

# Construção de um gaussímetro de baixo custo

(Building a low cost gaussmeter)

Wictor C. Magno<sup>1</sup>, Mariel Andrade<sup>2</sup> e Alberto E.P. de Araújo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, PE, Brasil

Recebido em 28/9/2009; Aceito em 1/2/2010; Publicado em 15/2/2011

Este trabalho apresenta uma proposta de construção de um sensor de campo magnético utilizando uma sonda de efeito Hall e componentes eletrônicos simples e de baixo custo. Apresentamos a calibração do sensor e mostramos uma aplicação específica, no mapeamento do campo magnético de um par de bobinas de Helmholtz. Diferentes experimentos podem ser realizados com o gaussímetro proposto, permitindo comprovar experimentalmente as leis de Ampère, de Faraday e de Gauss para o magnetismo, bem como medir e estudar propriedades magnéticas de materiais.

**Palavras-chave:** sensor de campo magnético, sonda de efeito Hall, ensino de física.

The goal of this paper is to present a magnetic field sensor using a Hall probe and low cost electronic components for use in experimental classes. We show how to make the sensor calibration and its use in the measurement of the magnetic field generated by a system of Helmholtz coils. Many others different experiments can be accomplished with a probe hall gaussimeter. So, this simple mounting allow to demonstrate experimentally the Ampère, Faraday and Gauss laws of magnetism, as well to measure and study magnetic properties.

**Keywords:** magnetic field sensor, Hall probe, physics teaching.

## 1. Introdução

A importância do laboratório didático para o ensino de física vem sendo enfatizada por vários autores, sendo que as discussões desses trabalhos giram em torno dos objetivos pedagógicos do laboratório [1–3] ou de propostas para experimentos, demonstrações e construção de instrumentos de medidas de baixo custo [4–6]. Apesar dos diferentes enfoques dados ao laboratório didático, podemos dizer, a partir da análise dos trabalhos publicados sobre o tema, que há uma influência positiva das atividades de laboratório na aprendizagem significativa de conceitos que são trabalhados nas aulas teóricas. Mas, para que o professor possa elaborar e executar práticas eficientes de laboratório são necessários, quase sempre, diferentes tipos de equipamentos relacionados com o experimento em questão. Uma forma de facilitar as práticas é adquirir kits comerciais de experimentos pré-montados, os quais possuem um conjunto de equipamentos necessários para fazer determinadas atividades experimentais. Porém, nem sempre o professor possui a sua disposição tais kits ou equipamentos, limitando, de certa forma, os trabalhos de natureza experimental. Como alternativa o professor deve tentar buscar soluções criativas como, por exem-

plo, a construção de experimentos didáticos através do uso de materiais de baixo custo e de fácil acesso, encontrados em componentes de aparelhos eletrônicos como rádios, brinquedos, computadores usados e seus periféricos.

Diversos trabalhos trazem sugestões de como utilizar esses materiais de baixo custo na elaboração de experimentos. Pimentel e colaboradores [7] sugerem a utilização de ímãs retirados de discos rígidos de computadores para construção de pêndulos aleatórios e um acelerador linear magnético conhecido como “Rifle de Gauss”. Com esse mesmo tipo de ímã é possível construir freios magnéticos [8] e experimentos envolvendo levitação magnética [9]. Na Ref. [10] os autores sugerem a utilização de motores elétricos retirados dos discos rígidos ou de *drivers* de CD e DVD, na construção de um anemômetro caseiro e de um contador de frequências. Dessa forma, tenta-se quebrar o mito de que para se ter uma atividade experimental, obrigatoriamente, são requeridos instrumentos comprados em kits comerciais ou de um grande laboratório de ensino. Sobre isso, Borges [11] enfatiza que “É um equívoco corriqueiro confundir atividades práticas com a necessidade de um ambiente com equipamentos especiais para a realização de trabalhos experimentais, uma vez que

<sup>1</sup>E-mail: wictor.magno@gmail.com.

podem ser desenvolvidas em qualquer sala de aula, sem a necessidade de instrumentos ou aparelhos sofisticados”.

Neste trabalho apresentamos uma proposta de construção de um gaussímetro, usando um sensor de efeito Hall encontrado no interior de um motor DC de um leitor de disquetes de 5.25 polegadas. A seção II apresenta a unidade de leitura de disquete do computador, a qual será utilizada para a retirada do sensor de campo magnético, enquanto que na seção III apresentamos o funcionamento do sensor de campo magnético e o esquema proposto de montagem do gaussímetro. A seção IV discute o procedimento de calibração e os resultados obtidos da utilização do sensor construído no mapeamento do campo magnético gerado por um par de bobinas de Helmholtz. A conclusão do trabalho é apresentada na seção V.

## 2. Unidade de leitura de disquetes do computador

Assim como a unidade central de processamento (CPU) dos computadores pessoais evoluiu bastante e teve suas dimensões reduzidas nas últimas décadas, os acessórios e periféricos dos computadores sofreram igualmente uma grande evolução no mesmo período, como é o caso por exemplo, da unidade leitora de disquetes, ou Floppy Disk Drive (FDD). Desenvolvida inicialmente pela IBM por volta de 1971, surgiu primeiro o modelo de 8 polegadas para ler disquetes com capacidade de armazenamento de cerca de 100 kbytes. Em seguida, por volta de 1976 foi lançado o modelo de 5,25 polegadas para disquetes com capacidade máxima de 1,2 Mbytes e por fim, o modelo mais compacto de 3,5 polegadas chegou ao mercado no início da década de 1980, tendo capacidade de 1,44 Mbytes, ainda presente em alguns computadores pessoais hoje em dia. Atualmente várias outras mídias (CD, DVD, Hard drives externos) e dispositivos de armazenamento mais compactos e eficientes como USB flash drives (pendrives), memory cards (SD cards), dentre outros, substituíram completamente e de forma irreversível os já obsoletos leitores de disquete dos computadores.

Os leitores de 8 polegadas são atualmente verdadeiras relíquias históricas da informática, sendo bastante difícil encontrar alguma unidade disponível. Já os leitores de disquete de 5,25 polegadas são encontrados hoje em dia apenas em almoxarifados de instituições públicas ou em depósitos de material velho de informática, sendo vendidos geralmente como sucata e com o propósito de reciclagem das suas partes metálicas, dada a grande quantidade de alumínio presente na carcaça destes dispositivos. Entretanto, diferentes tipos de motores elétricos e sensores podem ser encontrados no interior desse leitor antigo de disquete, como por exemplo: um motor de passo com elevado torque e grande precisão de giro para posicionamento

da cabeça magnética de escrita e leitura de dados; um motor de corrente contínua (DC) para giro da mídia magnética, sensores ópticos (fotodiodos e fototransistores) de fim de curso, sensores magnéticos para controle da velocidade de rotação da mídia de armazenamento de dados, dentre outros. A Fig. 1 mostra uma visão interna da parte inferior de um leitor de disquete de 5.25 polegadas, evidenciando um motor DC posicionado aproximadamente no centro da unidade, enquanto que um motor de passo pode ser visto no canto superior esquerdo da figura. Todos esses dispositivos encontrados no interior do leitor de disquete podem ser reaproveitados e úteis para aplicações em um laboratório didático, conforme veremos na seção seguinte.

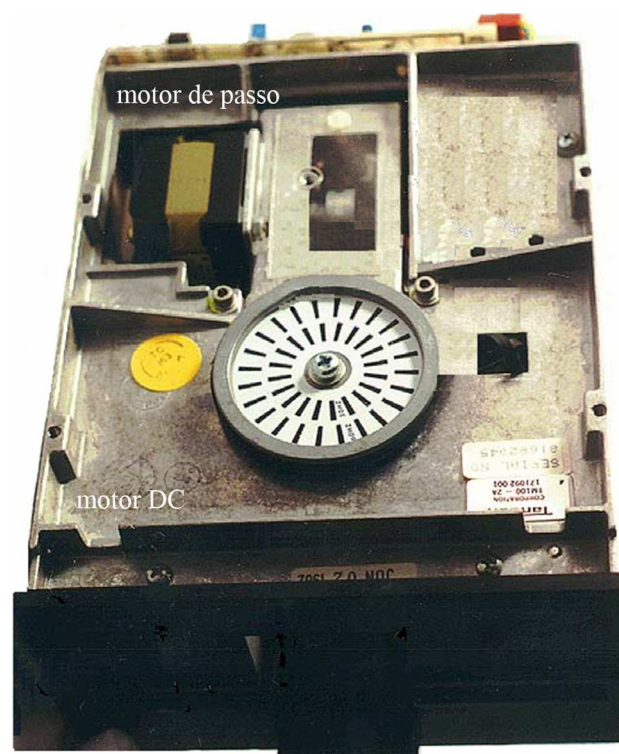


Figura 1 - Leitor antigo de disquete de 5.25 polegadas.

## 3. Sensor de campo magnético

Além de medir propriedades magnéticas de materiais e comprovar experimentalmente importantes leis do eletromagnetismo, como a lei de Ampère, a lei de Faraday e a lei de Gauss do magnetismo, um sensor de campo magnético pode ser usado em diferentes experimentos didáticos de mecânica [12], nos quais grandezas como velocidade e aceleração podem ser facilmente medidas.

A Fig. 2(a) mostra um motor DC aberto, contendo geralmente em seu interior 3 sensores de campo magnético baseados no efeito Hall. Alguns modelos mais antigos de motores podem conter apenas 2 sensores em seu interior. Esse sensor é utilizado para medir a velocidade e o sentido de giro do motor DC, sendo

conhecido como sensor de efeito Hall linear, uma vez que apresenta uma resposta linear a um campo incidente perpendicular, dentro de uma ampla faixa de valores do campo magnético. A Fig. 2(b) por sua vez mostra em detalhe um sensor Hall retirado de um motor DC, o qual contém 4 terminais, sendo normalmente sua pinagem: alimentação (pino 1), canal 1 (pino 2), canal 2 (pino 3) e terminal comum ou terra (pino 4). Existem dois canais, ou duas saídas de sinais em cada sensor [13], sendo normalmente usada a primeira saída para a medida da velocidade de giro e a segunda para a determinação do sentido de rotação do motor.

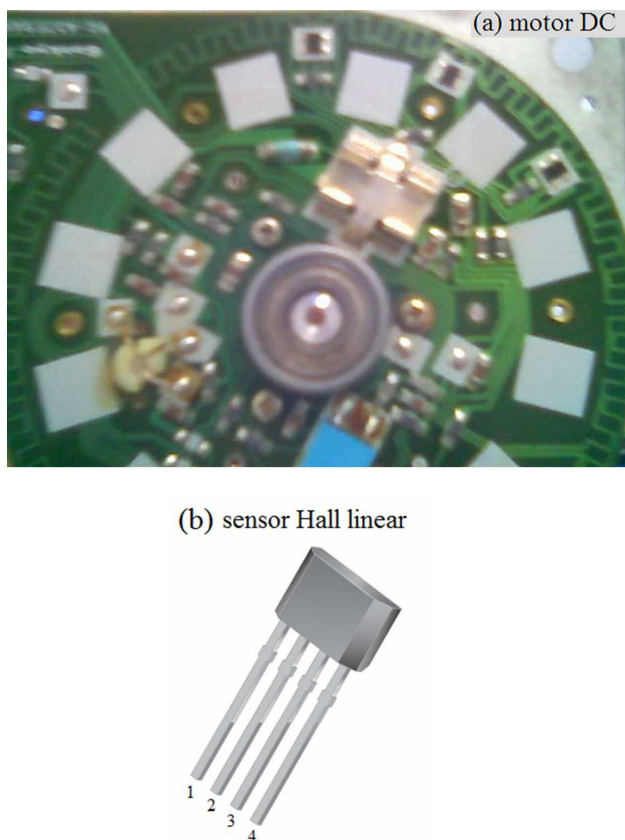


Figura 2 - (a) Motor DC de 5.25 polegadas, contendo 3 sensores de efeito Hall. (b) Sensor de efeito Hall linear com dois canais.

O efeito Hall foi descoberto em 1879 [14] pelo físico americano Edwin H. Hall, que descobriu que uma fina lâmina de ouro ao ser inserida em um campo magnético  $\mathbf{B}$  transversal, produz uma diferença de potencial  $V_{Hall}$  entre suas extremidades laterais, quando através da lâmina metálica circula uma corrente elétrica. A ddp que surge nas laterais da fita é diretamente proporcional ao módulo  $B$  do campo magnético e a corrente aplicada  $i$ :

$$V_{Hall} = \frac{iB}{n e t}, \quad (1)$$

onde  $n$  representa a densidade de portadores de carga do material do qual é feita a fita ( $n = 5,91 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$  para o ouro),  $e$  indica a carga da partícula portadora

de carga (do elétron no caso da fita de ouro) e  $t$  é a espessura da fita. Na época não se sabia da existência do elétron, que só viria a ser descoberto em 1897 pelo inglês John J. Thomson. Esse princípio físico pode ser utilizado para medir a densidade de carga de diferentes materiais condutores e também para a construção de um eficiente sensor de campo magnético, conforme veremos a seguir.

A Fig. 3 mostra o princípio de funcionamento de um dispositivo que pode ser usado para medir campos magnéticos baseando-se no efeito Hall [15]. Uma corrente  $i$  é injetada no sensor na presença de um campo magnético vertical descendente. Devido ao movimento dos elétrons no sentido contrário à corrente elétrica convencional, haverá um deslocamento dos elétrons na direção transversal ao campo magnético e a corrente, ocorrendo o aparecimento de uma tensão negativa ( $-V$ ) em um lado do material e de uma tensão positiva ( $+V$ ) do outro lado, sendo essa diferença de potencial chamada de tensão induzida  $V_{Hall}$ , de acordo com a Eq. (1).

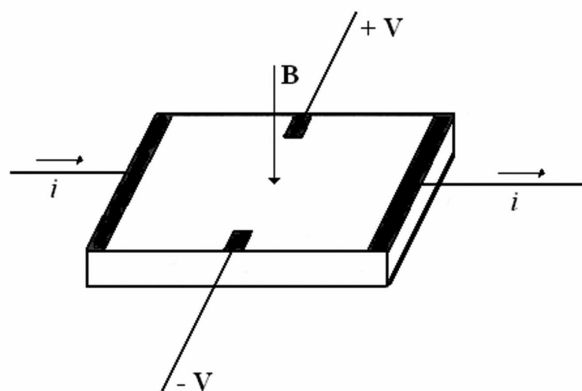


Figura 3 - Sensor de campo magnético baseado no efeito Hall.

A Fig. 4 mostra a proposta de construção de um gaussímetro para medidas de campos magnéticos, o qual consiste de um sensor Hall linear, um regulador de tensão LM7806 para alimentar o dispositivo com uma tensão contínua de  $+6 \text{ V}$  e um pequeno circuito, formado por um divisor de tensão e um amplificador operacional TL741, na configuração de amplificador não inversor [16], com ganho dá ordem de:  $1 + R_2/R_1 = 11$ , sendo  $R_1 = 1 \text{ k}$  e  $R_2 = 10 \text{ k}$ . O ganho do amplificador operacional pode ser variado, mudando-se a razão  $R_2/R_1$ , tornando a sensibilidade do gaussímetro variável em função da intensidade do campo magnético a ser medido. Somente o canal 1 (pino 2) do sensor Hall será utilizado nesse trabalho. As tensões contínuas  $+V_{cc}$  e  $-V_{cc}$  podem ser obtidas com duas baterias alcalinas de  $9 \text{ V}$  conectadas em série, sendo que o terminal comum das baterias definirá o terra do circuito do gaussímetro (ver Fig. 5). O divisor de tensão formado por um potenciômetro  $R_3 = 100 \text{ k}$  destina-se a anular o nível de sinal DC, ou o offset que é gerado

internamente no sensor Hall, ou seja, tem a finalidade de zerar a medida do campo magnético, na ausência de um ímã ou magneto próximo do sensor, ou então, cancelar o campo magnético terrestre, quando o sensor for alinhado numa direção apropriada. Na seção seguinte apresentaremos a calibração do gaussímetro construído e em seguida, usaremos o sensor para mapear o campo magnético gerado por um par de bobinas de Helmholtz.

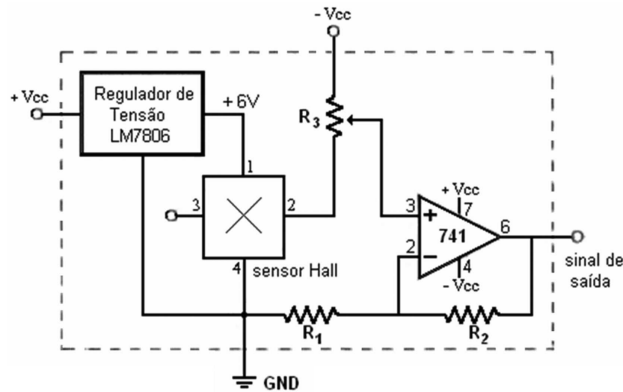


Figura 4 - Gaussímetro de baixo custo para medidas de campos magnéticos.

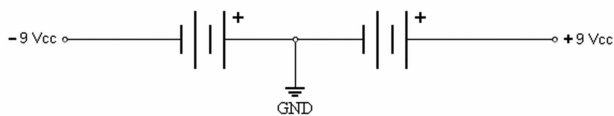


Figura 5 - Fonte de alimentação simétrica de 9 V, usando duas baterias ligadas em série.

#### 4. Resultados obtidos

A Fig. 6 mostra a curva de calibração do sensor construído, com a ajuda de um gaussímetro comercial da Phywe que dispomos no laboratório. A calibração consiste em medir a tensão Hall induzida no sensor em função do valor do campo magnético aplicado. Um forte magneto formado por um ímã de terra rara de Neodímeo-Ferro-Boro [17] foi empregado para a calibração do sensor. Aproximando-se o ímã a uma distância inferior a 1 cm do sensor construído, observamos a saturação da sua resposta, devido ao elevado campo magnético gerado pelo ímã utilizado na calibração, da ordem de 300 mT, medido na posição central do magneto com o gaussímetro comercial. A resposta do sensor é praticamente linear para campos relativamente intensos ( $\approx 100$  mT). Para campos mais fortes observamos um desvio da linearidade na curva de calibração do sensor. Os pontos na Fig. 6 representam as medidas de calibração do sensor usando-se um voltímetro digital para medir o sinal de saída do circuito da Fig. 4. A curva sólida representa um ajuste linear, cuja equação da curva obtida da regressão linear foi

$$V_{Hall} = 0.0826 + 0.0043 \times B, \quad (2)$$

onde o módulo do campo magnético  $B$  está em mT e a tensão Hall induzida em Volt. O coeficiente linear da reta obtida do ajuste indica que, uma tensão residual de offset de 82.6 mV ainda estava presente no sensor durante as medidas de calibração, o que pode ser bastante minimizado, ajustando-se de forma apropriada o potenciômetro  $R_3$  do divisor de tensão no circuito da Fig. 4. O coeficiente angular da reta depende do ganho do circuito do gaussímetro, e portanto, dos valores das resistências  $R_1$  e  $R_2$  na Fig. 4, e indicam que, a tensão lida com o voltímetro na saída do sensor deve ser multiplicada por um fator constante para encontrar o campo magnético em mT.

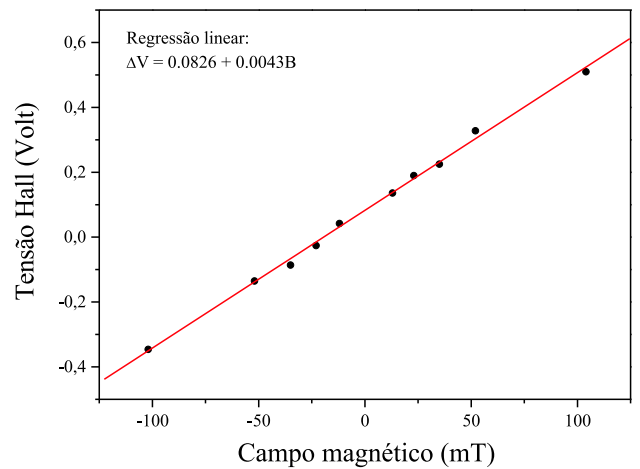


Figura 6 - Calibração do sensor Hall, usando um gaussímetro comercial.

#### 5. Bobina de Helmholtz

Em muitas aplicações práticas torna-se necessário um campo magnético relativamente uniforme e constante, que não apresente grandes variações espaciais e temporais. Para esse propósito podem ser empregadas configurações de corrente normalmente encontradas em um solenóide ou em um par de bobinas circulares [18], conduzindo uma mesma corrente elétrica, no mesmo sentido em ambas as bobinas circulares. Essa última configuração é conhecida como Bobina de Helmholtz e representa uma das mais importantes formas de geração de um campo magnético uniforme em um grande volume espacial [14], o que não ocorre, por exemplo, no caso do solenóide, onde geralmente o volume interno da bobina é bastante reduzido.

Uma bobina de Helmholtz normalmente é formada por dois conjuntos de espiras circulares de raio  $R$ , tendo cada bobina um conjunto de  $N$  espiras de corrente idênticas. Uma corrente elétrica  $I$  percorre no mesmo sentido as duas bobinas circulares. A separação entre o par de bobinas deve ser tal que, a segunda derivada

$(d^2B/dz^2)$  do campo magnético em relação à distância vertical  $z$  ao longo do eixo de simetria das bobinas se anule num ponto P sobre o eixo, a meia distância entre as bobinas [19]. Neste ponto médio a componente vertical  $B_z$  do campo magnético produzido pelo par de bobinas pode ser calculada, quando a distância  $2b$  entre o par de bobinas é igual ao raio  $R$  das espiras circulares

$$B_z(2b = R) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \cdot \frac{2}{(5/4)^{3/2}}, \quad (3)$$

onde  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m representa o valor da permeabilidade magnética do vácuo. Um maior valor de campo pode ser produzido no ponto médio entre as bobinas quando  $2b = R/2$ , ou seja, quando a distância entre as bobinas for igual à metade do raio

$$B_z(2b = R/2) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \cdot \frac{2}{(1 + 1/4^2)^{3/2}}. \quad (4)$$

A Fig. 7 mostra a montagem experimental usada para medir o campo magnético produzido por um par de bobinas circulares da Phywe, com  $N = 154$  espiras em cada bobina e raio médio  $R = 0.2$  m. A distância entre as bobinas foi aproximadamente igual a metade do raio das bobinas ( $2b = R/2$ ). Uma fonte de tensão contínua (DC) da Phywe variável entre 0-14 V e corrente máxima 5 A foi utilizada para fornecer uma corrente elétrica  $I$  ao sistema, a fim de se medir a dependência do campo magnético gerado no centro do aparato em função da corrente. A Fig. 8 mostra o resultado das medidas do campo magnético gerado em função da corrente aplicada, usando-se o gaussímetro comercial Phywe (pontos quadrados) e o gaussímetro construído (pontos circulares). Como era esperado, observa-se uma dependência linear entre o campo e a corrente, de acordo com a previsão teórica (curva sólida), obtida a partir da Eq. (4). Podemos notar que os pontos experimentais obtidos com o sensor construído (pontos circulares) se ajustaram bem à curva teórica, indicando que a montagem do sensor Hall proposta pode ser usada de forma eficiente em diferentes experimentos que envolvam a detecção de campos magnéticos.

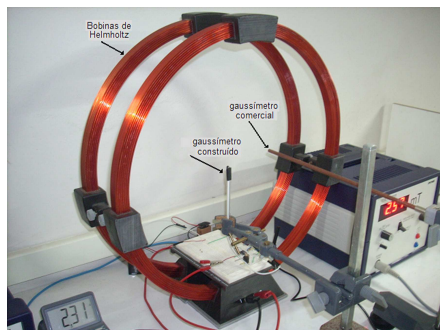


Figura 7 - Montagem experimental de um par de bobinas circulares para medida do campo magnético em função da corrente, usando-se um gaussímetro comercial e o sensor construído.

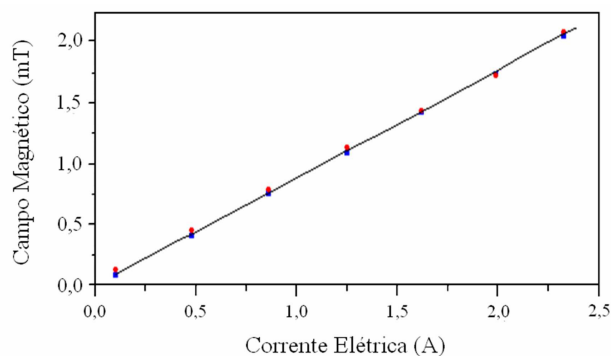


Figura 8 - Medida do campo magnético de um par de bobinas circulares em função da corrente. Os pontos foram obtidos através das medidas com o gaussímetro comercial (quadrados) e com o sensor construído (círculos). A curva sólida é a previsão teórica.

## 6. Conclusões

Como conclusão, apresentamos um sistema de baixo custo para medir campos magnéticos, usando um sensor de efeito Hall de um antigo leitor de disquete de computador. Calibramos e utilizamos o sensor construído no mapeamento do campo magnético gerado por uma bobina de Helmholtz. O aparato proposto abre novas possibilidades de aplicação em laboratórios didáticos de ensino de física.

## Referências

- [1] F. Marineli e J.L.A.Pacca, Revista Brasileira de Ensino de Física **28**, 497 (2006).
- [2] J. Carrascosa, D. Gil Pérez e A. Vilches, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **23**, 157 (2006).
- [3] M-G Seré, S.D. Coelho e A.D. Nunes, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **20**, 30 (2003).
- [4] J.B. Rocha Filho, M. Salami, C. Galli, M.K. Ferreira, T.S. Motta e R.C. Costa, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **22**, 400 (2005).
- [5] M.P. Souza Filho, J.P.M.C. Chaib, J.J. Caluzi e A.K.T. Assis, Revista Brasileira de Ensino de Física **29**, 605 (2007).
- [6] E. Montarroyos e W. C. Magno, Revista Brasileira de Ensino de Física **23**, 57 (2001).
- [7] J.R. Pimentel, F.D. Saad, P.Yamamura e C.H. Furukawa, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **21**, 401 (2004).
- [8] J.R. Pimentel, F.D. Saad, P.Yamamura e C.H. Furukawa, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **21**, 401 (2004).
- [9] A.G. Paula e D.M. Vianna, Física na Escola **8**(1), 35 (2007).
- [10] A.L. Bender, D.R. Sbardelotto e W.C. Magno, Revista Brasileira de Ensino de Física **26**, 401 (2004).
- [11] A.T. Borges, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **21**, 9 (2004), edição especial.

- [12] F. Laudares, M.C.S.M. Lopes e F.A.O. Cruz, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 233 (2004).
- [13] Datasheet do sensor de efeito Hall dual channel, [http://www.allegromicro.com/en/Products/Part\\_Numbers/3423/3423.pdf](http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/3423/3423.pdf), acesso em 4/2/2010.
- [14] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física, Volume 3* (LTC, São Paulo, 2001), sexta edição.
- [15] F.M. Mims, *Engineer's Mini-Notebook. Magnet and Magnet Sensor Projects* (Radio Shack, 1998), primeira edição (1998).
- [16] P. Horowitz e W. Hill, *The Art of Electronics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1989), second edition.
- [17] Oximag Produtos Magnéticos, <http://www.oximag.com>, acesso em 4/2/2010.
- [18] R. Robert, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 40 (2003).
- [19] J.R. Reitz, F.J. Milford e R.W. Christy, *Fundamentos da Teoria Eletromagnética* (Academic Campus, Nova York, 1991), primeira edição.