para livre experimentação na área de exposição pública do MCT da instituição onde se encontram os autores.



Figura 4 – Equipamento de levitação magnética de ímã

Completada a montagem, a atenção refere-se à orientação de funcionamento com textos explicativos dos fenômenos. Pela automação empregada, é importante que se destaque a frase “PRESSIONE O BOTÃO” ao lado deste, assim como uma indagação do tipo “DE ONDE VEM A FORÇA QUE EMPURRA O ÍMÃ PARA CIMA QUANDO O DISCO DE ALUMÍNIO COMEÇA A GIRAR?”¹². Orientações como essas auxiliam o início de uma interação com a demonstração e, na possibilidade de decorrentes momentos

¹² Obviamente que já se pensou numa identificação para o equipamento (Ex.: “LEVITAÇÃO MAGNÉTICA”).

de espontâneas curiosidades sobre o fenômeno, torna-se válida a exposição de um texto que direcione ainda mais o que observar, com resumida explicação do fenômeno, em curtas frases de linguagem inteligível ao público visitante, majoritariamente formado por estudantes do ensino básico e leigos em geral. Conforme Gaspar (1993: 148): “os visitantes, na sua maioria, leem os textos apresentados pelo menos até que tenham uma ideia do objetivo ou proposta da demonstração”. Todavia, detalhes nesse sentido podem ser avaliados e aprimorados por uma equipe pedagógica local. A figura 4 mostra que foram anexados dois adesivos, no equipamento, com determinados comentários. Isto exemplifica uma forma de disponibilizar um breve texto para reflexão. Àqueles interessados em elaborar uma leitura desse tipo, mantendo o espírito da proposta, realiza-se, na sequência, uma explicação qualitativa do princípio físico envolvido na demonstração, que pode ser proveitosa.

Essa levitação pode ser mais bem classificada como sendo um tipo de levitação eletrodinâmica. No caso, o deslocamento da superfície condutora não ferromagnética (se o material do disco fosse ferromagnético, o efeito observado seria diferente e de atração), sob o campo magnético do ímã, faz com que esse campo se comporte como variável para a região dessa superfície em movimento e, por isso, tem-se a indução de correntes de Foucault no local. Os sentidos das correntes induzidas na superfície do disco, sendo elas em maioria nas vizinhanças do campo magnético do ímã, podem ser definidos pela lei de Lenz, sofrendo essas correntes induzidas ações de forças magnéticas ($F = I \times B$). Por sua vez, o ímã sofre uma reação dessas forças (3ª lei de Newton). Em verdade, o sentido da força magnética resultante relativa ao ímã é numa diagonal entre uma força magnética de arraste e outra repulsiva. Para auxiliar o esclarecimento da origem dessas forças, apresentam-se, na figura 5, as polarizações do ímã utilizado assim como uma idealização das linhas de força em configuração bidimensional.

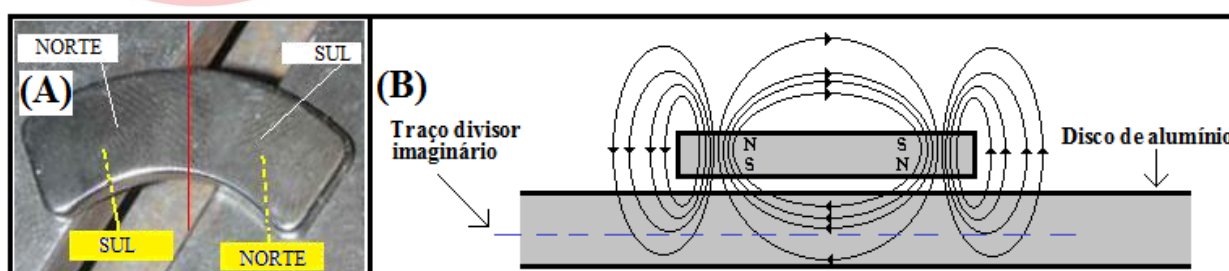


Figura 5 – (A) Ímã de neodímio. (B) Ilustração das linhas de força do campo magnético

Na figura 5 (A), as indicações em branco referem-se às polarizações existentes no lado superior do ímã de neodímio e as em amarelo às do lado oposto. Idealizam-se na figura 5(B) as linhas de força do campo magnético (um mapeamento das linhas de força fora realizado por meio de limalhas de ferro) desse ímã posicionado pouco acima da superfície do disco sem movimento. Configuração essa que equivale para um observador com vista frontal, paralela ao disco e próximo de sua borda.

Propositadamente, há na figura 5 (B) um traço imaginário que divide a chapa do disco, ao meio, na transversal, para análise das distribuições das linhas de força ali

existentes, permitindo-se notar uma concentração maior dessas linhas na região acima do traço que naquela abaixo dele. Segundo a lei de Lenz, quando o disco começar a girar, haverá uma variação do campo magnético, na região interna da chapa, onde são geradas correntes de Foucault com sentidos que se opõem à tal variação, conforme se indica na figura 6.

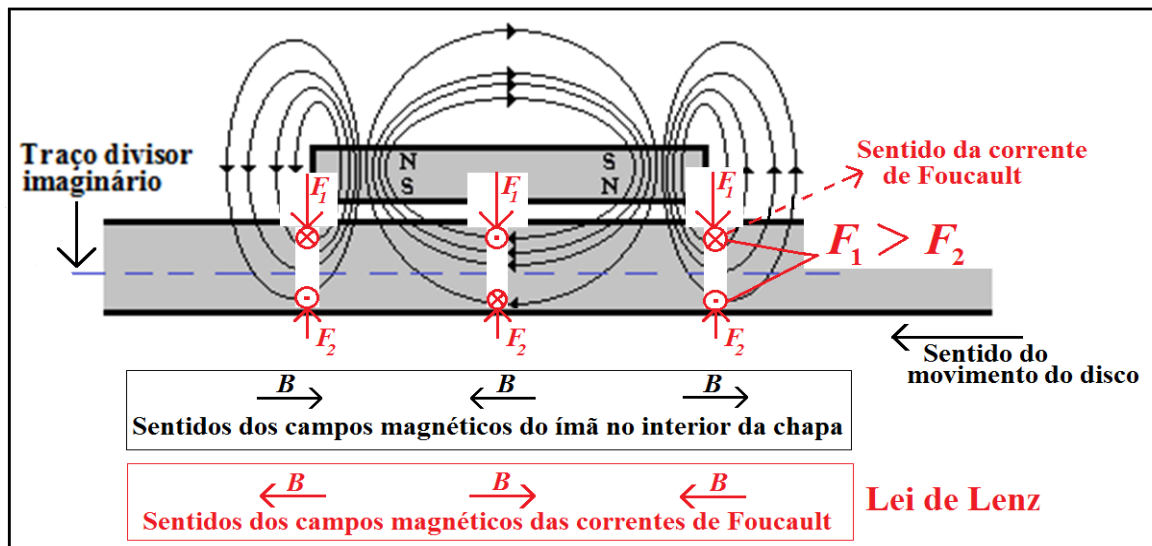


Figura 6 – Idealização dos sentidos de correntes de Foucault e de respectivas forças magnéticas atuantes

Pela regra da mão esquerda (SEARS e ZEMANSKY, 2004), as correntes de Foucault, representadas na figura 6, sofrem a ação de forças magnéticas de modo que as componentes F_1 são maiores que as F_2 em razão de as primeiras manifestarem-se onde o campo B (do ímã) é maior (situação análoga expressa por GERTHSEN et al., 1998: 356). Isto resulta numa força magnética preponderantemente repulsiva entre ímã e chapa¹³.

No caso da força magnética de arraste, a explicação de sua origem se dá por uma análise dos sentidos das correntes de Foucault que ocorrem na superfície do disco em movimento (SEARS e ZEMANSKY, 2004). Por coerência com as linhas de força representadas na figura 5 (B), na figura 7 (A), há uma idealização das regiões da superfície do disco (imóvel) com campos magnéticos do ímã perpendiculares e com identificações de seus sentidos, ora entrando, ora saindo, por adoção das convenções da Física para um observador com vista também perpendicular ao disco e acima do ímã. Na figura 7 (B), há uma idealização do comportamento das correntes de Foucault na superfície do disco em movimento, mediante a força eletromotriz induzida em oposição à taxa de variação do fluxo magnético (lei de Lenz).

¹³ A explicação baseou-se na interação entre corrente de Foucault e campo magnético do ímã, resultando em forças magnéticas atuantes nos portadores de carga da chapa (disco de alumínio). Semelhantemente, pode-se admitir uma interação das correntes de Ampère do ímã com os campos magnéticos das correntes de Foucault e resultar em forças magnéticas atuantes no ímã de sentido preponderante para cima.

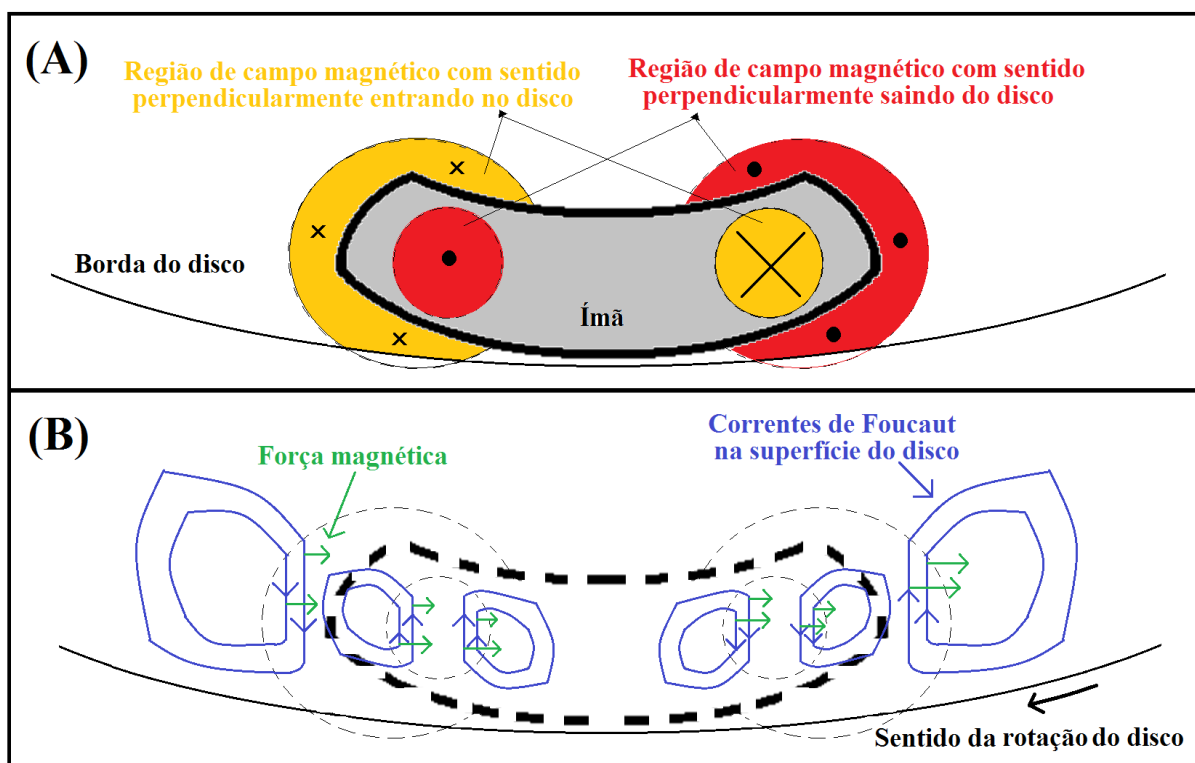


Figura 7 – (A) Regiões de campos magnéticos perpendiculares à superfície do disco. (B) Idealização das correntes de Foucault na superfície do disco em movimento (lei de Lenz) com forças magnéticas atuantes ($F = I \times B$)

Pode-se notar, na figura 7 (B), que a aplicação da expressão $F = I \times B$, seguindo a regra da mão esquerda, resulta em forças magnéticas com sentido contrário ao do giro do disco e que atuam nas correntes de Foucault. Ocorrência esta para quaisquer correntes de Foucault superficiais que ali surgirem, lembrando que as "correntes induzidas (de Foucault) de retorno voltam-se para fora do campo, portanto elas não sofrem a ação de forças magnéticas" (ibid.: 287). Por analogia com a nota de rodapé n. 13, conclui-se uma força magnética de arraste que reage, no ímã, no sentido da rotação do disco, devido à ação que tende a frear o disco¹⁴. Todavia, é observada uma suspensão do ímã na vertical em razão de a estrutura elaborada que o sustenta propositalmente assim restringir o movimento. No caso, se a haste móvel pudesse movimentar-se livremente em várias direções, ao acionar a rotação do disco, ela seria inicialmente suspensa numa diagonal que tiraria o ímã da borda do disco, caindo em seguida para fora dele e impedindo uma nova demonstração. Ademais, a explicação do fenômeno aqui apresentada contribui para corrigir e completar o que, nesse sentido, afirmam Paula e Vianna (2007: 39).

Por fim, especificamente ao equipamento da figura 4, o resumido texto explicativo que a ele pensou-se anexar dizia: *O deslocamento da superfície do disco sob o campo magnético do ímã faz com que esse campo se comporte como variável para a*

¹⁴ Normalmente, a explicação que se apresentou é encontrada nos livros de física para o fenômeno de frenagem do disco em que se estabelece um ímã fixo. Se o ímã puder movimentar-se, será arrastado no sentido da rotação do disco.

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO PUSH-BUTTON...

região dessa superfície em movimento e que, por isso, há indução de correntes de Foucault no local. Os sentidos dessas correntes induzidas na superfície do disco, estando boa parte delas nas vizinhanças do campo magnético do ímã, podem ser definidos pela lei de Lenz, sofrendo essas correntes ações de forças magnéticas que originam a suspensão do ímã.

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

MCTs (e similares) têm-se expandido no Brasil (DENTILLO, 2013). Embora a Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência (ABCMC) esteja elaborando um registro mais atualizado de quantos deles existem no país, para além do levantamento inicial de 2005 a 2009 que indicou um crescimento próximo de 73%, em que uma estimativa foi de 190 desses ambientes, a quantidade é considerada relativamente pequena para o atendimento de mais de cinco mil municípios (ibid.). Aliás, essa totalidade estimada representa uma amostra heterogênea na medida em que sobressaem aqueles de grande porte somados com os demais que, comparativamente, se encontram ainda em fase inicial de elaboração e ampliação de suas atividades interativas. Por mais de duas décadas como principais instrumentos das políticas de promoção da cultura científica (DELICADO, 2006: 56), em geral, esses ambientes permanecem com acervos de experimentos interativos, sendo muitos destes identificados como *“um aparelho que incorpora princípios físicos e/ou tecnológicos fundamentais, em que os visitantes são encorajados a ‘brincar’ com este aparelho num mínimo de orientação textual ou mediadora possível”* (DURANT, 1992: 8). Análises educacionais à parte, fato é que a interatividade objetivada abrange diferentes tipos e graus: alguma ocorre *“com um simples apertado de botão”* (tipo *push-button*); noutra se abre um compartimento para notar uma informação escondida; outras constituem jogos de perguntas e respostas ou quebra-cabeças. Enquanto diferentes filosofias podem ser discutidas nesses espaços educativos não formais, uma típica concepção cabe ser exemplificada na preparação de um pequeno museu de ciência no Brasil: pela argumentação de um dos professores do projeto, Nelson Canzian da Silva, se reconhece que *“as pessoas não vão ao museu para aprender sobre física ou outra ciência”*¹⁵ (SILVA, 2008). Segundo ele:

É preciso dar ao visitante a liberdade de ser guiado por sua curiosidade e, se ele quiser dirigir perguntas aos monitores, proceda dessa forma. Ou simplesmente experimenta e interage com aquilo que chama mais sua atenção, fica sensibilizado com os equipamentos e acaba tomando contato com um novo vocabulário. (ibid.)

Todavia, grande parte das aquisições dos “brinquedos” educacionais costuma ocorrer por meio de fabricantes específicos que os comercializam a um custo considerável, ou mesmo de “apreciados” MCTs que possuem uma equipe técnica

¹⁵ Em defesa desse posicionamento, pode-se destacar a fala do diretor da ABCMC, Antônio Carlos Pavão: *“os centros e museus de ciência não são espaços para aprender ciência, mas sim para estimular o interesse dos estudantes. À escola cabe o papel de organizar esse conhecimento.”* (AGÊNCIA CIÊNCIA WEB, 2009).

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO PUSH-BUTTON...

habilitada em fabricá-los. Esse caso é lembrado por um dos autores do presente trabalho quando participou de um evento nacional realizado no MCT da PUC/RS, relacionado ao design e construção de equipamentos interativos.

Este trabalho apresentou um inovador equipamento interativo que demonstra uma particular levitação magnética de um ímã que pode interessar àqueles profissionais atuantes em pequenos e médios museus e centros de ciência, estando em fase inicial de elaboração ou não, e que seguem a meta de continuamente aprimorarem e ampliarem seus acervos de equipamentos interativos numa perspectiva de entretenimento e simulações.

Referente ao texto explicativo do equipamento, aquele que se mostrou aqui ter sido anexado constitui um exemplo dentro da proposta e que até pode ser aprimorado; obviamente com uma linguagem apropriada para o público almejado. E mesmo que um aperfeiçoamento numa elaboração desse tipo esteja sempre limitado e seja alvo de melhorias, é significativo dizer que a proposta educacional de inserir um texto explicativo no equipamento mantém-se conservada. Aliás, de acordo com Silva et al. (2013, p. 436), dentro da perspectiva lúdica de interação com o experimento, espera-se possibilitar que os fenômenos observados sejam posteriormente bem resgatados, da memória de um estudante, em situações de sala de aula, onde o assunto venha a ser abordado, permitindo que o educador possa então usufruir de tais lembranças em melhoria do aprendizado dos conceitos físicos relacionados no decorrer das discussões.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA CIÊNCIA WEB (Agência Multimídia de Difusão Científica e Educacional – IEA/USP). Museus de Ciência: o conhecimento de forma divertida, 2009. Disponível em: <<http://agenciacienciaweb.wordpress.com/2009/02/06/museus-de-ciencia-o-conhecimento-de-uma-forma-divertida/>>. Acesso em: 25 de maio de 2013.

BERKELMAN, P.; DZADOVSKY, M. Single Magnet Levitation by Repulsion using a Planar Coil Array. **17th IEEE (International Conference on Control Applications)**. Part of 2008 IEEE Mult-conference Systems and Control. 108-113, sep. 3-5, San Antonio, Texas, 2008.

BLEULER, H. A Survey of Magnetic Levitation and Magnetic Types. **JSME International Journal**. Series III, v. 35, n. 3, p. 335-342, 1992.

BONATO, M. P. O.; SEIBEL, M. I.; MENDES, I. A. Ação mediada em museus de ciências: o caso do Museu da Vida. In: MASSARANI, L; MERZAGORA, M.; RODARI, P. (Orgs.). **Diálogos & Ciência: mediação em museus e centros de Ciência**. Rio de Janeiro: Museu da Vida/ Casa de Oswaldo Cruz/ Fiocruz, 2007.

CHELINI, M. E.; LOPES, S. G. B. C. Exposições em museus de ciências: reflexões e critérios para análise. **Anais do Museu Paulista**, v. 16, n. 2, p: 205-238, jul-dez, São Paulo, 2008.

COELHO, M. A. E. Kit para levitação magnética com ímãs permanentes. **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática**, p. 2065-2071, CBA. 2 a 6 de setembro, Campina Grande, 2012.

CONSTANTIN, A. C. C. Museus interativos de ciências: espaços complementares de educação? **Interciencia**, v. 26, n. 5, p. 195-200, maio, 2001.

DELICADO, A. Os museus e a promoção da cultura. **Sociologia, Problemas e Práticas**, n. 51, pp. 53-72, 2006.

DENTILLO, D. B. Centros e Museus crescem mas investimento ainda é insuficiente. **Ciência & Cultura**. V. 65, n. 2, p. 12-13, abril/junho, 2013. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252013000200005&script=sci_arttext>. Acesso em: 11 de junho de 2013.

DURANT, J. **Museums and the Public Understanding of Science**. Published by NMSI Trading Ltd, Science Museum, London, 1992. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=uGX80zPOWckC&oi=fnd&pg=PA6&dq=DURANT,+J.+\(1992\).-+Museums+and+the+Public+Understanding+of+Science&ots=XJnV9DMeXr&sig=GBCE4WcdXD3LffDdwaqb9i469GM#v=onepage&q=DURANT%2C%20J.%20\(1992\).-%20Museums%20and%20the%20Public%20Understanding%20of%20Science&f=false](http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=uGX80zPOWckC&oi=fnd&pg=PA6&dq=DURANT,+J.+(1992).-+Museums+and+the+Public+Understanding+of+Science&ots=XJnV9DMeXr&sig=GBCE4WcdXD3LffDdwaqb9i469GM#v=onepage&q=DURANT%2C%20J.%20(1992).-%20Museums%20and%20the%20Public%20Understanding%20of%20Science&f=false)>. Acesso em: 28 de agosto de 2013.

EARNSHAW, S. "On the Nature of the Molecular Forces which Regulate the Constitution of the Luminiferous Ether". **Trans. Camb. Phil. Soc.** 7: 97-112, 1842.

GASPAR, A. **Museus e Centros de Ciências**: Conceituação e Proposta de um Referencial Teórico. Tese (Doutorado, na área de Didática). Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

GERTHSEN, C.; KNESER; VOGEL, H. **Física**. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1998).

GLOBO magnético de levitação. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=QBPvHoM8Inc>>. Acesso em: 25 de abril de 2013.

ISZLAJI, C. **A criança nos Museus de Ciências**: análise da exposição mundo da criança do museu de ciência e tecnologia da PUCRS. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de

UM EQUIPAMENTO COM AUTOMATIZAÇÃO TIPO PUSH-BUTTON...

Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências. São Paulo, 2012.

JAYAMANT, B. V. Electromagnetic suspension and levitation. **Rep. Prog. Phys.**, v. 44, p. 411-472, (1981). Printed in Great Britain. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0034-4885/44/4/002>>. Acesso em: 23 de abril de 2013.

JEON, J. U.; HIGUCHI, T. Induction Motors with Electrostatic Suspension. **Journal of Electrostatics**, v. 45, p. 157-173, 1998.

LANG, F. S.; AXT, R. Explicação qualitativa do "anel de Thomson". Como ocorre a "levitação magnética"? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 81-85, 2003.

LEE, H.; KIM, K.; LEE, J. Review of Maglev Train Technologies. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 42, n. 7, p. 1917-1925, july, 2006.

LEVITAÇÃO magnética. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=Mz4YWU6ds5g>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.

LEVITAÇÃO magnética – Disco rígido. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=rkxUL-lqyI>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.

LEVITACIÓN de uma bobina sobre una placa de aluminio (coil levitation over an aluminium plate). Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=PXmrJvEi7Fs&NR=1&feature=endscreen>>. Acesso em: 27 de maio de 2013.

LEVITRON caseiro. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=pNJ2EmR6GNo>>. Acesso em: 25 de abril de 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Learning Science in informal environments: people, places, and pursuits.** Committee on learning science in informal environments. Philip BELL, Bruce LEWENSTEIN, Andrew W. SHOUSE, and Michael A. FEDER (Eds.). Board on Science Education, Center for Education. Division of behavioral and social sciences and education. Washington, DC.: The National Academies Press, 2009.

PAULA, A. G.; VIANNA, D. M. Levitação eletrodinâmica: o ensino de física baseado no enfoque CTS na discussão para melhoria da qualidade do nosso ar. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 35-39, 2007.

PAVÃO, A. C.; LEITÃO, A. Hands-on? Minds-on? Herts-on? Social-on? Explainers-on! In: MASSARANI, L; MERZAGORA, M.; RODARI, P. (Orgs.). **Diálogos & Ciência:**

mediação em museus e centros de Ciência. Rio de Janeiro: Museu da Vida/ Casa de Oswaldo Cruz/ Fiocruz, 2007.

PEREIRA, G. R.; CHINELLI, M. V.; COUTINHO-SILVA, R. C. Inserção dos centros e museus de ciências na educação: estudo de caso do impacto de uma atividade museal itinerante. **Ciência & Cognição**, v. 13, n. 3, p. 100-199, 2008.

ROCHA, F. S.; FRAQUELLI, H. A. Roteiro para a experiência de levitação de um ímã repelido por um supercondutor no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 26, n. 1, p. 11-18, 2004.

SABER ELETRÔNICA: o seu portal para o universo da eletrônica – on-line. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1595>>. Acesso em: 13 de março de 2014.

SANTOS, A. M. M. **Controlo por computador de um sistema de levitação magnética**. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Área de Especialização, Automação e Sistemas do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto – Portugal, 2011.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Física III: eletromagnetismo** (Young & Freedman). 10 ed. Addison Wesley: São Paulo, 2004.

SILVA, N. C. **UFSC inicia montagem de pequeno Museu de Ciência**. Notícias da UFSC. 2008. Disponível em: <<http://noticias.ufsc.br/2008/06/ufsc-inicia-montagem-de-pequeno-museu-de-ciencia/>>. Acesso em: 12 de junho de 2013.

SILVA, O. H. M.; ALMEIDA, A. R.; ZAPPAROLI, F. V. D.; ARRUDA, S. M. Convergência e divergência de raios de luz por lentes e espelhos: um equipamento para ambientes planejados de educação informal. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, .v. 30 (2), p. 427-439, ago, 2013.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; BATISTA, I. L. Um equipamento demonstrativo de levitação magnética de uma bobina com automatização adaptada aos Museus de Ciência e Tecnologia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31 (1), p. 78-97, 2014.

VALENÇA, V. L. C. A criação do Museu das Crianças de Santa Catarina: uma experiência em andamento. **Perspectiva**, v. 24, n. 1, p. 319-338, jan/jun, 2006.