

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Alexandre Aumiller, 55964
Igor Vieira, 69583
Gustavo Oliveira de Souza, 77774
Helio silva, 77785
Rodolfo Jordão, 77698

**Eletromagnetismo:
Carater Magnético e Indução**

São José dos Campos, 30 de Junho, 2015

Alexandre Aumiller, 55964
Igor Vieira, 69583
Gustavo Oliveira de Souza, 77774
Helio silva, 77785
Rodolfo Jordão, 77698

Eletromagnetismo: Carater Magnético e Indução

Segundo relatório elaborado como parte da avaliação final da disciplina Laboratório de fenômenos magnéticos do primeiro semestre de 2015.

São José dos Campos, 30 de Junho, 2015

LISTA DE FIGURAS

2.1	Montagem do equipamento.	4
3.1	Resultados para o amortecimento magnético.	5
3.2	Conjunto de medidas para 2 mm.	7
3.3	Conjunto de medidas para 5 mm.	8
3.4	Conjunto de medidas para 5 mm.	9

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.2	INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	1
1.3	MAGNETISMO EM MATERIAIS	1
2	MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1	MATERIAIS	3
2.1.1	Variable Gap Magnetic PASCO EM-8618	3
2.1.2	Rotary Motion Sensor PASCO PS-2120A	3
2.1.3	Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112	3
2.1.4	Pêndulo Metálico	3
2.1.5	Substratos de metal e vidro	3
2.2	MÉTODOS	3
2.2.1	Preparo do Equipamento	3
2.2.2	Medida do Campo Magnético	3
2.2.3	Diamagnetismo, Paramagnetismo e Força Eletromagnética	4
3	RESULTADOS	5
3.1	DIAMAGNETISMO, PARAMAGNETISMO E FORÇA ELETROMAGNÉTICA	5
3.2	INDUÇÃO MAGNÉTICA	5
3.3	TENSÃO GERADA PELO FLUXO MAGNÉTICO	6
4	CONCLUSÃO	10

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Almeja-se neste experimento validar os modelos teóricos das equações de Maxwell e observar o efeito do magnetismo em materiais.

1.2 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A lei de Faraday mostra que se o fluxo magnético através de uma superfície varia, existe uma força de reação eletromotriz igual em magnitude à taxa de variação do fluxo à aquela induzida no fio, mas em sentido contrário [1],

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

onde Φ é o fluxo magnético presente na superfície e \mathcal{E} é a força eletromotriz. Geralmente, \mathcal{E} é detectada por uma corrente no condutor, no entanto a força eletromotriz nos limites da superfície existe mesmo se não existir o caminho condutor ou se ele for incompleto e não existir corrente. É possível deduzir a Equação (1.1) através das equações das equações de eletrostática e magnetostática de Maxwell [2],

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0 c^2} \end{aligned}$$

onde \mathbf{E} é o campo elétrico, \mathbf{B} é o campo magnético, \mathbf{j} é o vetor de corrente elétrica, ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo e c é a velocidade da luz no vácuo. Contudo, esta dedução não será feita aqui por simplicidade, referindo o leitor à textos que possuam esta dedução; salientando assim que os fenômenos aqui descritos e observados são todos descritos pelas equações de Maxwell [2, 3].

O último quesito necessário para compreender cientificamente e tecnologicamente a dinâmica existente nos experimentos, é a força de Lorentz,

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.2)$$

qual descreve a força no corpo através da presença de um campo elétrico \mathbf{E} , um campo magnético \mathbf{B} e um vetor de velocidade de elétrons \mathbf{v} . A Equação (1.2), juntamente com (1.1), descreve teoricamente os fenômenos deste experimento, assim como vários outros de importância, e.g. breques magnéticos.

1.3 MAGNETISMO EM MATERIAIS

Átomos possuem momentos de dipolo magnético devido ao movimento de seus elétrons e ao momento de dipolo magnético intrínseco associado ao spin dos elétrons, resultando uma suscetibilidade magnética positiva e muito baixa. O alinhamento de dipolos magnéticos paralelos a um campo magnético externo tende a aumentar o campo. No interior de um material polarizado magneticamente, é criado um campo magnético paralelo aos vetores momentos de dipolo magnético [1].

Um material pode ser classificado, de acordo com o comportamento de seus momentos magnéticos em um campo magnético externo, em três categorias paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos.

Materiais paramagnéticos são aqueles cujos átomos possuem momentos magnéticos permanentes que interagem entre si de forma muito fraca. Quando não há campo magnético externo, os momentos magnéticos estão orientados de forma aleatória, no entanto na presença de um campo magnético externo os momentos magnéticos tendem a se orientar paralelamente ao campo, o grau de orientação é dependente da intensidade do campo e da temperatura [4].

O diamagnetismo ocorre em materiais que possuem valores negativos e pequenos de suscetibilidade magnética. Ocorre a partir da indução dos momentos de dipolo magnéticos por um campo magnético aplicado. Os momentos magnéticos têm sentidos opostos e, assim se cancelam. Já ferromagnetismo ocorre devido a uma forte interação entre dipolos magnéticos próximos, ocorrendo um alto grau de alinhamento, provocando um forte aumento no campo magnético total. Mesmo que não haja um campo magnético externo os materiais ferromagnéticos podem ter seus dipolos magnéticos alinhados [4].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Variable Gap Magnetic PASCO EM-8618

O Variable Gap Magnetic PASCO EM-8618 consiste em dois ímãs de neodímio de 2,5 centímetros de diâmetro em uma base de ferro com suportes magnéticos ajustáveis. Duas peças de ferro planas pólo (7,95 X 4,44 cm) foram empregadas para proporcionar um campo magnético uniforme quando necessário. O intervalo entre as faces dos dois ímãs pode ser variado de 0,5 centímetros a 8,9 centímetros, rodando os parafusos de ajuste. A base tem um furo roscado para fixação de uma haste de suporte roscada.

2.1.2 Rotary Motion Sensor PASCO PS-2120A

O Rotary Motion Sensor PASCO PS-2120A fornece medidas de posição, velocidade e aceleração (angular e linear) com resolução de 0,09 ° com uma faixa nominal de velocidade de rotação máxima de 30 rot / s. Juntamente a este equipamento foi empregado um pêndulo de indução com capacidade de medir tensão e servir como braço de rotação para a medição da mesma.

2.1.3 Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112

O Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112 fornece uma medição precisa da intensidade de campo magnético com faixa nominal de -1.000 - 1000 gauss e resolução de 0,1 gauss.

2.1.4 Pêndulo Metálico

Para interagir com o campo magnético produzido pelos ímãs, empregou-se uma barra metálica (21cm) como pêndulo.

2.1.5 Substratos De Metal E Vidro

Pequenos tubos de metal e vidro foram amarrados a fios inextensíveis para observar-se a interação do substrato com o campo magnético.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Preparo Do Equipamento

Colocou-se uma haste com bobina no suporte e uma barra transversal foi presa a ele. Em seguida, colocou-se as placas polares do magneto ajustando a distância entre os polos magnéticos, como mostrado na Figura 2.1. Para cada distância dos polos magnéticos soltou-se a haste sempre com a uma distância fixa em relação ao magneto. Na sequência, conectou-se o sensor de tensão e o de rotação ao computador e os conectores banana do sensor de tensão aos conectores da haste com bobina foram conectados.

2.2.2 Medida Do Campo Magnético

Primeiramente, foi verificado se a componente perpendicular é nula (com o sensor longe do magneto). Segurando o pêndulo de indução fora do caminho do campo o sensor decampo magnético foi inserido entre as placas dos polos magnéticos. Em seguida, utilizou-se o sensor



Figura 2.1: Montagem do equipamento.

de campo magnético para sondar o campo entre as placas, determinando o campo no centro das placas e o campo cerca de 0,5 cm de cada borda das placas e a distância a partir da borda das placas para o ponto fora das placas onde o campo cai para 0,001 t (aproximadamente campo zero). Na sequência, deixou o pêndulo balançar livremente agora, medindo o tempo para 10 oscilações e calculou-se o período.

2.2.3 Diamagnetismo, Paramagnetismo E Força Eletromagnética

Primeiramente, o cilindro de alumínio foi rotacionado e colocado entre as placas do magneto e verificou-se o efeito do material em um campo externo, repetiu-se o mesmo experimento para a amostra do vidro. Colocou-se um fio entre as placas do magneto e ligou-o em uma fonte e ajustou a corrente que passaria pelo fio e, verificou-se a movimentação do fio.

3 RESULTADOS

3.1 DIAMAGNETISMO, PARAMAGNETISMO E FORÇA ELETROMAGNÉTICA

Constatou-se que não houve qualquer variação na movimentação do vidro, confirmando suas características diamagnéticas. Por outro lado, a barra de alumínio em pouco tempo alinhou-se com o campo magnético axial entre os ímãs e ficou estável nesta posição, confirmando assim o caráter paramagnético do alumínio. O fio de metal ficou imóvel entre os ímãs enquanto não era submetido à uma corrente elétrica pela bateria. Assim que a corrente era aplicada ao fio, este deslocava-se por um breve período e estabilizava em sua nova posição enquanto a corrente fosse aplicada, cuja parada ocasionava a volta do fio para posição de equilíbrio original.

Os fenômenos agora descritos elucidam a manifestação da natureza magnética dos materiais e também a validade da força de Lorentz; que predizem na existência de uma força eletromotriz na presença do campo magnético.

3.2 INDUÇÃO MAGNÉTICA

Os resultados amostrados para o pêndulo de alumínio oscilando livremente e com diferentes aberturas do suporte dos ímãs pode ser visto na Figura 3.1.

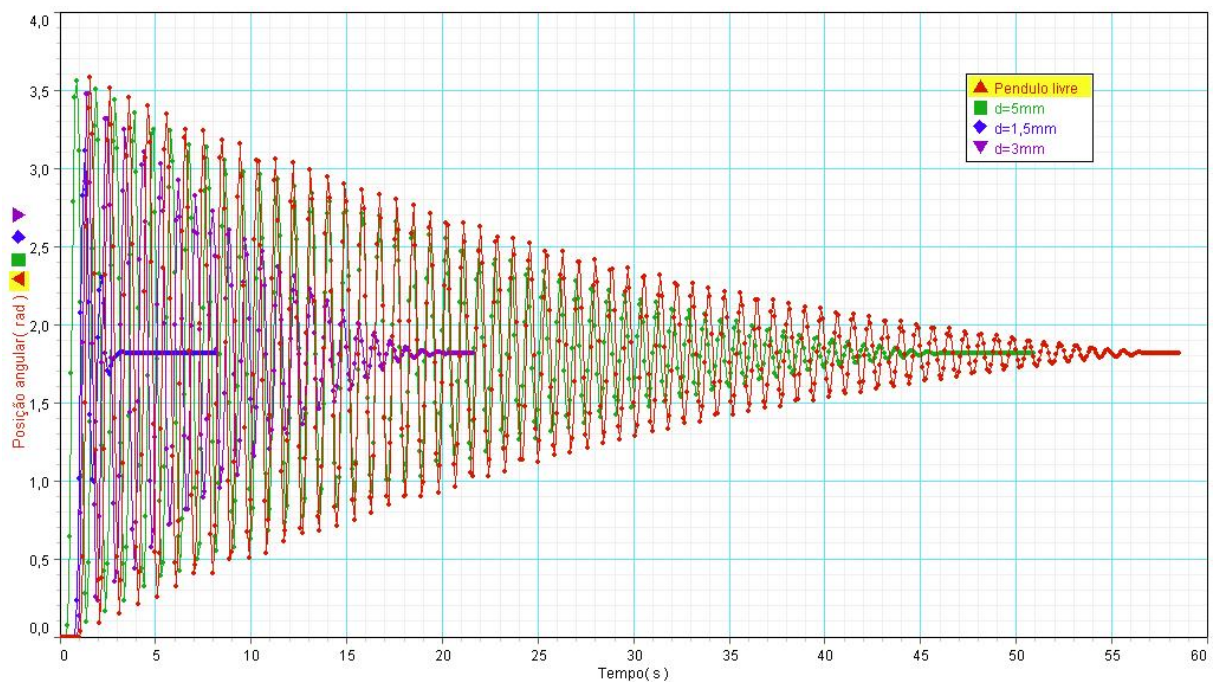


Figura 3.1: Resultados para o amortecimento magnético.

É possível verificar o fenômeno de amortecimento magnético, que de fato ocorre com mais visibilidade quanto maior for o campo magnético na trajetória do pêndulo, ou seja, quanto menor for a distância dos ímãs no suporte. Livremente, o pêndulo para devido à atritos por volta de 55 segundos, enquanto sua parada acontece em menos de 5 segundos para uma separação de 1,5 mm.

Embora esta aproximação não seja tomada aqui, é possível utilizar de regressão para ajustar uma exponencial decadente a estes dados e assim obter uma relação de proporção entre a separação dos ímãs e constante de dissipação do sistema total.

Pode-se dizer mais uma vez que os resultados mostram a validade e existência da força de Lorentz e das leis de indução magnética de Faraday:coil-Lenz, ocasionando uma força contrária

à variação de fluxo magnético no pêndulo paramagnético enquanto este desloca-se por entre a fenda dos ímãs, em um campo uniforme e contínuo.

3.3 TENSÃO GERADA PELO FLUXO MAGNÉTICO

Os resultados obtidos para os movimentos do pêndulo condutor podem ser vistos nas Figuras 3.2 à 3.4. O campo magnético mensurado antes de cada conjunto de três medidas está disposto na Tabela 3.1, obtido através da média e desvio padrão da série temporal gravada.

Tabela 3.1: Campos magnéticos para cada iteração.

Distância [mm]	Campo perpendicular [Gauss]	Campo axial [Gauss]
$2,00 \pm 0,05$	$644,28 \pm 0,21$	$56,01 \pm 0,41$
$4,00 \pm 0,05$	$369,04 \pm 0,64$	$20,50 \pm 1,73$
$5,00 \pm 0,05$	$279,87 \pm 0,60$	$-3,06 \pm 0,62$

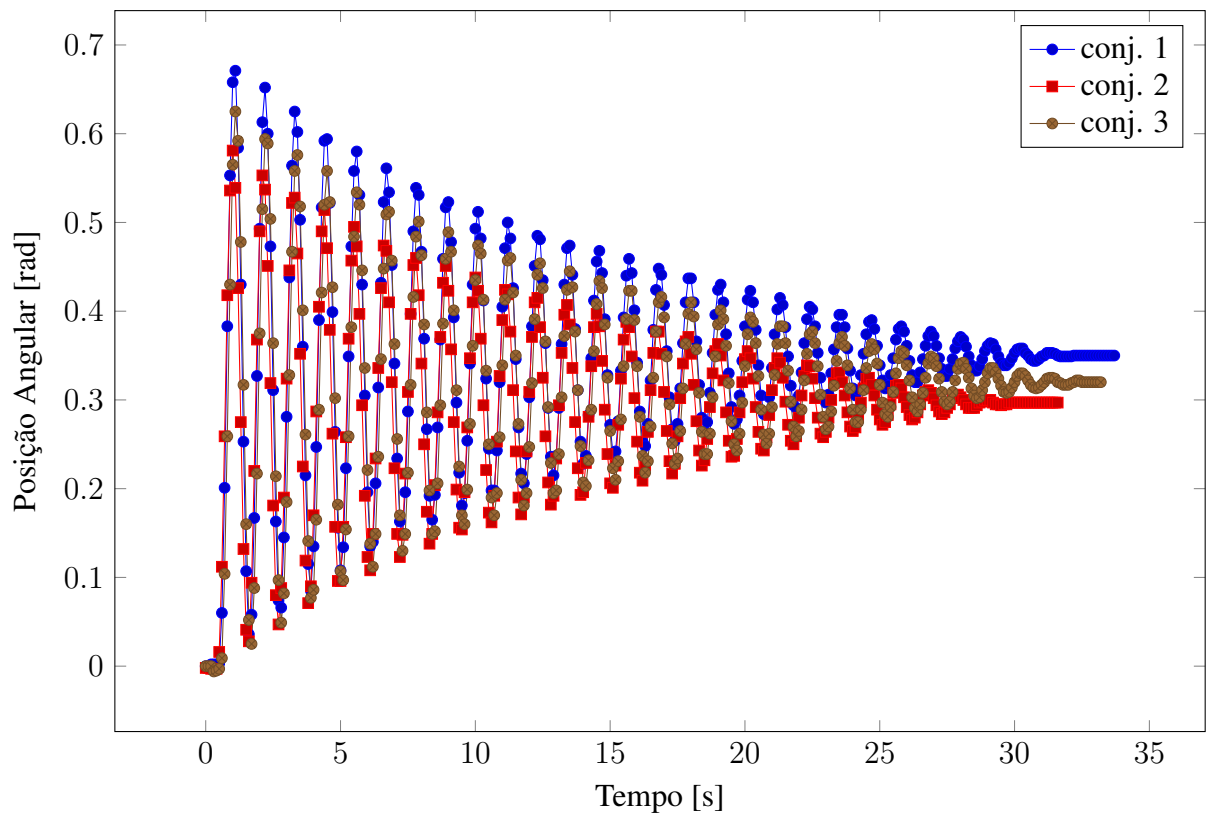
Embora seja difícil obter um modelo matemático com parâmetros extraídos dos dados experimentais devido à heterogeneidade as condições iniciais de cada iteração, é possível fazer afirmações qualitativas a respeito desta etapa do experimento.

Observa-se que quanto maior foi a distância entre os ímãs do suporte, menor foi a tensão de reação gerada no circuito interno da barra oscilante; isso também provém da menor intensidade do campo magnético uniforme resultante entre os ímãs. Veja que a oscilação para distância de 2 mm tem valores de magnitude superiores aos amostrados para 5 mm, quando inclusive a precisão máxima de amostragem é incapaz de obter valores diferentes; evidenciando pelo grande número de pontos na mesma equipotencial.

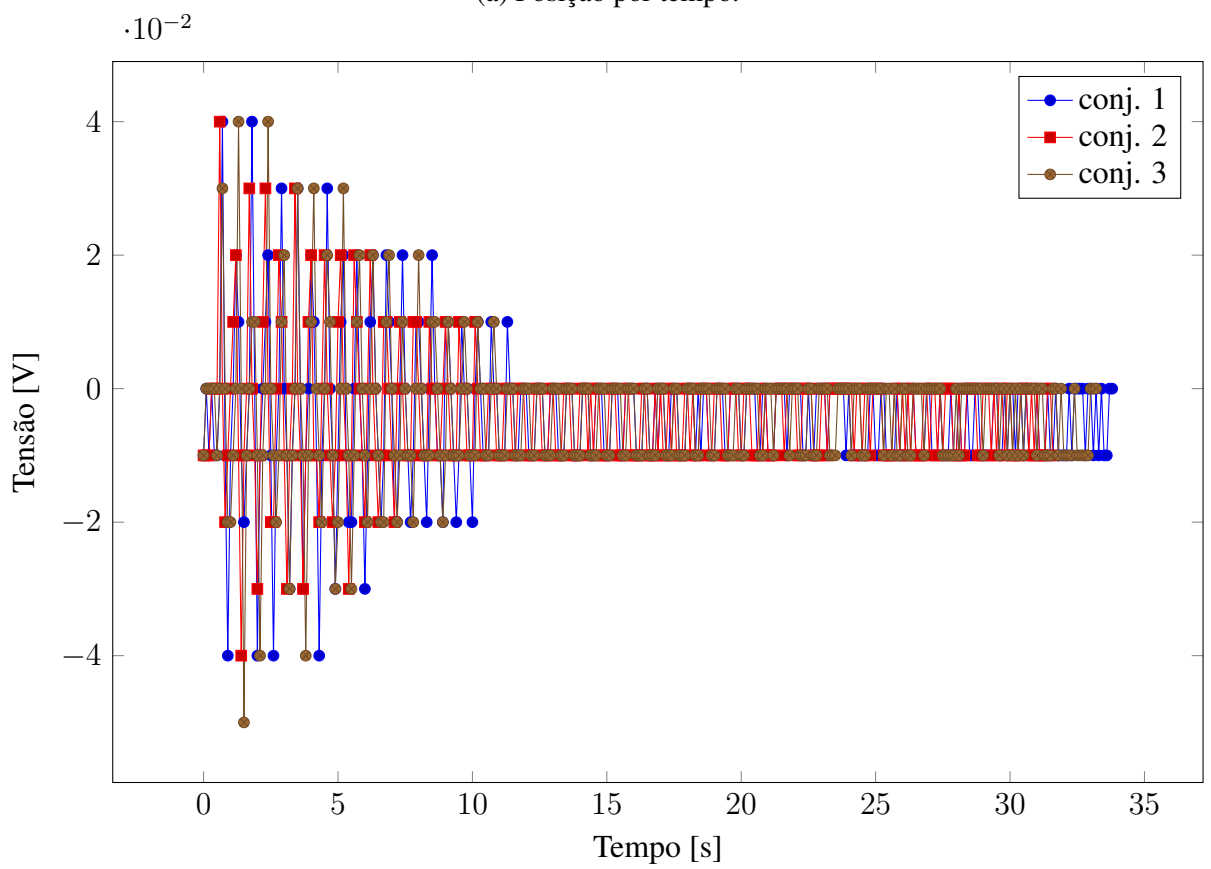
Este padrão acompanha as estimativas teóricas da Equação (1.1), pois o campo de menor magnitude perpendicular também acarreta uma menor variação temporal toda vez que o pêndulo se movimento entre os dois ímãs.

Outro ressalva diz à respeito dos valores do campo magnético mensurados na direção axial, quais deveria todos ser nulos. O motivo destes não serem nulos provém primariamente da necessidade de ajuste manual do leitor de campo no suporte dos ímãs: é difícil manter a ponta do sensor com sua direção perpendicular perfeitamente alinhada com a direção dos ímãs manualmente. Sem segundo lugar, os efeitos de borda observáveis em dielétricos também são existentes neste aparato de duas placas magnéticas.

No mais, infere-se na validade das equações de maxwell e suas consequências para este fenômeno, cujos dados experimentais corroboram com as predições teóricas.

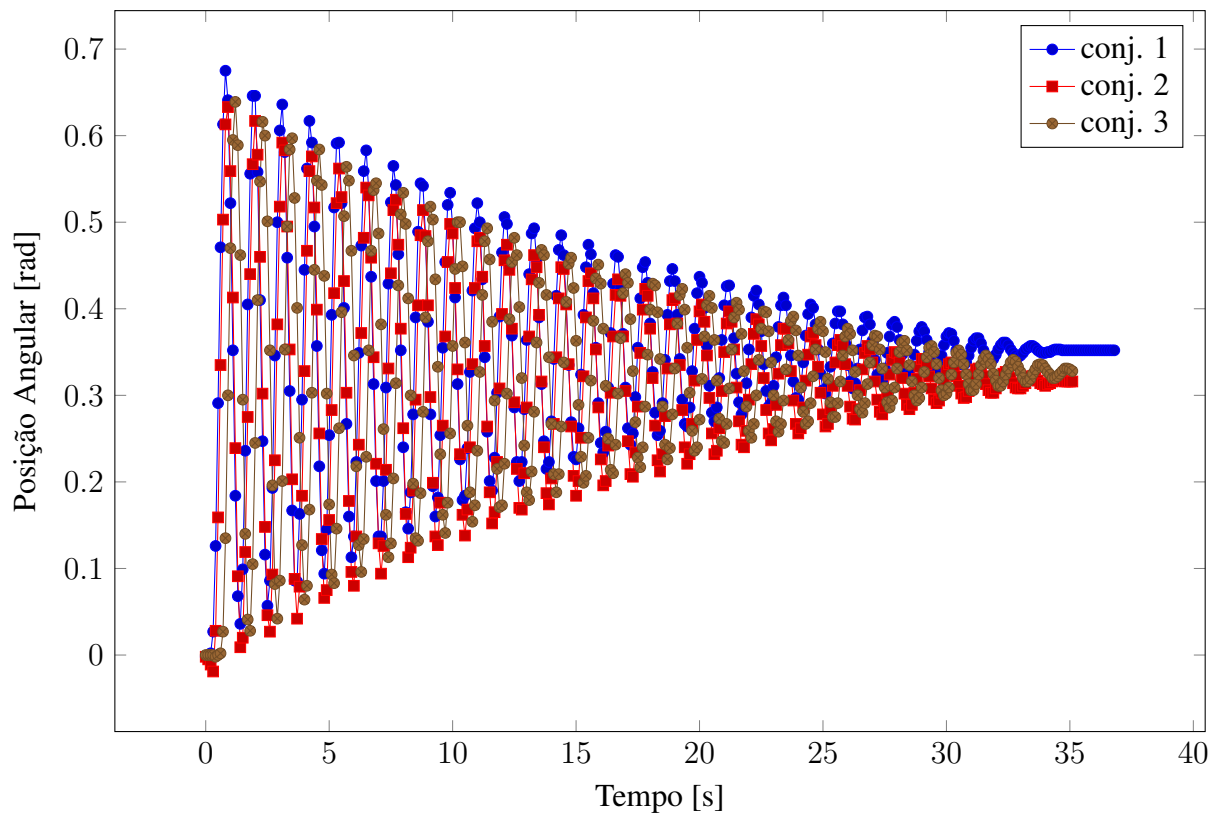


(a) Posição por tempo.

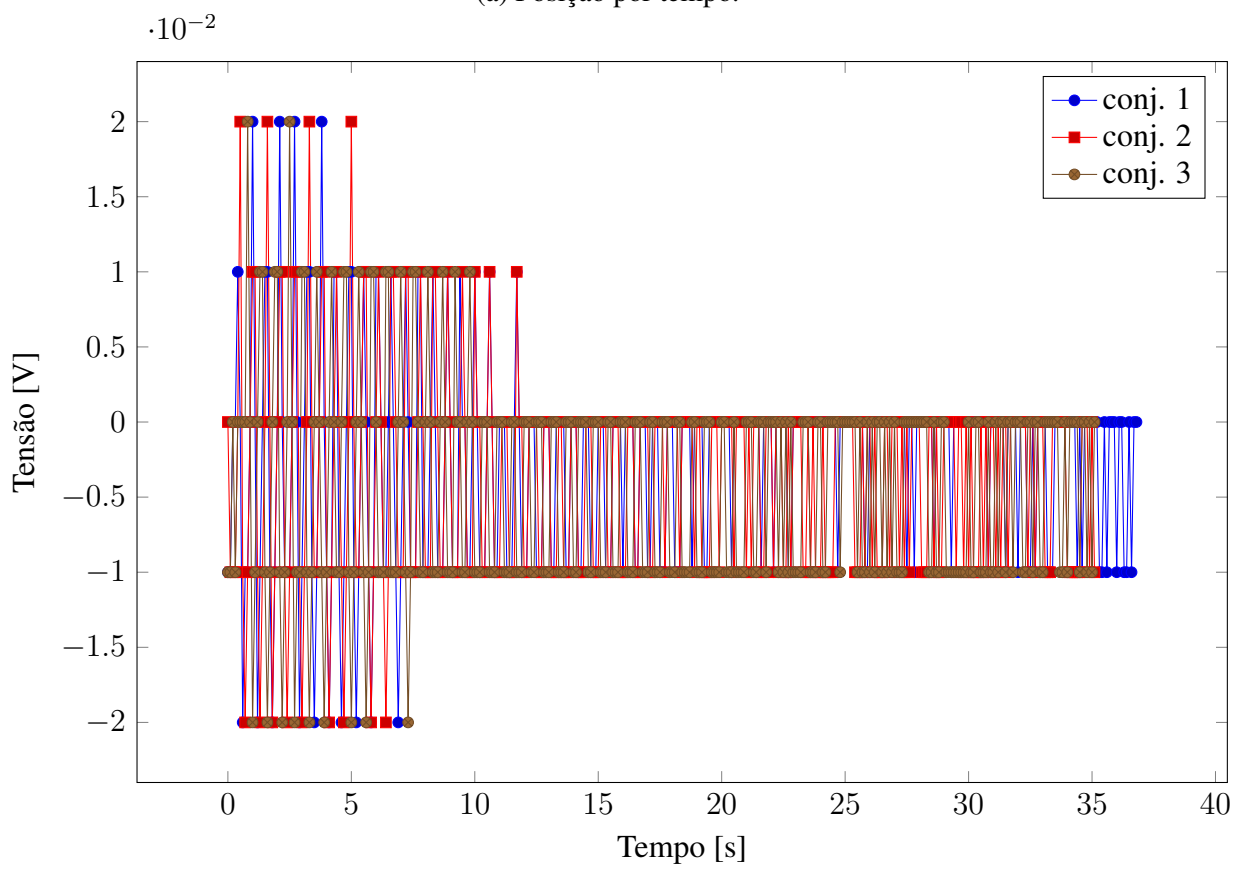


(b) Tensão por tempo.

Figura 3.2: Conjunto de medidas para 2 mm.

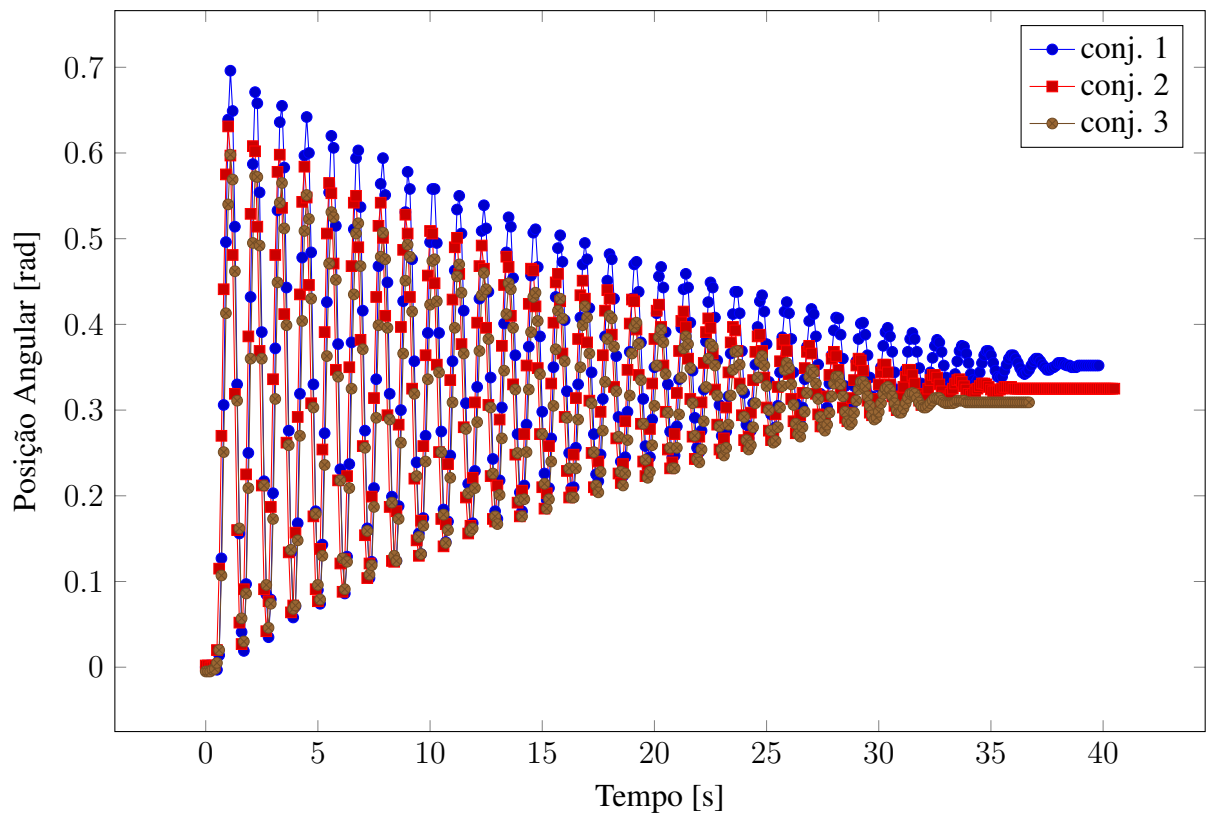


(a) Posição por tempo.

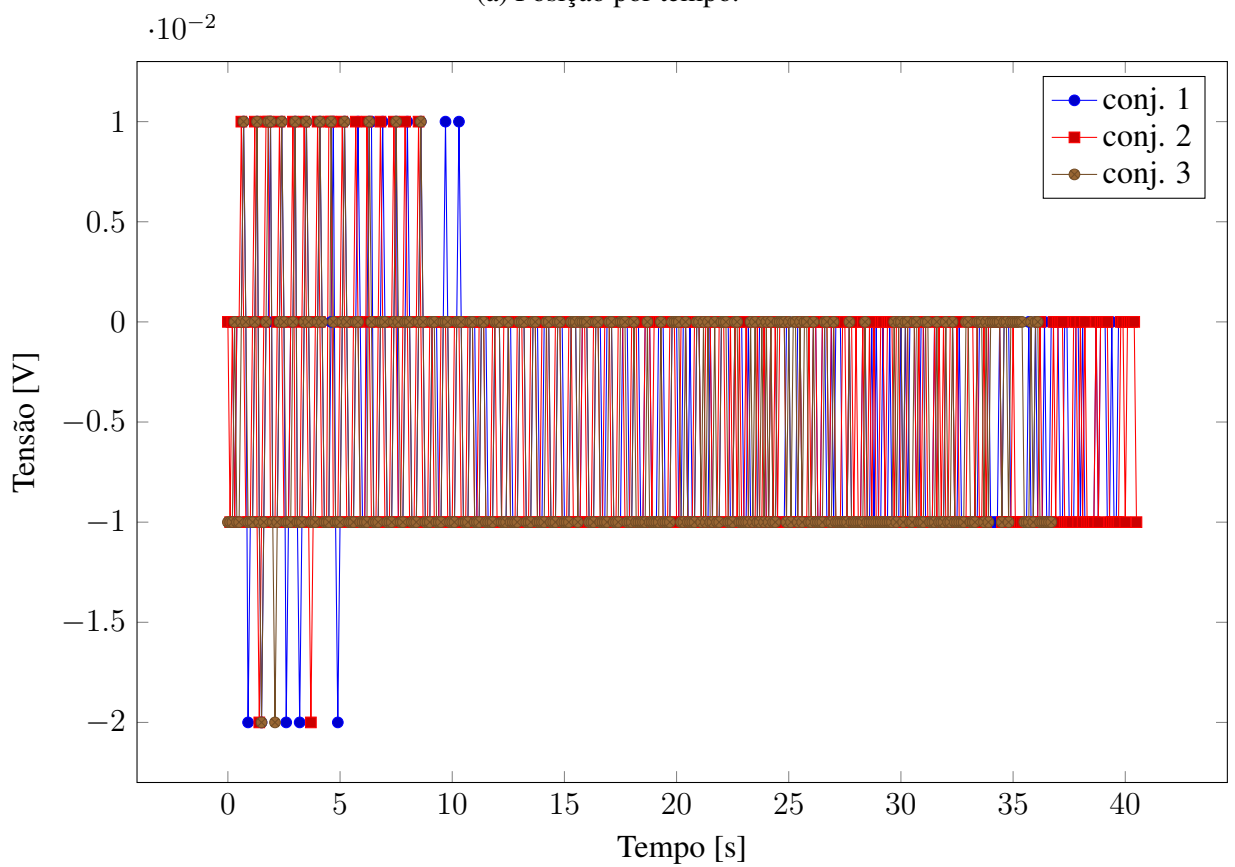


(b) Tensão por tempo.

Figura 3.3: Conjunto de medidas para 5 mm.



(a) Posição por tempo.



(b) Tensão por tempo.

Figura 3.4: Conjunto de medidas para 5 mm.

4 CONCLUSÃO

Foram apresentados métodos para validar as leis eletromagnéticas de Maxwell e suas consequências. Entre estas, estão a indução magnética e a caracterização da natureza magnética dos materiais. Os resultados mostram que existe uma boa correlação qualitativa entre as previsões teóricas das leis de indução de faraday-lenz e força de lorentz com os dados obtidos, considerando que a movimentação do pêndulo ou sua geração de tensão obedecem as reações previstas. No mais, a natureza magnética dos materiais e suas manifestações físicas também foram prontamente observadas através de três tipos de materiais diferentes cujas características eram conhecidas; incluindo a movimentação devido apenas à presença de correntes elétricas em um fio condutor. Por fim, pode-se dizer que o objetivo do experimento foi alcançado com a validação dos modelos teóricos em relação aos fenômenos físicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para cientistas e engenheiros*. [S.l.: s.n.], 1995.
- [2] FEYNMAN, R. *The Feynman lectures on physics*. New York: Basic Books, 2011. ISBN 9780465024162.
- [3] NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: eletromagnetismo*. [S.l.]: Edgard Blucher, 2001.
- [4] CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. et al. *Materials science and engineering: an introduction*. [S.l.]: Wiley New York, 2007.