

# ESTUDO DE UM MODELO DE LEVITADOR ELETROMAGNÉTICO E SUAS APLICAÇÕES NO ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO MONTEIRO ROCHA<sup>1</sup> & MOZAR DÊNIO DA COSTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica, [brunomonteirorochafox@gmail.com](mailto:brunomonteirorochafox@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor do Curso de Engenharia Elétrica, [mozardenio@gmail.com](mailto:mozardenio@gmail.com)

---

*Caderno Saberes, n. 6, 2020*

**RESUMO** - A grade curricular dos cursos de engenharia tem sido objeto de grande discussão nos últimos tempos. A necessidade de uma formação atualizada e que reflita as necessidades do mercado, tem motivado mudanças estratégicas na prática docente e na relação ensino-aprendizagem. Neste contexto, a inserção de práticas experimentais, bem como a inclusão de projetos nos conteúdos disciplinares, constitui uma importante ferramenta propiciando a utilização de metodologias ativas e aplicação prática dos conteúdos. O presente trabalho teve como objetivo o estudo da aplicação interdisciplinar de um protótipo de Levitador Eletromagnético, durante a sua construção, aplicado às disciplinas dos cursos de engenharias. Para isso, adotou-se como preceito a necessidade de utilização de materiais de baixo custo, acessíveis e compatíveis com tecnologias aplicáveis nas diferentes disciplinas. Pode-se evidenciar que o processo de projeto e construção do levitador, está para além dos conteúdos das disciplinas, nas quais, tal protótipo é comumente empregado. Além disso, a possibilidade de interação tanto de pares do mesmo período em formação quanto dos demais, pode ser utilizada como estratégia de elaboração de equipes com diferentes níveis e tipos de formação.

**Palavras-chave:** Ensino em Engenharia. Levitador eletromagnético. PID. Projetos multidisciplinares.

## INTRODUÇÃO

O ensino de eletromagnetismo é um grande desafio para os professores em todos os níveis de educação. Desde o primeiro contato dos estudantes com o assunto, diversos conceitos inicialmente abstratos, são introduzidos sem que se haja necessariamente, um embasamento sólido para o entendimento. As dificuldades no aprendizado ainda são reforçadas à medida que ferramentas matemáticas e conceitos provenientes de outras ciências, são agregados e necessários para o entendimento de aplicações de eletricidade e/ou magnetismo.

Diversos autores identificaram na prática de experimentos um aumento na eficácia e rendimento dos estudantes (BITENCOURT e QUARESMA, 2008; CHAIB E ASSIS, 2006; KOHORI, 2015; MALANOS, 2011). Além disso, Erthal e Gaspar (2005) defendem que a prática de experimentos, mostra ser possível tornar mais simples, eficaz e agradável o processo de ensino aprendizagem, pode ser

aplicada utilizando materiais de baixo custo e não exigindo ambientes especiais para sua realização.

A proposta de experimentos com materiais de baixo custo também é defendida por Paz (2007). Este autor ressalta a importância do ambiente didático permeado por práticas experimentais, associadas a uma sequência didática onde os conceitos de eletromagnetismo são discutidos por meio da interação dos pares mediadas por uma sequência de questionamentos como meio de estímulo. Dias (2018) vai além dos propósitos anteriores adicionando uma quantidade maior de práticas, buscando aumentar o repertório do estudante em termos de aplicação de um mesmo princípio físico.

A inclusão das práticas no processo de ensino aprendizagem, ainda pode ser potencializada quando estas práticas estão relacionadas a tecnologias que estão presentes no cotidiano dos alunos. Em se tratando de

alunos dos cursos de engenharias Elétrica, Eletrônica, Computação e Telecomunicações, diversos fenômenos físicos envolvendo eletromagnetismo, bem como o controle de utilizadas pelos alunos. Os conceitos envolvidos na teoria de levitação magnética são presentes em smartphones, televisores, instrumentação em geral. Logo nos primeiros períodos do curso, estes alunos têm contato com algumas disciplinas tecnológicas que propiciam a construção de experimentos com determinado grau de complexidade fomentando assim, a interação entre os conteúdos de forma multidisciplinar.

Nos últimos anos tem se notado um movimento das escolas de engenharia no sentido de se pensar no currículo básico comum para os futuros engenheiros. Além disso, as possibilidades oferecidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB (BRASIL,1997) vão de encontro a uma flexibilização do currículo e mudanças fundamentais na prática de ensino aprendizagem de forma que a sala de aula tradicional dê lugar a metodologias ativas e a prática de projetos multidisciplinares. Nesse contexto, o experimento como o do Levitador Magnético – LV pode se inserir como ferramenta poderosa na criação de projetos multidisciplinares.

O fenômeno de levitação magnética é aplicado em diversas tecnologias e as grandezas envolvidas são correlatas a diversas tecnologias atuais, que vão desde o funcionamento de trens-bala até o carregamento de baterias. O LV trata se de uma aplicação lúdica onde objetos são colocados para levantar em plataformas normalmente compostas por uma fonte de campo magnético, no caso mais comum, um eletroímã (SOUZA et al., 2004). Sua aplicação tem sido reportada em diversos trabalhos.

Gomes (2016) apresentou um onde o controle do eletroímã foi realizado utilizando um microcontrolador AVR 328p. Foram investigados o controle Proporcional e Diferencial – PD e o controle com avanço de fase. Similarmente, Ruiz (2010) apresentou o projeto de um levitador no qual o controle foi realizado graças a utilização de um microcontrolador PIC18F2550. Em ambos os

trabalhos, foram empregados além de conhecimentos comuns às disciplinas de cálculo, equações diferenciais, métodos numéricos e eletromagnetismo, assuntos referentes a disciplinas tecnológicas como circuitos digitais, controle analógico e digital bem como automação de sistemas.

Embora seja comum a utilização do LV em algumas disciplinas voltadas para o controle e automação de sistemas, sua aplicação ainda é discreta em outras disciplinas. Em muitos casos isso pode estar relacionado a aspectos como a dificuldade em aplicação do experimento devido a complexidade em sua construção para o momento no curso. Entretanto, simples busca por vídeos de experimentos na internet mostra crescente interesse dos estudantes pelo LV aplicados em diferentes contextos e disciplinas. Assim, o presente trabalho teve como objetivo relatar a construção de um protótipo de um levitador, utilizando materiais de baixo custo visando uma aplicação multidisciplinar no curso de engenharia elétrica

## PRINCIPIOS FÍSICOS DE UM LEVITADOR MAGNÉTICO

O projeto básico de um LV consiste em uma fonte de campo magnético e um material susceptível a campos magnéticos. Em sua aplicação mais comum, as fontes de campo magnéticos são eletroímãs compostos por uma bobina e um núcleo, que são alimentados por uma fonte de corrente contínua. Ao passar pela bobina, essa corrente gera um campo magnético em sua parte interna, cujo fluxo pode ser intensificado quando a permeabilidade do meio é alterada (HAYT JR, 2008, GOMES, 2016). Considerando a Lei de Biot-Savart, o campo magnético  $B_z$  produzido no interior de uma bobina por uma corrente  $i$  é dado por:

$$\vec{B}_z = \mu n N i \hat{a}_z \quad (1)$$

Onde  $\mu$  representa a permeabilidade do meio,  $N$  o número de camadas de espiras concêntricas,  $n$ , o número de espiras contidas

em uma camada cujo centro possui eixo apontado na direção  $\hat{a}_z$ .

A ideia básica do sistema é equilibrar um corpo, de massa  $m$ , sujeito a uma força gravitacional,  $F_g$ , com uma força magnética,  $F_{mag}$ , gerada por um campo eletromagnético por meio da variação de trabalho. Assim, segundo Hiziroglu (2001),

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{mag} = \frac{dW}{dz} \quad (2)$$

Onde  $W$  é a energia associada a um corpo que está a uma distância  $z$  do eletroímã e pode ser definida como,

$$W_z = \frac{1}{2} L(z) i^2 \quad (3)$$

O parâmetro  $L(z)$  é composto pela soma da indutância da bobina e a indutância do corpo ( $L_b$ ) nas redondezas do campo magnético a uma distância média  $x_0$ . Assim, a equação (2) pode ser reescrita como:

$$\vec{F}_{mag} = -\frac{L_b x_0}{2} \frac{i^2}{x^2} \quad (3)$$

As equações anteriores mostram que o equilíbrio do corpo no sistema depende da corrente injetada, a massa desse corpo, a distância do mesmo até o eletroímã e a indutância do mesmo. Além disso, o campo magnético é dependente dos parâmetros dimensionais da bobina bem como a permeabilidade do meio, que neste caso, é modificada com a inserção de materiais ferromagnéticos que, por sua vez, tem por característica a intensificação do campo.

Definindo-se um parâmetro base de projeto a massa do corpo, os demais parâmetros podem ser calculados e projetados de acordo com os materiais de baixo custo disponíveis. Além disso, vários elementos empregados nos projetos das disciplinas de base de engenharia podem ser utilizados para a construção de um LV. Do ponto de vista de controle da posição do objeto levitador, existem diferentes formas de implementação, dentre elas as mais simples utilizam de sensores, atuadores e controladores. Os sensores monitoram a posição do objeto e enviam um sinal elétrico correspondente ao controlador, que por sua vez, processa a

informação e faz com que o atuador regule a corrente no eletroímã, conseqüentemente, gerando mais ou menos energia (SOUZA et al., 2004). Conforme indicado por Cutin et al., (2001) a aplicação de sensores infravermelho garante respostas significativas a pequenas variações de intensidade enquanto possui uma faixa de operação linear quando comparado aos demais sensores aplicáveis à mesma função. Com relação aos atuadores, desconsiderando o uso de plataformas como o Arduino e Raspberry, os diversos projetos de LV encontrados na literatura utilizam de transistores bipolares e *mosfets* (MESQUITA E MAIA, 2000).

O controlador é responsável pelo monitoramento da posição do corpo. O sinal proveniente do sensor é comparado com um padrão e em caso de divergências, o atuador é recrutado para que a corrente no eletroímã seja ajustada. O controlador pode ser implementado com componentes analógicos ou com sistemas digitais. Sistemas que possuem poucas variáveis geralmente utilizam de controladores analógicos por sua simplicidade e por não ser necessário conhecimento prévio de uma linguagem de programação (MESQUITA E MAIA, 2000). Neste contexto, tanto o controlador analógico quanto os demais constituintes de um LV supracitados constituem a base de conhecimento prático empregados no projeto de construção do protótipo tema deste trabalho.

### Projeto do levitador

O sistema aqui proposto trata-se de um protótipo de LM que leve em consideração a aplicação em diferentes disciplinas na forma de um projeto interdisciplinar, que ocorra simultaneamente ou ao longo do curso à medida que conceitos das disciplinas são empregados. Assim, foi proposto inicialmente, a escolha de um objeto com massa conhecida como referência para os cálculos iniciais. Uma vez que as dimensões e constituição do objeto interferem em sua indutância, uma esfera de aço foi escolhida pela simplicidade e facilidade em se encontrar correlatos para suas grandezas magnéticas. A partir da definição dos parâmetros do corpo de prova (esfera) e de uma distância inicial do mesmo em relação ao

eletroímã de 2 cm, foram realizados os cálculos iniciais para os parâmetros da bobina utilizando as equações (1)-(3).

### Aspectos construtivos do eletroímã

Conforme já indicado, o eletroímã é constituído basicamente de uma bobina e um núcleo ferromagnético, que tem a função de intensificar o campo magnético no interior da mesma. Assumindo inicialmente, a utilização de um tarugo de ferrite IP6 com diâmetro de 9mm e comprimento de 100mm, a resistência de  $21,7\Omega$  é necessária que se tenha uma corrente de 0,73A quando a bobina é alimentada com a tensão de 127VAC. Assim, o eletroímã foi construído com um enrolamento de 1853 espiras de fio 23AWG dispostas em 20 camadas. A base para o enrolamento da bobina foi constituída de tubo de papel com dimensões do núcleo e abas de papelão recortadas com raio de 1cm superior ao raio do tubo. O resultado é mostrado na FIG.1A.

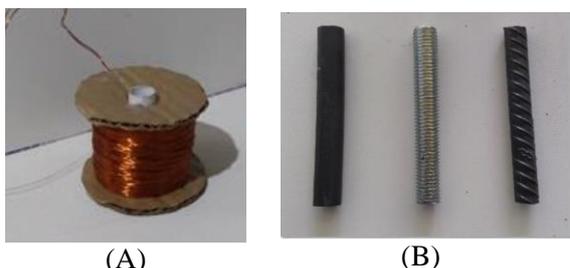


FIGURA 1 - Composição do Eletroímã. Em (A) Detalhamento da bobina construída e em (B) Tipos de núcleos utilizados: Ferrite, Barra roscada, Vergalhão (Direita para esquerda).

A figura anterior ainda mostra o tipo de núcleo utilizado (FIG.1B) acompanhado de um pedaço de barra roscada e vergalhão. Uma vez que a permeabilidade do material interfere no campo gerado, a variação do núcleo pode ser utilizada nas práticas de eletromagnetismo com intuito de estudo da energia magnética e indutância no sistema. Além disso, estes materiais também podem ser utilizados para o estudo dos parâmetros do eletroímã quando o mesmo é alimentado por corrente alternada. Para especificação de alguns desses parâmetros foi montado um circuito contendo o eletroímã em série com uma lâmpada de 40W, ligados à fonte de tensão de 127VAC e 60Hz. Nesse circuito foram medidas as correntes no circuito e a tensão em cada elemento, variando-se o núcleo do eletroímã onde o ar foi considerado como uma das variações.

Os dados obtidos por meio das medições no circuito são listados na Tabela 1. Além das correntes e das tensões,  $V_L$  e  $V_R$ , no eletroímã (L) e na lâmpada (R) respectivamente, foram utilizadas equações propostas para circuitos (vide Nilson e Reidel, 2003, cap. 6) para o cálculo da resistência e reatância da bobina ( $R_L$  e  $X_L$ ), impedância do circuito ( $Z$ ) e, por fim, indutância (L) do eletroímã para os diferentes tipos de núcleo. Importante observar, que para estes resultados a barra roscada é aquela que apresentou maior indutância e, conseqüentemente, quando inserida no sistema do LV proporcionará maior energia na posição z predeterminada.

TABELA 1 - Valores de parâmetros para os diferentes tipos de núcleos

Material	$V_L$ (V)	$V_R$ (V)	$I$ (A)	$R$ ( $\Omega$ )	$R_L$ ( $\Omega$ )	$X_L$ ( $\Omega$ )	$Z$ ( $\Omega$ )	$L$ (H)
Ar	15,54	121,1	0,29	417,58	21,1	48,65	441,72	0,129
Ferrite	33,75	117,8	0,28	420,71	21,1	117,39	457,14	0,311
Barra roscada	45,25	114,1	0,28	407,5	21,1	158,99	457,14	0,420
Vergalhão	41,43	115,5	0,28	412,5	21,1	144,8	457,14	0,384

O cálculo da indutância do eletroímã com diferentes núcleos mostra pouca diferença entre a utilização da barra roscada e o vergalhão. Isso já era esperado já que ambos os materiais são constituídos de aço, entretanto diferenças na constituição e estrutura cristalina desses materiais, bem como o formato da superfície interferem em sua curva de histerese (LANDGRAFF, 2019)

### Sensores de Posição

A posição do objeto na altura  $z$  foi controlada com auxílio dos sensores de posição conforme mostrado na FIG. 2. A escolha realizada para utilização do sensor infravermelho (IR) também foi baseada na facilidade e custo de obtenção. O sensor é constituído de um LED emissor/transmissor do tipo TIL 32 de 5 mm e um fototransistor receptor do tipo TIL 78 de 5mm.



FIGURA 2 - Sensores de posição do LV.

Os testes de ajuste do sistema mostraram melhores resultados quando o transmissor e receptor de IR eram cobertos em sua região lateral, assim, estes elementos foram cobertos em suas laterais por fita isolante e fixados na base de sustentação do eletroímã. Além disso, a fixação destes elementos foi feita com a utilização de canaletas de PVC com tampa (20 x 10 x 500mm) para permitir a variação da posição e possibilitando ajustes empiricamente.

### Atuador

Assim como utilizado por Gomes (2016), o atuador empregado neste projeto o IRF 540 N, que se trata de um *Mosfet* de baixa

potência. A FIG. 3 mostra o diagrama esquemático do circuito contendo o atuador e a placa utilizada no protótipo. O aquecimento do atuador foi atenuado com a inserção de um dissipador no qual o contato foi otimizado com a utilização de pasta térmica.

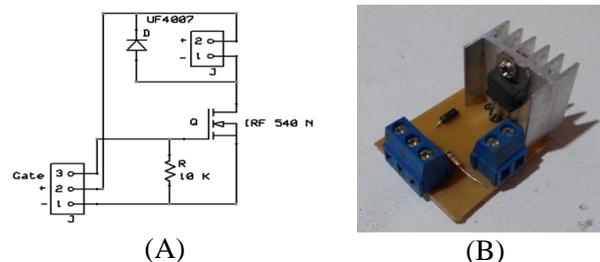


FIGURA 3 - Circuito do Atuador. Em (A) Diagrama esquemático e em (B) Placa de circuito.

O atuador foi pensado de forma bem simples, o borne superior é utilizado para conectar o eletroímã ao dreno do mosfet, em paralelo foi inserido um diodo UF4007 que servirá para proteger o IRF 540 N contra sobretensões criadas pelo desligamento da carga indutiva. No borne de alimentação temos 3 terminais, são eles: 1 negativo, 2 positivo e 3 gate, este último recebe o sinal vindo do controlador, o resistor de 10 K possui a função de levar o gate para o negativom em situações que não temos sinal no mosfet, fazendo assim que o componente não fique ligado na ausência de tensão.

### Controlador

O controlador utilizado foi implementado em uma protoboard, e trata-se de um controlador PID modificado. A estabilização do objeto foi feita de forma empírica alterando-se os valores dos capacitores e resistores e observando-se a resposta do sistema. Na FIG. 4 é mostrado o diagrama esquemático do circuito PID utilizado. Como pode ser observado foram utilizados três circuitos integrados do tipo LM741 para as composições das três partes do controlador: circuito derivador, circuito integrador e circuito proporcional.

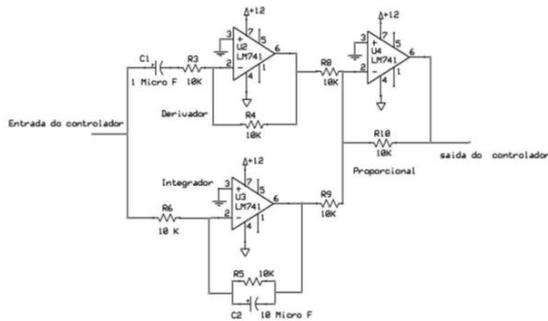
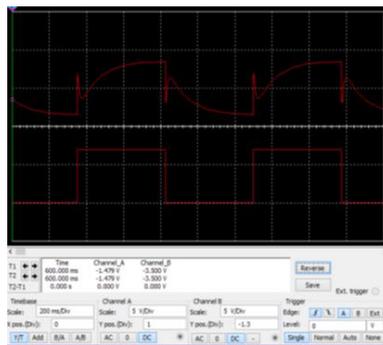


FIGURA 4 - Diagrama esquemático do circuito PID.



(A)



(B)

FIGURA 5 - Respostas do circuito controlador. Em (A) Respostas modeladas no MultSim e em (B) Respostas medidas no osciloscópio.

Conforme pode-se observar na figura anterior, ambos os sinais de entrada, apresentados como pulsos de onda quadrada, tem como saída sinais com o mesmo comportamento. Pode-se evidenciar que a saída do circuito PID atinge seus picos com atraso de  $\frac{1}{4}$  do período quando comparado a entrada evidenciando assim o comportamento derivativo e integral do circuito.

### Montagem estrutural do LV

A montagem do LV foi realizada utilizando placas de MDF de 0,7 cm de espessura conforme mostrado na FIG. 6. Um rasgo centralizado foi feito na parte superior do suporte para a fixação do eletroímã. Conforme pode ser observado, o comprimento da bobina é inferior ao comprimento do núcleo utilizado no eletroímã permitindo assim a fixação pelo próprio núcleo. Ainda, sua fixação na bobina foi feita por meio de fita isolante afim de se igualar o diâmetro da barra roscada do

diâmetro interno do enrolamento. O fato de ter utilizado um rasgo na placa superior e a fixação da barra roscada em uma placa de MDF permitiu a mobilidade do eletroímã para ajuste com os sensores. As dimensões da placa foram suficientes para estabilizar o sistema e reduzir as vibrações típicas deste tipo de montagem.

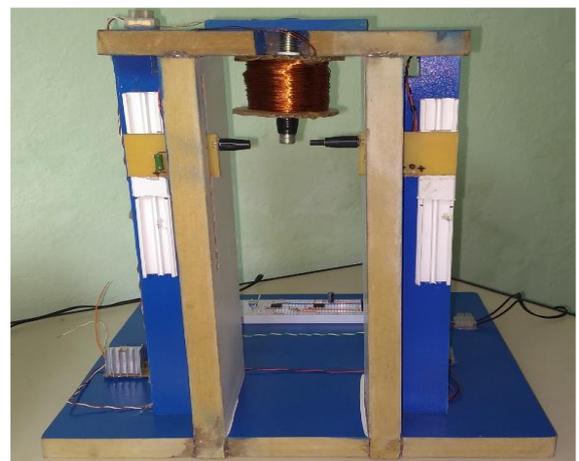


FIGURA 6 - Levitador Magnético.

Em função das mudanças realizadas no projeto durante o estudo e aplicação dos elementos constituintes variações na sua aplicação podem ser efetuadas. O projeto inicialmente pensado para uma esfera metálica funcionou com diferentes materiais e com diferentes configurações. A FIG. 7 mostra o caso do funcionamento com a utilização da esfera (direita) e de um parafuso sextavado ( $3/8' \times 2''$ ) composto pelo mesmo material da barra roscada (FIG. 7 - esquerda). Importante ressaltar que a utilização de massa maior que aquela da esfera necessitou a aproximação do parafuso ao eletroímã como esperado por inspeção da equação 2.

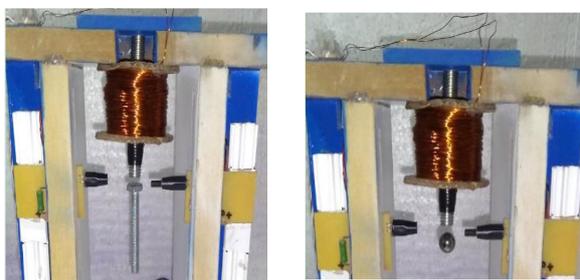


FIGURA 7 - Levitador em funcionamento.

### CONCLUSÕES

A construção do LV proposto tem grande parte de sua concepção baseada no aprendizado obtido durante o processo. Sua concepção se passa por uma associação de ideias que podem ser aplicadas para um projeto em maior escala tendo assim, envolvido muitos processos na tentativa de agregar o conhecimento de forma interdisciplinar e complementar ao longo da formação de um estudante de engenharia.

O processo de construção do protótipo vislumbrou sua aplicação em disciplinas não previstas inicialmente. A utilização de materiais com a mesma composição básica gerando diferentes valores para a indutância apresentou a possibilidade de utilização de temas que vão além das dimensões físicas e abrangem conteúdos pertinentes às disciplinas de ciências dos materiais. Além disso o cálculo das indutâncias do sistema tem sua base no conteúdo apresentado nas disciplinas de análise de circuitos. Para além disso, o tratamento das respostas do circuito podem ser alvo de melhorias mediante a aplicação de

conceitos de processamento de sinais onde as funções de transferências são obtidas e podem passar por processos como modelagem e identificação de sistemas. Ainda que muitos detalhes construtivos são suprimidos neste trabalho, grande parte destes também constituem o conhecimento tácito do aluno revelando assim a necessidade do trabalho em grupo corroborando com os preceitos das novas propostas curriculares para a formação de engenheiros.

### REFERÊNCIAS

BITENCOURT, André Pires; QUARESMA, Fábio Sardinha. *O uso de experimentos de baixo custo como forma alternativa no ensino de Física*. 2008. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) Faculdade de Física, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. *Experiência de Oersted em sala de aula*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007.

DIAS, SILVIO LIMA, *Experimentos projetados para a construção e mudança de modelos mentais no ensino de eletromagnetismo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.

GOMEZ, Eduardo. *Controle Digital para um sistema de Levitação Magnética*. 2016. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia elétrica) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2016.

Hayt Jr, William H.; Buck, John A., *Eletromagnetismo*. 6ª Edição. Livros Técnicos e Científicos: , 2003.

KOHORI, RODOLFO KASUYOSHI. *Estratégias experimentais de ensino visando contribuir com o ensino de Física de modo significativo: Atividades de Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo*. 2015. 70f. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

- LANDGRAF, F. J.G., *Propriedades magnéticas de aços para fins elétricos*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo. Disponível em: <http://www.pmt.usp.br/ACAD/EMIC/landgraf/nossos%20artigos%20em%20pdf/02Lan%20%20recope%20.pdf>. Acesso em: 17.06.2019
- LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.- Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2017.
- MALANOS, MICHEL JUNIOR. *A Física experimental no Ensino Médio para alunos das redes públicas municipais e estaduais – Eletricidade e Magnetismo*. 2011. 65f. Trabalho de Iniciação Científica (Licenciatura Plena em Física) - Faculdade de Física, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.
- MESQUITA, A. G.; MAIA, E.M.M. *Levitação magnética de uma esfera metálica usando controle eletrônico em malha fechada*. 2000. 72 p. Projeto final de estágio (Graduação em Engenharia elétrica) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2000.
- PATSKO, L. F.; *Tutorial aplicações, funcionamento e utilização de sensores*. 2006. 83 p.
- PAZ, ALFREDO MÜLLEN DA., *Atividades experimentais e informatizadas: Contribuições para o ensino de eletromagnetismo*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SILVA, A.L.M.; CUTIN, M.S.; MACHADO, S.G.. *Sistemas de levitação magnética controlado por computador..* 2001, 90 p. Projeto de graduação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Cidade Universitária, RJ, 2001
- SOUZA, J.M. *et al. Levitador magnético: uma aplicação didática de teorias de controle clássico, eletrônica e eletromagnetismo*. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE), p. MTE 1-11, 2004.
- STEPHAN, R.M. *et al. Um protótipo brasileiro de trem de levitação magnética*. Revista da sociedade brasileira de eletrônica de potência. v.8, n.1, p. 01-08, jun. 2003.
- TSHIZUBU, Christian Mutombo. *Um mancal magnético ativo com quatro polos e fluxos acoplados utilizando um motor bifásico com enrolamentos distribuídos*. 2017. 81 p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2017.