



## DESENVOLVIMENTO DE UM KIT EXPERIMENTAL PARA INVESTIGAÇÃO DO EFEITO HALL EM METAIS E SEMICONDUTORES

Esdras Garcia Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Coordenador: Pesquisador do IFMG, Campus Betim; esdras.alves@ifmg.edu.br

### RESUMO

Embora haja grande debate sobre como devem ser realizadas as atividades experimentais no ensino das ciências naturais, há certo consenso entre pesquisadores, professores e estudantes de que elas contribuem de forma positiva para a aprendizagem. Contudo, a realização de atividades experimentais nas escolas demanda equipamentos específicos que nem sempre estão presentes. Um dos motivos para essa ausência é o alto custo dos experimentos, principalmente quando relacionados a fenômenos que dizem respeito ao comportamento da matéria em nível atômico. Esse é o caso do efeito Hall, que pode permitir investigações acerca do tipo, quantidade e mobilidade de portadores de carga em um material sólido. O efeito Hall é um dos tópicos comumente estudados nos cursos de Eletromagnetismo do Ensino Superior, pois resulta da atuação da força magnética sobre os portadores de carga em um material que conduz uma corrente. Considerando, por um lado, a importância de oferecer aos estudantes a possibilidade de realizar uma atividade didática, experimental, que envolva a investigação do efeito Hall, e por outro, o alto custo desse tipo de experimento comercializado por empresas do ramo de materiais para laboratório, propusemos a realização deste projeto, que teve por objetivo o desenvolvimento de um kit experimental para o estudo do efeito Hall. A expectativa era obter um kit de baixo custo, construído a partir de materiais simples, que pudesse ser reproduzido por outras instituições. Os resultados, no entanto, não foram satisfatórios. Não conseguimos efetuar medições confiáveis do fenômeno usando as amostras produzidas.

### INTRODUÇÃO

O efeito Hall é um importante fenômeno que tem aplicações práticas na pesquisa básica e na tecnologia. Ele é empregado em sensores para a medição da rotação de motores, do fluxo de líquidos e gases com base em rotores de material ferromagnético, de correntes elétricas intensas, dentre outros exemplos. Em relação à pesquisa básica, Rhoderick (2000) apresenta o efeito Hall como uma importante ferramenta para a caracterização das propriedades elétricas de metais e semicondutores, pois permite a identificação dos portadores majoritários de carga nesses materiais, além da determinação da concentração e da mobilidade de tais portadores (Rhoderick, 2000; Eisberg; Resnick, 1979).

Tal fenômeno diz respeito ao surgimento de uma tensão elétrica em uma direção perpendicular à de circulação de uma corrente elétrica por um condutor, ou semicondutor, que esteja submetido a um campo magnético. A Figura 1 representa um pedaço de material sólido, que poderia ser um metal ou um semicondutor, pelo qual flui uma corrente elétrica  $I$ . Se esse material for submetido a um campo magnético de módulo  $B$ , perpendicular à direção da corrente, cada portador de carga, devido

à sua velocidade de deslocamento pelo material, sofrerá a ação de uma força magnética. O resultado da ação dessa força é o acúmulo das cargas negativas em uma região do material (que ficará negativa), e a falta delas na outra (que ficará positiva). Essa movimentação das cargas resulta em uma diferença de potencial, denominada tensão Hall ( $V_H$ ), que pode ser medida por um voltímetro conectado perpendicularmente à direção de propagação da corrente. Se o material possui uma espessura  $d$ , a tensão hall  $V_H$  pode ser obtida por meio da equação (1), em que  $n$  é o número de portadores de carga por unidade de volume do material, e  $q$  a carga desses portadores (que podem ser elétrons ou buracos).

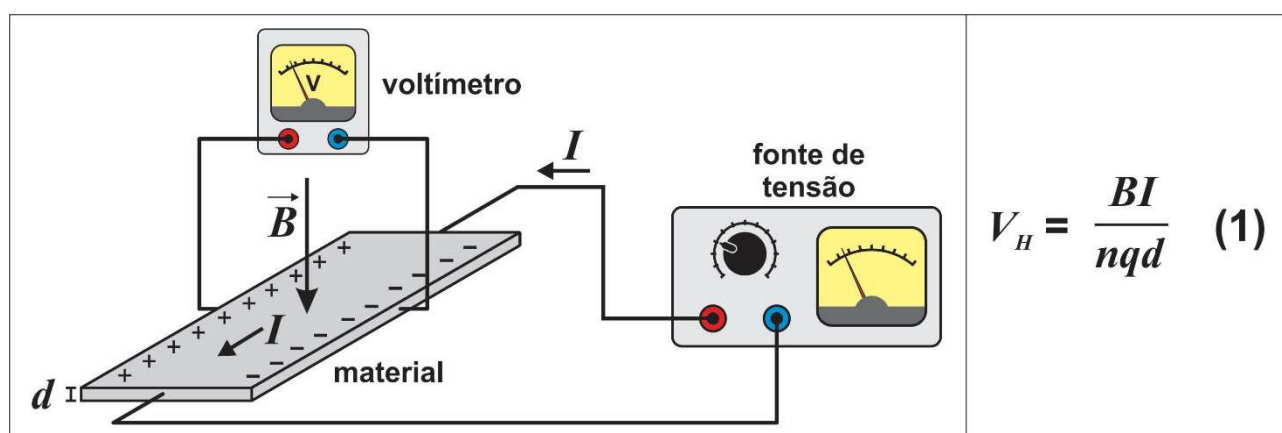


Figura 1 – Diagrama representando a ocorrência do efeito Hall em um material sólido.

Por sua importância, o efeito Hall figura entre os tópicos comumente abordados nos cursos de Eletromagnetismo para o Ensino Superior. Na época em que lecionávamos a disciplina Física experimental – Eletromagnetismo, no curso de Licenciatura em Física do IFMG-campus Congonhas, sentíamos a necessidade de oferecer aos estudantes, também, a possibilidade de lidar experimentalmente com esse fenômeno. O problema é que os kits experimentais para o estudo do efeito Hall, comercializados pelas empresas especializadas, possuem um custo altíssimo. Nas pesquisas que realizamos para a fundamentação deste projeto, realizamos uma busca por kits experimentais destinados a investigações sobre o efeito Hall na internet. Não encontramos opções entre as empresas brasileiras e, nas internacionais, considerando os preços em dólar, o custo variava entre dez e vinte mil reais.

A partir dessas constatações, propusemos a realização de um projeto de pesquisa com o objetivo de desenvolver um kit experimental, didático, de baixo custo, que permitisse aos estudantes verificar, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, o efeito Hall em metais e semicondutores.

## METODOLOGIA

Posto de modo simples, um experimento para medir o efeito Hall consiste em colocar uma amostra, percorrida por corrente elétrica, em uma região com um campo magnético. Boa parte dos equipamentos destinados ao estudo do efeito Hall, comercializados por empresas do ramo de materiais para laboratório, utiliza eletroímãs para a produção do campo magnético com o qual a

amostra interage, o que torna o custo do experimento muito alto. Inspirados no trabalho de Baccino, Falcón e Trinidad (2018), produzimos um suporte com ímãs neodímio para esta finalidade (Figura 2). Os ímãs são fixados nas pontas de dois parafusos, que estão inseridos em porcas presas em uma estrutura em forma de U, feita em alumínio, com dimensões de 150x105x50 mm. Os ímãs de neodímio, com diâmetro de 30 mm e comprimento de 20 mm, produzem um campo intenso e aproximadamente uniforme na região entre eles. Ao girar os parafusos mostrados na Figura 2, os ímãs podem ser aproximados ou afastados, produzindo um campo magnético maior ou menor na região entre eles.



Figura 2 – Suporte construído para a produção de um campo magnético variável entre os ímãs.

Foram confeccionadas diversas amostras, sendo várias delas de materiais metálicos distintos (cobre, latão, zinco, bismuto e alumínio) e algumas de material semicondutor. As amostras de cobre e latão foram produzidas a partir de chapas metálicas de 0,10 mm de espessura, compradas em lojas que comercializam metais. As amostras de zinco foram produzidas a partir do eletrodo negativo de pilhas secas e, as de alumínio, com folhas metálicas bem finas utilizadas em gráficas para impressão *off-set*.

As amostras de bismuto foram confeccionadas a partir de um pequeno bloco deste metal que adquirimos em uma loja *on-line*. Derretemos o bloco na chama de um fogão e deixamos as gotas caírem no chão liso. Com a colisão, as gotas se tornaram placas de espessura bem fina (Baccino, Falcón e Trinidad, 2018), que depois foram cortadas em pedaços quadrados de 10x10 mm. Por fim, as amostras de material semicondutor foram produzidas a partir de um pedaço de *wafer* semicondutor utilizado na fabricação de circuitos integrados. Utilizando um cortador de vidro, cortamos pequenos pedaços de 10x10 cm do *wafer* para produzir as amostras

Para a realização das medidas do efeito Hall as amostras foram fixadas em placas porta-amostras, produzidas com placas de fenolite, usadas na confecção de circuitos impressos. As amostras de cobre, zinco e latão foram soldadas diretamente à porta-amostra com solda chumbo/estanho. As amostras de semicondutor, bismuto e alumínio, que não se ligam à solda chumbo/estanho, receberam fios de cobre colados por meio de tinta prata. Em seguida, foram coladas, com cola epóxi, a pequenos discos plásticos para maior resistência mecânica. Por fim, os fios foram soldados aos contatos da porta-amostra. A Figura 3 mostra amostras de latão e semicondutor fixadas à porta-amostra.

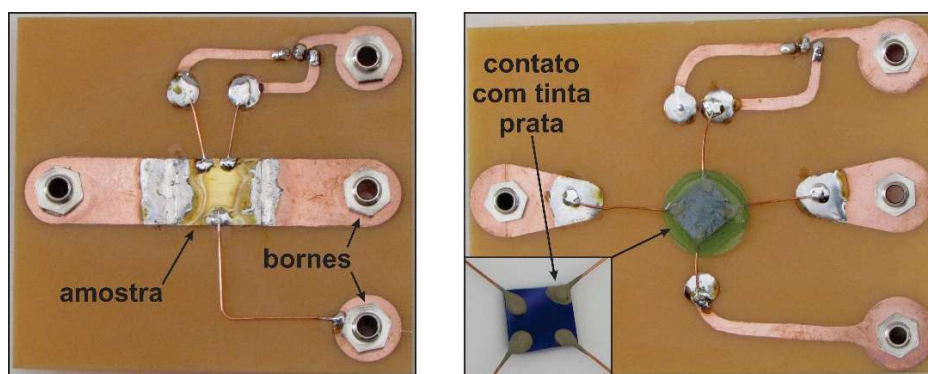


Figura 3 – À esquerda, placa com amostra de latão e, à direita, com semiconductor. Os bornes nas placas se destinam à conexão da fonte de corrente e do voltímetro à amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 mostra o aparato experimental utilizado nos testes. A amostra, presa em um suporte universal, é conectada a uma fonte de tensão, que estabelece a corrente através dela, e a um voltímetro, que mede a tensão Hall. Como a tensão Hall é muito pequena, o voltímetro é conectado à amostra através de um amplificador. Em seguida, a amostra é inserida no meio dos ímãs de neodímio e verificamos se há alguma modificação em seu valor.



Figura 4 – Realização da medição da tensão Hall na amostra de semiconductor.

Os resultados obtidos com a medição da tensão Hall utilizando os equipamentos e a metodologia proposta não se mostraram satisfatórios. Em nossa avaliação, tanto o amplificador quanto o uso da tinta condutiva de prata não se mostraram adequados aos nossos propósitos.

A tensão Hall em metais é da ordem de microvolts, motivo pelo qual não é possível medi-la com um multímetro comum. Utilizamos tanto um amplificador de baixo custo, adquirido em lojas *on-line*,



quanto um amplificador de um kit experimental de física da empresa Mekruphy. Nos dois casos, as medições apresentavam grandes oscilações, de modo que não era possível atribuir, com confiança, a variação da tensão medida à presença ou não do campo magnético.

Quanto ao uso da tinta condutiva de prata, dois problemas foram identificados. Ela tem uma capacidade muito limitada de condução de corrente. No caso dos metais, que requerem correntes muito altas, ocorria a destruição do contato pelo aquecimento. Por outro lado, no semicondutor, o problema que ficou mais evidente foi a grande variação da resistência elétrica do contato. Ao medir a resistência entre os diferentes fios da amostra, identificamos variações maiores que  $1000 \Omega$ . É possível que óxidos sobre a amostra do semicondutor possam impedir o estabelecimento de um bom contato elétrico com a tinta.

## CONCLUSÕES

O objetivo do projeto era desenvolver um experimento didático, de baixo custo, que permitisse a medição da tensão Hall em metais e semicondutores. Tal experimento seria de grande utilidade em aulas de física onde se desejasse demonstrar, experimentalmente, o surgimento de uma tensão Hall em uma amostra que transporta uma corrente, quando ela fosse submetida a um campo magnético.

Conforme relatamos ao longo deste texto, não conseguimos obter medições seguras que nos permitissem associar a tensão medida com a presença do campo magnético. Durante todas as medições realizadas, foram observadas flutuações da tensão. Mesmo utilizando estratégias como inserir o amplificador em uma caixa metálica para evitar interferências, ou utilizando um amplificador de uma empresa comercial, não conseguimos obter medidas confiáveis. Conseguimos diminuir as oscilações dos valores da tensão, mas sem sucesso em medir valores que nos permitissem afirmar, com segurança, que a variação da tensão medida se devia à presença do campo magnético.

Outra fonte de limitações foi o estabelecimento do contato elétrico entre a amostra e os medidores no caso de materiais que não podem ser soldados aos contatos. Em particular, tínhamos boas expectativas com o uso da amostra de semicondutor, pois o efeito Hall nesses materiais é cerca de mil vezes maior que nos metais, o que a tornaria mais fácil de ser medida. Porém, a dificuldade em estabelecer um contato elétrico de boa qualidade tornou impraticável o uso da tinta condutiva. No caso do semicondutor, podem ser usadas técnicas de deposição metálica em vácuo para a produção de um contato metálico, porém, isto tornaria inviável a produção de um kit de baixo custo.

## REFERÊNCIAS

BACCINO, D.; FALCÓN, S.; TRINIDAD, G. Una actividad experimental fundamental sobre efecto Hall. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e4309+5, 2018.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 14. Tiragem. Trad. P. C. Ribeiro, E. F. Silveira e M. F. Barroso. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

RHODERICK, E. The Hall effect - an important diagnostic tool. **III-Vs Review**, v. 13, n. 3, p. 46-51, 2000.