



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

VALDIÉLIO JOAQUIM MENEZES MELO DA SILVA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)
SOBRE O EFEITO HALL**

**Campina Grande
2018**

VALDIÉLIO JOAQUIM MENEZES MELO DA SILVA

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)
SOBRE O EFEITO HALL**

Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física para a obtenção do título de Mestre em ensino de Física.

Orientador: Everton Cavalcante
Coorientadora: Ana Paula Bispo da Silva

Campina Grande
2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586u Silva, Valdiélio Joaquim Menezes Melo da.
Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)
sobre o efeito Hall [manuscrito] : / Valdiélio Joaquim Menezes
Melo da Silva. - 2018.
114 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Everton Cavalcante, Departamento de Física - CCT."

"Coorientação: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física - CCT."

1. Aprendizagem significativa. 2. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS. 3. Eletromagnetismo. 4. Ferramenta educacional.

21. ed. CDD 530.7

VALDIÉLIO JOAQUIM MENEZES MELO DA SILVA

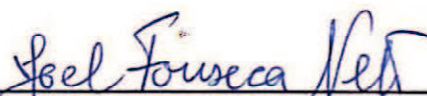
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)
SOBRE O EFEITO HALL

Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao
Programa de Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física para a obtenção do título de
Mestre em ensino de Física.

Orientador: Everton Cavalcante
Coorientadora: Ana Paula Bispo da Silva

Aprovada em: 06 / 04 / 18.

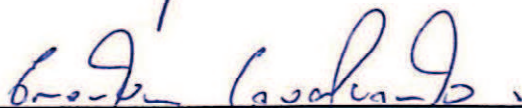
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. JOEL BATISTA DA FONSECA NETO
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. JOSÉ JAMILTON RODRIGUES DOS SANTOS
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. EVERTON CAVALCANTE (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedicatória

Ao meu grandioso Deus, por todas as oportunidades e bênçãos com que presenteia a minha vida. À minha amada mãe, Antonia Menezes, por insistir na minha educação; por seu amor e cuidado incondicionais, determinantes em todas as minhas vitórias. Ao meu pai, Francisco de Assis, pela batalha diária por nossa família. À minha esposa, Andressa, companheira de todas as horas, que me presenteou com uma nova vida e a meus tesouros mais preciosos: minhas filhas Larissa e Alice.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de um trabalho como este, só é possível com o empenho de várias outras pessoas. Enquanto estudamos, pesquisamos, lemos e escrevemos para realizar esse objetivo, nossas famílias, parentes, amigos e professores preenchem os espaços deixados por nós enquanto estamos imersos, temporariamente, neste universo acadêmico. Gostaria, então, de expressar minha gratidão por todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a construção desta obra. Ao meu amigo e orientador Everton Cavalcante, por toda paciência, apoio, orientações e recomendações frequentes, fundamentais para a construção desse trabalho. À coorientadora Ana Paula Bispo, que no momento mais crítico da pesquisa deu valiosíssimas contribuições, indicando várias referências históricas sobre o efeito Hall, o que norteou todo o desenvolvimento. Ao excelente corpo docente do Mestrado Nacional em Ensino de Física – Campina Grande: Alessandro Frederico da Silveira, Ana Paula Bispo da Silva (coorientadora), Ana Raquel Pereira de Ataíde, Edvaldo de Oliveira Alves (Mará), Everton Cavalcante (orientador), Ivonete Batista dos Santos, José Jamilton Rodrigues dos Santos, Marcelo Gomes Germano, Marcelo Vieira da Silva, Morgana Ligia de Farias Freire e Pedro Carlos de Assis Junior. Certo de que todos os discentes, os quais tiveram a oportunidade de estudar com esses professores, obtiveram crescimento profissional e humano. A Sociedade Brasileira de Física por oferecer esta oportunidade de aperfeiçoamento profissional e a CAPES pelo apoio que dá a esse projeto.

A minha família: minha esposa – Andressa – pelo amor, pela compreensão, pela parceria, por entender minha ausência e, mesmo assim, dar conta da rotina da casa e de nossas filhas, como também pelas ajudas na revisão gramatical deste texto; as minhas filhas - Alice e Larissa - que são alegrias diárias, meu combustível emocional, minhas motivações para ser cada vez mais um humano melhor. A minha mãe, meu pai e meus irmãos pela constante atenção com os meus trabalhos e pelo apoio emocional que sempre nos uniu. As minhas sobrinhas - Ohanna e Virnna - que me reensinaram o significado de perseverança; aos meus queridos sobrinhos Augusto Henrique, Arthur Henrique, Maria Antonia e Ingrid Vitória pelo afeto. A todos vocês, a minha gratidão por conquistar mais um objetivo de vida.

"Ninguém educa ninguém, ninguém se educa a si mesmo, os homens se educam entre si, **mediatizados** pelo **mundo**."
(FREIRE, 1981)

RESUMO

As buscas por um ensino eficaz, que dê possibilidades de o aluno pensar, interagir ou modificar o meio onde vive é constante. Os debates entre as diversas áreas como a pedagogia, psicologia, neurociência, sociologia entre outras, são constantes nesse aspecto. Em um mundo globalizado onde as informações estão disponíveis de forma muito mais fácil e rápida, onde fatos e acontecimentos inundam nossas mídias quase em tempo real, a educação precisa estar atualizada, a par das novas tecnologias de informação e comunicação e procurar associá-las a técnicas de ensino que possam produzir no aluno as condições necessárias para manipular estas ferramentas de forma eficaz nos seus planos de trabalho e tomadas de decisões. Diante do exposto, objetivamos nesse trabalho, a construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que discute o efeito Hall, conteúdo que embora seja uma aplicação direta de tópicos de eletromagnetismo já contemplados nos cursos normais de ensino médio, não é apresentado como contextualização do cotidiano do aluno. Baseada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a UEPS está apoiada nos conhecimentos prévios de cada orientando, ponto de partida para o aprendizado dos novos conceitos. Além disso, os princípios, ideias e estratégias apontadas pelo professor Marco Antonio Moreira no seu trabalho sobre a Aprendizagem Significativa Crítica, norteiam e complementam a sequência didática sobre o efeito Hall. Suas propostas de intervenções e estratégias, apresentam potencial de facilitadoras da aprendizagem. Ademais, incorporamos à UEPS a utilização de um simulador deste efeito desenvolvido no programa Modellus, buscando, assim, permite aos alunos interagirem entre si e investigarem as relações existentes entre as grandezas Físicas envolvidas no fenômeno. Assim, neste trabalho, apresentamos uma proposta de intervenção didática que busca utilizar o universo vivencial do aluno e, a partir dele, apresentar novos conhecimentos que façam sentido no seu dia a dia e que o permitam interpretar de forma consciente, o mundo que o rodeia.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa, UEPS, Efeito Hall, Simulador.

ABSTRACT

The searches for an effective teaching, which gives the students possibilities to think, interact or modify the environment where they live are constant. The debates between the different areas like pedagogy, psychology, neuroscience, sociology between others, are endless in this aspect. In a globalized world where information is easily and quickly available, where facts and events overload our media almost in real time, education needs to be update with new information and communication technologies and search associate them with teaching techniques that can produce in the students the necessary conditions to manipulate these tools effectively in their plans of work and decision making. In view of the above, the objective of this work is the construction of a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) on the Hall effect, a content that is a direct application of electromagnetism topics already contemplated in normal high school courses. contextualization of the students daily life. Based on the memory of Ausubel's meaningful learning, a UEPS is supported by the prior knowledge of each orienting, starting point for the learning of the new concepts. In addition, the principles, ideas and strategies pointed out by Professor Marco Antonio Moreira in his work on Critical Significant Learning, north and complement the didactic sequence on the Hall effect. Their ideas for interventions and strategies, and the potential of learning facilitators.

In addition, we incorporate to the UEPS an application of a simulator of this program developed without Modellus program, this way, it allows the students to interact among themselves and to investigate as relations between the Physical greats involved in the phenomenon. Therefore, in this work, we present a didactic intervention idea that searches the universe of the students experience, from them, to present new knowledge that makes their day-to-day and allow them to interpret in a conscious way, the world that surrounds them.

Key words: Significant learning, UEPS, Hall Effect, Simulator.

RELAÇÃO DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema do modelo de Ausubel de diferenciação conceitual progressiva.	20
Figura 2: Interface do programa Modellus preparado com o simulador de efeito Hall	29
Figura 3: Modelo matemático para simulação do experimental de Hall	30
Figura 4: Configuração experimental de Thomson.	31
Figura 5: Representação do experimento de Hall.	34
Figura 6: Imagem do experimento utilizado por Rowland e Hall	35
Figura 7: Esquema do experimento idealizado por Rowland	36
Figura 8: Montagem do experimento utilizado por Hall	37
Figura 9: Representação do experimento utilizado por Hall	37
Figura 10: Medições realizadas por Hall	40
Figura 11: Medições realizadas por Hall	42
Figura 12: Primeiro dispositivo baseado no efeito Hall.	43
Figura 13: Circuito simples com condutor de Resistência R, com portadores de carga positivos.	45
Figura 14: (A) Aplicação do campo magnético \vec{B} perpendicular à largura do condutor e penetrando no plano da figura. (B) Regra da mão direita utilizada para a obtenção da direção e sentido da força magnética \vec{F}_M	46
Figura 15: Acúmulo de cargas nas bordas da tira condutora para portadores de carga positivos.	46
Figura 16: Circuito simples com condutor de Resistência R, com portadores de carga negativos.	47
Figura 17: Aplicação do campo magnético \vec{B} provoca o desvio dos portadores de carga negativos para a parte superior da tira condutora.	47
Figura 18: Acúmulo de cargas nas bordas da tira condutora para portadores de carga negativos.	48
Figura 19: Medindo a diferença de potencial entre as bordas da tira condutora Hall encontrou um valor diferente de zero.	48
Figura 20: No decorrer do tempo a força magnética que age em cada elétron é equilibrada pela força elétrica de Hall.	49

Figura 21: Sensor de rotação baseado no efeito Hall.....	51
Figura 22: Sensor de corrente elétrica.	53
Figura 23: Divisão dos grupos.....	61
Figura 24: Discussão das respostas apresentadas	62
Figura 25: Representação do experimento utilizado por Hall	64
Figura 26: Apresentação do simulador de efeito Hall	67
Figura 27: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos	69
Figura 28: Gráfico apresentado pelo grupo I	70
Figura 29: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos	71
Figura 31: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos	73
Figura 32: Gráfico apresentado pelo grupo 3	74
Figura 33: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos.....	75
Figura 35: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos.....	77
Figura 37: representação do efeito Hall.....	79
Figura 38: Desenho de chip utilizado em sensores de efeito Hall.....	80
Figura 39: representação de um sistema de controle de velocidade	81
Figura 40: Variação de tensão apresentada em um sensor de efeito Hall.....	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1. Aspectos da teoria da aprendizagem significativa	16
2.2. Aprendizagem significativa crítica de Moreira	21
2.3. Unidades De Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).....	23
2.4. Utilização do Modellus no apoio à aprendizagem significativa	25
3. EFEITO HALL.....	31
3.1. Histórico	31
3.2. Representação do efeito Hall nos livros didáticos	45
3.3. Aplicações do efeito Hall	50
4. CONSTRUÇÃO DA UEPS.....	54
5. RELATO DE EXPERIÊNCIA.....	57
5.1. Introdução	57
5.2. Relatório das pesquisas bibliográficas	58
5.3. Aplicação da UEPS.....	60
6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO.....	83
7. REFERÊNCIAS.....	85
8. PRODUTO EDUCACIONAL – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre o efeito Hall.....	89

1. INTRODUÇÃO

Com as transformações existentes no cenário global e as necessidades que dele partem, as buscas por novas formas de aprender no âmbito escolar tem sido alvo de constantes debates nos meios acadêmicos. Sobretudo, quando se parte da proposta tradicional a qual se resignificou, ao longo do tempo, com paradigmas inovadores de se fazer pedagogia. Nesse aspecto, Gadotti (2000) aponta que a educação era:

Enraizada na sociedade de classes escravista da Idade Antiga, destinada a uma pequena minoria, a educação tradicional iniciou seu declínio já no movimento renascentista, mas ela sobrevive até hoje, apesar da extensão média da escolaridade trazida pela educação burguesa. A educação nova, que surge de forma mais clara a partir da obra de Rousseau, desenvolveu-se nesses últimos dois séculos e trouxe consigo numerosas conquistas, sobretudo no campo das ciências da educação e das metodologias de ensino. O conceito de “aprender fazendo” de John Dewey e as técnicas Freinet, por exemplo, são aquisições definitivas na história da pedagogia. (GADOTTI, 2000, p.4)

Sendo assim, percebe-se que as teorias as quais embasaram o fazer pedagógico tradicional foram repensadas, a partir do momento que o êxito da aprendizagem era insuficiente, contraditória e excludente. Um das hipóteses era que o fracasso escolar se dava, também, porque o conhecimento era centrado somente na figura do professor, proposta que se vê criticada negativamente no atual panorama educativo.

Além do mais, não se levava em consideração o saber advindo do aprendente, como também não havia uma proposta de ensino que vislumbrasse o contexto no qual o aluno estava inserido. Havia um distanciamento do universo escolar e do social, entre outras formas mecânicas existentes de tratar o processo de aprendizagem.

Nessa perspectiva, Freire (2005) aponta para uma concepção bancária de adquirir conhecimento cuja educação se faz com o ato de depositar, de transferir, de transmitir valores e conhecimentos. Já na perspectiva de Morin (2011), há um contraponto no que tange à teoria da complexidade com relação ao conhecimento, quando se vê que:

[...] o conhecimento pertinente é o que é capaz de situar qualquer informação em seu contexto e, se possível, no conjunto em que está

inscrita. Podemos dizer até que o conhecimento progride não tanto por sofisticação, formalização e abstração, mas principalmente pela capacidade de contextualizar e englobar. [...] (MORIN, 2011, p.15)

Dada a realidade outrora existente, os novos fazeres pedagógicos buscam, nos dias hodiernos, outras perspectivas de aprendizagem, ao levar em consideração, por exemplo, os saberes pré-existentes advindos do educando, bem como o seu contexto, para, a partir daí, (des)construir novos conhecimentos. Tal perspectiva é consoante com o ideal freireano, quando trata do conhecimento prévio (*a priori*) do educando como ponto de partida para desenvolver a aprendizagem.

Não buscamos aqui constatar a precisão de que o educando demonstre aprendizagem significativa ainda na educação básica, mas como ela se torna um método eficaz para o professor e para que o discente tenha noção de validar seu conhecimento na sua vida adulta ao fazer conexões, *insights*, reflexões, a partir do que foi utilizado como conteúdo programático no universo escolar.

Essa transição de paradigmas educacionais é revelada no atual contexto pós-moderno, principalmente, quando se observa o cenário tecnológico inserido no espaço educativo como uma outra ferramenta possível de apoio para aprendizagem, a qual parte da realidade do aluno para dialogar com a vivência dele em sala de aula. A partir da tecnologia que assiste o aluno e o educador, nessa sociedade da informação, é possível tornar a aprendizagem significativa, mediatizada também pelos meios digitais como aplicativos, vídeos, slides, hipertextos e o uso de simuladores.

A busca por uma abordagem que procura a interação entre as diversas áreas do conhecimento, interação sociotecnológica e a valorização dos saberes prévios de cada indivíduo devem ser priorizadas para que, no processo de aquisição do saber, a aprendizagem significativa possa ser alcançada. Segundo Paiva (2012),

Em pouco mais de uma década a nossa relação com o mundo social e natural mudou radicalmente, de maneira que as experiências sociotécnicas fazem parte das nossas mediações (e interações) fundamentais com a chamada “realidade objetiva”. Do presencial ao virtual (e vice-versa) estamos tecnológica e sensorialmente interligados através de ambientes gerados por meios digitais como o chat, o blog, o MSN, o Facebook, o Twitter e o YouTube, que teletransportam os corações e mentes para outra dimensão da experiência individual e coletiva. (p. 150)

Por isso que o modelo de um projeto de ensino baseado na realidade do aluno e nos conflitos sociais nos quais ele está inserido, pode definir um parâmetro

educacional que o torne um sujeito crítico perante os desafios, de perceber a natureza como o meio que se associa à sua existência e desenvolver nesse aprendiz, a capacidade de exercer, efetivamente, sua cidadania, a partir do que se pretende ao discutir física no ensino médio.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+):

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, a introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. (BRASIL, 2002, p.2.)

É evidente que o ensino tradicional há muito tempo praticado no Brasil, principalmente ao ensinar a área de conhecimento das ciências da natureza e suas tecnologias, precisa ser repensado para que possa promover o acesso a uma aprendizagem significativa, que fomente a “construção de uma visão de mundo mais articulada e menos fragmentada, contribuindo para que o indivíduo se veja como participante de um mundo em constante transformação” (Brasil, 1998, p.32). Para que isso aconteça, os profissionais da educação devem perceber a necessidade de ações e atividades de ensino bem planejadas e articuladas com o mundo vivenciado pelo educando.

A prática pedagógica no ensino de Física tem-se mostrado aos estudantes como uma ciência que se impõe apenas através de expressões matemáticas ou leis, na maioria das vezes descontextualizada do universo dos alunos. A abstração é uma das ferramentas mais utilizadas nesse modo de ensinar em conjunto com a solução de exercícios.

Assim, na busca por trazer outros caminhos para efetivar a aprendizagem na vida do educando, esse trabalho se desenvolveu utilizando como suporte a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) desenvolvida por Moreira (2010) e a perspectiva de David Ausubel no que concerne à teoria da aprendizagem significativa.

As UEPS são construídas a partir de diversos princípios e seguem vários aspectos da estrutura cognitiva do aluno. Sua filosofia é a de que o ensino é o meio

e a aprendizagem significativa é o fim e os materiais de ensino que buscam essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos (MOREIRA, 2011).

Em conjunto com a UEPS, foi construído um simulador sobre o Efeito Hall clássico no aplicativo Modellus desenvolvido pelo grupo do Prof. Vitor Duarte Teodoro da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O experimento virtual apresenta várias vantagens, quando os fenômenos não podem ser observados facilmente. Segundo Tavares (1990), é de grande importância para que a percepção do aluno seja potencializada visto que um simulador pode incorporar simultaneamente diversas mídias: escrita, visual e sonora. Dorneles (2010, p.49-50) aponta que a aplicação de atividades de modelagem podem exercer uma influência positiva na predisposição do indivíduo em aprender física.

Desse modo, a sinergia de interação pedagógica entre professor-aluno pode aumentar, como também o interesse do próprio aluno em ter outras ferramentas atraentes para serem utilizadas na construção do seu conhecimento.

Além disso, os alunos podem trabalhar um experimento com muitas variáveis utilizando um intervalo de tempo bem menor que nos laboratórios convencionais. Ao modificar os valores das grandezas envolvidas em um fenômeno, os alunos podem observar o comportamento dos eventos e, relacionando as novas descobertas aos seus conhecimentos prévios, apresentarem hipóteses e conclusões, como afirma Moreira (2013),

[...] os experimentos virtuais podem motivar os alunos a contribuírem para o desenvolvimento de competências científicas:

- os alunos podem modificar características de modelos científicos;
- podem criar modelos computacionais;
- podem fazer experimentos sobre fenômenos não-observáveis diretamente.
- criar ambientes online que usem dados individuais armazenados de estudantes, para guiá-los em experimentos virtuais apropriados para seus conhecimentos prévios e seus estágios de desenvolvimento cognitivo.

O PCN+ (2002) orienta que, o desenvolvimento dos fenômenos elétricos e magnéticos pode ser dirigido para a compreensão dos equipamentos elétricos que se fazem presentes no nosso cotidiano, fornecendo competências para utilizá-los, dimensioná-los ou analisar condições de sua utilização. Além disso, o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), nas Matrizes

de Referência do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), as competências 1 e 6 de Ciências da Natureza e suas tecnologias reforçam a necessidade da contextualização dos conteúdos de eletromagnetismo na vida do indivíduo.

Diante do exposto, o desenvolvimento do presente trabalho se alicerça no seguinte questionamento: Como o efeito Hall pode ser contemplado no ensino básico em uma perspectiva de aprendizagem significativa, utilizando-se o software Modellus?

Na busca por responder ao questionamento posto, foi desenvolvida e aplicada a UEPS sobre o fenômeno eletromagnético integrado ao simulador do Efeito Hall desenvolvido no programa Modellus, no ensino básico do 3º ano do curso integrado do Instituto Federal da Paraíba – Campus Monteiro, em uma perspectiva de aprendizagem significativa.

No capítulo 2 desse trabalho é discutida a aprendizagem significativa na perspectiva de David Ausubel, Joseph Novak e Marco Antonio Moreira e sua relação com as orientações propostas pelos PCNs. No mesmo texto, será previsto como a utilização das tecnologias de informação e comunicação (TIC), a exemplo do software Modellus, pode sustentar a construção das UEPS.

No capítulo 3, o efeito Hall foi tratado com o trabalho original de Edwin Hall para uma melhor contextualização histórica sobre suas observações da corrente elétrica induzida. Partimos dos requisitos básicos de eletromagnetismo e deduzimos os resultados para o efeito Hall.

No capítulo 4 é apresentado como cada um dos passos sugeridos por Moreira na construção da UEPS foi desenvolvido na proposta da conexão da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e o efeito hall do eletromagnetismo através da plataforma Modellus.

O relato da experiência da aplicação da UEPS com os alunos do 3º ano do Ensino médio integrado é feita no capítulo 5 onde são apontadas as ações realizadas em sala, as discussões e respostas colocadas pelos discentes e as dificuldades percebidas durante implementação deste produto educacional. Em seguida, no capítulo 6, são feitas as considerações finais sobre este trabalho e colocadas alguns aspectos que nortearam seu desenvolvimento. A proposta da UEPS, produto educacional motivador deste trabalho, é apresentado como apêndice no capítulo 8.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aspectos da teoria da aprendizagem significativa

Neste capítulo apresentaremos os pressupostos principais da teoria da aprendizagem significativa que serve como base para a elaboração de uma UEPS. Considerando que nosso produto também utiliza as TIC, traremos alguns exemplos da literatura que enfatizam como estas ferramentas podem contribuir para o ensino.

Os parâmetros curriculares nacionais (PCN) (Brasil, 1998) indicam que uma aprendizagem é potencialmente significativa quando as ações disponibilizadas aos alunos são convertidas em atitudes que estabelecem relações entre suas experiências de vida e o assunto que está aprendendo.

A teoria da aprendizagem significativa foi proposta por David Ausubel e está centralizada no fato de que o conhecimento prévio do aluno é a chave para a aprendizagem significativa. Surgiu como uma alternativa à visão comportamentalista¹ predominante na década de sessenta. (LEBOEUF e BATISTA, 2013, p.698).

Conforme Ausubel (1968),

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso seus ensinamentos. (p. 337)²

Assim, para Ausubel, a aprendizagem é um processo que envolve o intercâmbio das novas situações apresentadas com a estrutura cognitiva do aluno. O conhecimento prévio de cada indivíduo deve ser considerado como ponto de partida para a aquisição de um novo saber.

Paulo Freire (1996, p.34) afirma que:

Por isso mesmo pensar certo coloca ao professor ou, mais amplamente, à escola, o dever de não só respeitar os saberes com que os educandos, sobretudo os das classes populares, chegam a ela - saberes socialmente construídos na prática comunitária - mas também, como há mais de trinta anos venho sugerindo, discutir com

¹ No **comportamentalismo** a aprendizagem ocorre como uma mudança de comportamento. São estudadas as respostas dadas pelo sujeito aos estímulos fornecidos pelo ambiente externo, não levando em consideração o que ocorre em sua mente durante o processo de aprendizagem.

² No original: "If I had to reduce all of educational psychology to just a single principle, I would say this: Find out what the learner already knows and teach him accordingly."

os alunos a razão de ser de alguns desses saberes em relação com o ensino dos conteúdos.

Além disso, Novack (2000) destaca que a aprendizagem significativa requer: disposição para aprender, materiais potencialmente significativos e alguma informação relevante. O conhecimento humano é construído e a aprendizagem significativa subjaz essa construção onde o conhecimento prévio do aprendiz exerce grande influência sobre a aprendizagem significativa de novos conhecimentos.

De acordo com Moreira e Mansini (2009), o processo que envolve a aprendizagem significativa está apoiado nas experiências que cada um já possui. A aquisição do conhecimento e seu armazenamento ocorrem de forma hierárquica, organizada e se unem de acordo com as relações que existem entre elas.

Para Moreira (2012),

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela *interação* entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-litera*l e *não-arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (p.2)

A esses conhecimentos prévios Ausubel deu o nome de subsunçores ou ideias-âncora. Os subsunçores podem ter maior ou menor estabilidade cognitiva. Sendo o processo interativo, quando serve de ideia-âncora para um novo conhecimento ele próprio se modifica adquirindo novos significados, corroborando com significados já existentes (Moreira 2012).

Com a chegada de novas informações, o indivíduo pode absorver o conteúdo, apresentando assim uma aprendizagem mecânica pelo fato de conseguir apenas reproduzir o assunto de forma idêntica àquela que lhe foi apresentada. A estrutura da informação recebida não foi compreendida pela ausência de subsunçores. Os conhecimentos prévios aos quais às novas informações se ancorariam para apresentarem um sentido mais amplo.

Sendo o aprendizado significativo, o indivíduo consegue fazer as conexões do novo corpo de informações e das suas experiências vividas, podendo então construir significados pessoais para essas informações com potencial de transformá-las em novos conhecimentos (Tavares, 2008). O conhecimento adquirido fica retido em estruturas cognitivas do indivíduo que, a partir de então, adquire a capacidade de

utilizar estas novas informações em contextos diferentes daquele em que foram adquiridas.

Para Moreira (1982) a estrutura cognitiva significa uma composição hierárquica de conceitos, abstrações do indivíduo. O subsunçor vai progressivamente adquirindo outros significados e potencializando a aquisição e o desenvolvimento de novas informações.

Para Moreira (2010, p.3),

Esta forma de aprendizagem significativa, na qual uma nova ideia, um novo conceito, uma nova proposição, mais abrangente, passa a subordinar conhecimentos prévios é chamada de aprendizagem significativa superordenada. Não é muito comum; a maneira mais típica de aprender significativamente é a aprendizagem significativa subordinada, na qual um novo conhecimento adquire significado na ancoragem interativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante.

Vale destacar que, em sua teoria, Ausubel pressupõe que o indivíduo apresenta vontade de aprender, ou seja, demonstra “uma disposição para relacionar, de forma não arbitrária e substantiva, as novas informações à sua estrutura cognitiva” (Ausubel, Novak; Hanesian, 1980). O fato de o conteúdo evidenciar significados lógicos, somado aos conhecimentos prévios relevantes disponíveis do aprendiz, não garante que a aprendizagem significativa aconteça, visto que cabe ao desejo e autonomia do discente em aplicar esse conhecimento em alguma circunstância do seu dia a dia.

Em comparação com a aprendizagem significativa, Ausubel define a aprendizagem mecânica como aquela em que os novos conhecimentos são incorporados sem uma interação aparente com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Seu armazenamento ocorre de maneira arbitrária e literal, pouco contribuindo para sua elaboração e diferenciação (MOREIRA, 2006).

Como a teoria da aprendizagem significativa é de natureza construtivista, o sujeito é o agente do seu aprendizado. Dessa maneira, ele pode optar por uma simples memorização dos conteúdos e, conseqüentemente, a aprendizagem acontecerá de forma mecânica.

Obviamente que a aprendizagem mecânica não acontece em um vazio cognitivo. Como sua interação com a estrutura cognitiva ocorre de forma eventual e

aleatória as novas informações não são convertidas em novos conhecimentos. Como a aprendizagem significativa potencializa a aquisição de significados, a retenção e a transferência de conhecimentos devem ser preferidas em relação à aprendizagem mecânica. Isso não quer dizer que estes dois tipos de aprendizagem não são antagônicos. Em algumas situações, a aprendizagem mecânica é necessária como, por exemplo, na fase inicial de um novo corpo de conhecimentos. (MOREIRA, 2006, p.17)

Segundo Novak (1977), a aprendizagem mecânica sempre será necessária quando as informações que o indivíduo recebe pertencem a uma área do conhecimento inédita para ele. Ocorre como produto da falta do conhecimento prévio relacionado e relevante ao novo conhecimento a ser aprendido.

De acordo com Moreira (1982), algumas condições devem ser observadas para que a aprendizagem significativa ocorra:

- que o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aluno, não arbitrário e não-literal, que seja incorporável à sua estrutura cognitiva. O aprendiz deve ser capaz de relacionar o novo conteúdo aos seus pensamentos e ideias correspondentemente significativas, os subsunçores;
- que o indivíduo esteja disposto a relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva.

“Esta condição implica o fato de que independentemente de quão potencialmente significativo possa ser o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for, simplesmente, a de memorizá-lo arbitrariamente e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos (ou automáticos) (Moreira, 1999b, p. 23)”

Quando a aprendizagem significativa ocorre, as novas informações são desenvolvidas, elaboradas e diferenciadas devido às sucessivas interações. Um conceito original vai sendo progressivamente detalhado e especializado, evoluindo através das assimilações subordinadas resultando num processo de análise. É a diferenciação progressiva. Para Moreira (1982):

- a) diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação

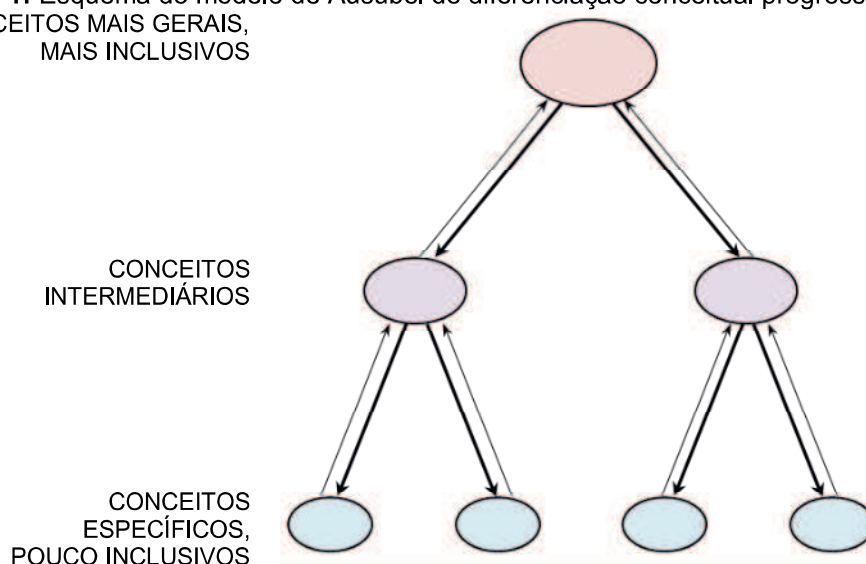
corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento;

- b) reconciliação integrativa é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.

Na preparação de um material, a diferenciação progressiva deve ter o subsídio de organizadores hierarquizados em ordem crescente de inclusividade onde, cada organizador antecede uma unidade correspondente de assunto detalhado e diferenciado. Assim, a sequência do material das unidades também obedece à ordem descendente de inclusividade (figura 1). Além disso, os subsunçores e as ideias relacionadas com o conteúdo são progressivamente diferenciados, acumulam novos significados e são alçados a níveis superiores na estrutura cognitiva do indivíduo.

Os "organizadores" iniciais fomentam os conhecimentos prévios, num nível global, antes de o indivíduo ser apresentado às novas informações, iniciando a sequência. Na figura, As linhas mais fortes sugerem a direção recomendada para a diferenciação progressiva de conceitos. As linhas mais fracas sugerem a reconciliação integrativa.

Figura 1: Esquema do modelo de Ausubel de diferenciação conceitual progressiva.



Fonte: Moreira, 1982, p 24.

Os organizadores podem ser interpretados como materiais introdutórios, em nível de abstração, generalidades e de maior inclusividade que o material a ser

aprendido. Servem de “ponte cognitiva” entre aquilo que a pessoa já sabe e que ele deve aprender de maneira significativa com o novo material. A diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa são, portanto, processos que resultam e que ocorrem simultaneamente com a aprendizagem significativa. (MOREIRA 1982).

2.2. Aprendizagem significativa crítica de Moreira

Baseada nas ideias desenvolvidas por Neil Postman e Charles Weingartner (1969) e nos pensamentos de Postman (1993 e 1996), a aprendizagem significativa crítica desenvolvida por Moreira (2010) sugere que aprendizagem significativa crítica é uma estratégia necessária para sobreviver na sociedade contemporânea.

O autor esclarece que não está propondo uma nova didática, mas uma série de princípios facilitadores para uma aprendizagem significativa crítica, os quais apresentam implicações diretas na organização de um ensino que busca este tipo de aprendizagem.

Para Moreira (2010), “aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela”. Argumenta ainda que:

É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não-causalidade, a probabilidade, a não-dicotomização das diferenças, com a ideia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente. (MOREIRA, 2010, p. 7)

Os princípios propostos por Moreira (2010) foram inspirados nas ideias de Postman e Weingartner, buscando o entendimento ampliado da aprendizagem significativa. São críticas e subversivas em relação ao que normalmente ocorre. Os princípios a serem trabalhados no processo de ensino são:

1. Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos.

O pré-requisito fundamental para poder criticar algum conhecimento, conceito ou enunciado é o conhecimento prévio do indivíduo. Para Moreira (2010), é a principal variável a influenciar a aquisição significativa de novos conhecimentos. A aprendizagem ocorre de maneira significativa.

2. Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas. A principal característica de uma circunstância de ensino-aprendizagem é o compartilhamento de significados entre aqueles que aprendem, aluno e professor, a respeito de conhecimentos veiculados por materiais educativos do currículo e em busca de sentidos convergentes. (GOWIN, 1981).

3. Princípio da não centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais. O livro-texto não deve ser o centro ou a única fonte de informação ao aprendiz. A utilização de outras fontes de informação, cuidadosamente selecionadas deve ser valorizada. Artigos, revistas, jornais, filmes, documentários, dentre outros, podem dar uma excelente contribuição para uma aprendizagem significativa crítica.

4. Princípio do aprendiz como perceptor/representador: aluno e professor são perceptores, o aluno por perceber tudo que lhe é “dado” e professor pelo fato que, todo material de ensino que usa é fruto de suas percepções. Daí a aprendizagem significativa ser um processo dinâmico de interação, diferenciação e integração entre conhecimentos novos e pré-existentes.

5. Princípio do conhecimento como linguagem. A aprendizagem significativa está relacionada à da linguagem, não exclusivamente palavras, mas símbolos, instrumentos e procedimentos. Uma nova visão de mundo está baseada na maneira crítica de perceber essa nova linguagem.

6. Princípio da consciência semântica. Implica na consciência do significado das coisas, não nas palavras. No compartilhamento de significados sobre os materiais educativos, o ensino acontece.

7. Princípio da aprendizagem pelo erro. É da natureza humana cometer erros. O conhecimento não é definitivo. Uma nova informação pode superar “verdades” conhecidas. O reconhecimento e correção dos erros promovem a aprendizagem significativa.

8. Princípio da desaprendizagem. É necessário avaliar o que é relevante ou não e descartar os irrelevantes. Esquecendo conceitos e estratégias sem importância para a sobrevivência em um mundo em transformação, não só porque são irrelevantes, mas porque podem se constituir, eles mesmos, em ameaça à sobrevivência.

9. Princípio da incerteza do conhecimento. Nosso conhecimento é metafórico, baseado em incertezas e evolutivo. Sendo nossa observação baseada em símbolos

disponíveis, quanto mais limitado esse sistema de símbolos for, menos ele é capaz de “ver”.

10. Princípio da não utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino. Outras formas de ensinar devem ser utilizadas de tal forma que busquem a participação efetiva do estudante.

11. Princípio do abandono da narrativa. De deixar o aluno falar. O indivíduo é o agente de seu aprendizado.

Todos os princípios apresentados fortalecem uma aprendizagem significativa crítica. Há de se destacar, porém, que a chave dessa forma de aprendizagem é o conhecimento prévio e a predisposição do estudante em relacionar de maneira não-arbitrária e não-litera as novas informações com o conhecimento prévio.

2.3. Unidades De Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

As unidades de ensino potencialmente significativas desenvolvidas por Moreira (2010) estão fundamentadas na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e nas visões clássica e contemporânea de diversos autores em relação a esta forma de aprendizagem. Só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos (MOREIRA, 2011).

Na construção das UEPS, Moreira (2011) apresenta os princípios diretores para a construção de uma UEPS:

- o fator que mais potencializa a ocorrência da aprendizagem significativa é o conhecimento prévio do indivíduo (subsunçores). (Ausubel). O subsunçor é conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do indivíduo que, por interação, pode dar significado aos novos conhecimentos.
- A aprendizagem significativa subjaz a integração positiva e construtiva entre os pensamentos, sentimentos e ações integrados ao ser que aprende e o engrandece.(NOVAK);
- cada indivíduo é quem decide se quer aprender significativamente determinado conteúdo, independentemente de quão significativo possa ser o material a ser aprendido (AUSUBEL; GOWIN);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios; são materiais introdutórios apresentados antes do

material de aprendizagem para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material seja potencialmente significativo.

- Os novos conhecimentos são revestidos de sentido, quando são abordados a partir de situações-problema, criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa e podem ser utilizadas como organizadores prévios (VERGNAUD);
- as situações-problema apresentadas aos alunos devem ser apresentadas em níveis crescentes de complexidade (VERGNAUD)
- O primeiro passo na resolução de uma nova situação-problema é construir na memória de trabalho um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (JOHNSON-LAIRD);
- a organização do ensino deve ser feita levando-se em consideração a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora; (Ausubel);
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva. Segundo Ausubel, a melhor maneira de evitar a simulação da aprendizagem significativa é propor ao aprendiz uma situação nova, não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido.
- o orientador tem o papel fundamental em propor situações-problema selecionadas, de organizar o ensino e mediar a compreensão de significados dos alunos (VERGNAUD; GOWIN);
- o que fortalece a captação de significados é a interação social e a linguagem (VYGOTSKY; GOWIN);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (GOWIN);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- a aprendizagem desejável sempre deverá ser significativa e crítica, não mecânica (MOREIRA);
- o que estimula a aprendizagem significativa crítica é a busca de respostas (questionamento). A memorização de respostas deve ser evitada pelo uso da

diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (MOREIRA).

Aliadas a esse princípio Moreira (2011) sugere alguns aspectos sequenciais (passos) que devem ser observados na construção da UEPS.

1º passo: o tópico específico a ser abordado precisa ser definido, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais necessários à abordagem do conteúdo;

2º passo: Deverão ser criadas ou propostas situações que direcionem o aluno a externar seu conhecimento prévio em relação ao contexto do assunto. Tais situações podem ser: discussões, questionários, mapas conceituais, mapas mentais, situações-problema etc.

3º passo: A situação-problema sugerida deve ter um caráter introdutório, que leve em conta o conhecimento prévio do aluno e que subsidie a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar;

4º passo: O conhecimento a ser ensinado/apreendido deve ser apresentado, levando em conta a diferenciação progressiva, ou seja, deve-se partir dos aspectos mais gerais, inclusivos, para em seguida abordar aspectos específicos;

5º passo: em continuidade, resgatar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo que se quer ensinar/apreender da unidade de ensino. Essa retomada pode ser realizada com a utilização de uma nova apresentação, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação, assim como as novas situações-problema;

6º passo: A diferenciação progressiva deve ser provocada retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa através de uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.;

7º passo: a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser realizada durante toda sua execução. Toda evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado deverá ser considerado;

8º passo: o êxito da UEPS será comprovado se, na avaliação do desempenho dos alunos forem percebidas evidências de que a aprendizagem significativa ocorreu.

2.4. Utilização do Modellus no apoio à aprendizagem significativa

Os avanços tecnológicos provocaram mudanças significativas nas formas de pensar, agir, aprender e se comunicar na vida do ser humano. No meio educacional, sua utilização é justificada por se apresentar como mais uma ferramenta na busca pela equidade e qualidade no ensino. Segundo Ferracioli e Sampaio (2001), citado por Andrade (2016, p.23),

[...] as propostas de trabalho mediadas pelo uso do computador devem ser direcionadas no sentido de que a tecnologia da informática deva ser utilizada como ferramenta de conhecimento, como uma máquina capaz de ampliar a capacidade do aluno em formular perguntas e muito menos em simplesmente encontrar respostas.

De acordo com Tavares (2000), para a Física, que é uma ciência essencialmente experimental, a possibilidade da realização de um experimento constitui um reforço extraordinário no significado real previsto teoricamente. Dito isto, um aplicativo ou simulador pode produzir o ambiente investigativo capaz de ampliar a possibilidade de uma aprendizagem significativa.

Daí, o processo de ensino/aprendizagem da Física tende a ser facilitado com a inserção da modelagem computacional, provocando no aluno uma melhor interpretação do conteúdo, contribuindo, assim, para o desenvolvimento cognitivo em geral. (VEIT; TEODORO, 2002, p. 88)

Para Gilbert (2005),

Modelos podem funcionar como uma ponte entre a teoria científica e o mundo como experimentado ("realidade") de duas formas. Eles podem ser esboços simplificados da realidade como observada (fenômenos exemplo), produzidos como objetivos específicos aos quais as abstrações da teoria são então aplicadas. Eles também podem ser idealizações de uma realidade como imaginada, baseadas nas abstrações da teoria, produzidas de forma tal que possam ser feitas comparações com a realidade como-observada, e, desta forma, usadas para tornar visíveis abstrações e crucialmente fornecer base para previsões sobre fenômenos e suas explicações científicas. (p.11)

Os PCNs (2000), orientam sobre a necessidade de investimentos na formação dos professores, uma vez que as mudanças necessárias para uma nova escola exigem: mudanças na seleção, tratamento dos conteúdos e incorporação de instrumentos tecnológicos modernos, como a informática.

Nesse contexto, a necessidade de inovação, quer seja de conteúdos, estratégias ou ferramentas de ensino, se faz cada vez mais necessária e as novas

ferramentas tecnológicas apresentam um bom potencial para promover a equidade e qualidade desejadas. Demo (2009), fala que,

Os ambientes virtuais de aprendizagem parecem favorecer ostensivamente modos mais flexíveis de formação da mente, que apanham, entre outros horizontes, os de Vygotsky (1989; 1989a), em particular em seu conceito de “zona de desenvolvimento proximal”: o desafio de o aluno ousar avançar com apoio do professor para encarar novas situações e problemas, construindo, assim, sua autonomia progressiva.

A prática pedagógica, então, tem ao seu dispor uma infinidade de ferramentas tecnológicas que podem implementar as estratégias traçadas: vídeos, animações e simuladores dentre outros. No entanto, para que esse desenvolvimento na educação seja efetivado é necessário que seja bem planejado. A avaliação das tecnologias aplicadas devem ser realizadas constantemente, de modo que seja verificado, de fato, a melhoria na construção do conhecimento por parte do aluno. (ANDRADE, 2016)

Alguns simuladores de efeitos eletromagnéticos podem ser facilmente encontrados na internet. No endereço <http://fisicanalixa.blogspot.com.br>, existe uma boa variedade de trabalhos nas áreas de mecânica, óptica e eletricidade, desenvolvidos no programa Modellus, porém, não foi encontrado nenhuma aplicação direcionada à discussão sobre o efeito Hall. De maneira semelhante, no site <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/port/modellus.htm>, também se dispõe de vários simuladores que podem ser baixados gratuitamente, mas não há cadastro de aplicativos sobre efeito Hall.

Em todas as pesquisas realizadas não foi encontrado nenhum simulador sobre efeito Hall, porém, vídeos que representam o fenômeno podem ser encontrados no Youtube. Por exemplo, no endereço https://www.youtube.com/watch?v=bHo6_jltfc8 tem um vídeo explicativo relacionado ao fenômeno. É uma animação gráfica onde são abordados alguns princípios básicos do fenômeno e uma discussão matemática em relação a ele.

Neste trabalho, optamos pela utilização de um simulador desenvolvido no aplicativo de modelagem computacional Modellus, pela possibilidade do aluno interagir no efeito através da troca de valores de algumas grandezas. A intervenção dos alunos na simulação afeta os dados observáveis e, dessa forma, apresenta

potencial para subsidiar discussões em relação à valores coletados e as relações existentes entre as grandezas envolvidas.

Como afirma Andrade (2016),

Esse recurso tem se mostrado uma ferramenta com um grande potencial para a aprendizagem em física, matemática e ciências em geral por oferecer a oportunidade ao aluno de ter um contato mais concreto com o objeto de estudo e por favorecer o processo de construção do conhecimento.

Considerando que os softwares de simulação podem englobar, simultaneamente, diversos tipos de linguagens, a saber: gráfica, matemática ou de símbolos, poderemos obter ótimas oportunidades de interação aluno-aluno e professor-aluno. Além disso, a respeito do aplicativo Modellus, Tavares (2000), aponta que:

Existe um aplicativo didático chamado **Modellus**, que torna possível uma aula de Física com grande riqueza de detalhes. Ele é extremamente amigável, ou seja: aprende-se a usá-lo e a criar as próprias animações, com facilidade. Contando com um pouco de habilidade algébrica, pode-se aprender rapidamente a criar as suas animações.

Neste programa, as animações ou simulações podem ser desenvolvidas através de funções matemáticas relacionadas ao fenômeno que se pretende investigar. Com a utilização de alguns vínculos entre as expressões criadas e figuras, vetores ou outros itens disponíveis na plataforma, pode-se criar simulações bem interessantes de diversos fenômenos.

De acordo com Andrade (2016), o Modellus pode ser utilizado de acordo com a metodologia a ser empregada:

1 – Exploração expositiva e Construção Coletiva: a construção do modelo é feita previamente e é aplicada dentro das estratégias pensadas para o conteúdo a ser abordado. Também é possível a construção coletiva com os alunos. Neste caso, necessariamente, o professor deve apresentar habilidade na execução do programa.

2 – Exploração individual: Cada aluno ou grupos de alunos deverão utilizar o aplicativo através de orientações ou questionamentos orais ou por escrito. Neste modelo, sugere-se que os alunos façam a exploração do modelo mudando parâmetros e analisando resultados.

3- Construção dirigida: Nesta abordagem, é necessário que os alunos ou seus grupos disponham de computadores para o desenvolvimento da aplicação. O

professor intermediará esta construção. Os alunos deverão ser guiados por um roteiro.

4 – Construção individual: É a modalidade que requer um maior grau de conhecimento a cerca da sintaxe utilizada no programa. A partir de um fenômeno físico estudado, deve-se transcrevê-lo para equações matemáticas e a simulação deverá ser testada na plataforma de simulação comprovando-se (ou não) hipóteses relacionadas ao fenômeno e verificando seu comportamento em relação ao aporte teórico.

Deve-se evidenciar dois aspectos importantes: O da estruturação dos roteiros, que devem atender aos objetivos propostos da atividade e o da atuação do professor, no sentido de guiar o aluno com o objetivo de estudo. (DUARTE, 2016).

No desenvolvimento do simulador do efeito Hall, foi considerado que, ao final da sua utilização, os alunos deveriam reconhecer as grandezas envolvidas no fenômeno e a relação existente entre elas. Assim, o experimento virtual foi montado com duas barras verticais onde é possível variar os valores da intensidade da corrente principal (I) e do campo magnético uniforme (B) perpendicular à lâmina, e um voltímetro fazendo conexão nas bordas laterais da lâmina. É ele quem apresentará a diferença de potencial de Hall, de acordo com que os valores de I e B são manipulados.

Figura 2: Interface do programa Modellus preparado com o simulador de efeito Hall



Fonte: Print screen do programa Modellus

A intensidade da corrente principal e o valor do campo magnético foram colocados com variáveis independentes, as quais se pode alterar seus valores através das barras verticais A e B, respectivamente. O valor da diferença de potencial de Hall é calculada e apresentada no voltímetro. Abaixo está o modelo matemático usado na realização dessa tarefa.

Figura 3: Modelo matemático para simulação do experimental de Hall

Modelo Matemático

"Velocidade de deriva"

$$v_d = \frac{I}{A \times n \times q}$$

"área superficial da lamina de ouro"

$$A = L \times esp$$

$L = 0.02$

$esp = 0.00025$

"numero de eletrons condutores"= n

$n = 4.5 \times 10^{28}$

carga eletrica do eletron

$q = 1.6 \times 10^{-19}$

Intensidade do campo magnetico;

B

;D.d.p. de Hall

$$V_H = (v_d \cdot v) \times B \times L$$

$I = 2000 \cdot B < 0.1$

$I = -20 \times v \times t$

Parâmetros Condições Iniciais

Fonte: Print screen do programa Modellus – modelo matemático

Embora o programa Modellus tenha a opção de construir gráficos, decidiu-se que os alunos fariam essa tarefa manualmente, através da observação e coleta dos dados no simulador.

Nas atividades previstas na UEPS utilizamos dois dos processos apresentados: a exploração expositiva, uma vez que o aplicativo foi produzido antecipadamente e aplicado de acordo com a sequência didática proposta e a exploração individual onde os grupos de alunos deverão utilizar o simulador do efeito Hall para investigar as relações entre algumas das grandezas envolvidas: diferença de potencial, intensidade de corrente elétrica e intensidade de campo magnético.

De acordo com Schwartz e Crawford (2006), nas atividades de investigação os alunos tem a oportunidade de argumentar, apresentar os resultados, compartilhar ideias e exemplos. É um processo essencial, com poder de levar cada aluno a compreender como se processa a construção do conhecimento científico.

3. EFEITO HALL

3.1. Histórico

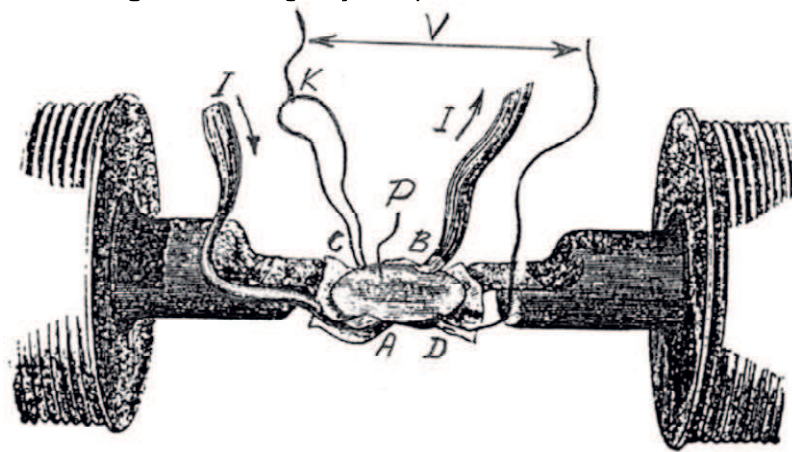
O efeito Hall é um dos exemplos dos fenômenos galvanomagnéticos, observados quando um condutor ou um semicondutor, atravessado por uma corrente elétrica contínua, é exposto a um campo magnético. A resistência elétrica na direção transversal a da corrente é modificada devido à ação do campo.

A observação inicial que levou à descoberta do efeito Hall ocorreu na década de 1820, quando Andre A. Ampere (1775-1836) descobriu que os fios que levam a corrente experimentaram força mecânica quando colocada em um campo magnético. (DAMSTEN, 2006)

Willian Thomson -Lord Kelvin - (1824-1927), verificou que alguns materiais apresentavam a propriedade de aumentar sua resistência elétrica quando colocados na presença de um campo magnético. Esse efeitos ficou conhecido como magnetorresistência. (POPOVICK,2003)

O experimento realizado por Kelvin consistia basicamente de quatro terminais, placas metálicas finas, equipadas com dois grandes contatos de entrada (corrente elétrica) e dois contatos de saída (tensão) menores (Figura 4).

Figura 4: Configuração experimental de Thomson.



Fonte: POPOVIC, 2003, p. 4.

Os eletrodos A e B, por onde a corrente elétrica flui, forma um ângulo de 45° com o campo magnético que está orientado paralelamente a placa P. A tensão é medida entre os contatos C e D. Com o eletroímã desligado contato deslizante K era

ajustado para zerar a tensão. Ao ligar o eletroímã, Kelvin percebeu que a tensão mudou, o que o levou a concluir que condutividade elétrica é, na realidade, maior na direção transversal à da corrente elétrica. (POPOVIC, 2003)

O experimento de Thomson foi precursor da experiência de Hall diferenciando-se dele pelo fato de que usava placas de materiais ferromagnéticos enquanto que para Hall isso não esse não era um fator relevante.(POPOVIC, 2003)

No artigo “The Discovery of the Hall effect” (Leadstone, 1979), há um relato de que o físico alemão Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), no livro *Lehre von Galvanismus und Elektromagnetismus* (1861), descreve uma experiência realizada que se contrapunha à existência do efeito. Hall (1880), assim descreve o experimento de Wiedmann:

Este investigador cobriu um disco circular de folha de prata com cera, e aplicou os polos de uma bateria em pontos diametralmente opostos um ao outro da circunferência do disco. Com a folha de prata se aquecendo pela corrente, a cera começou a derreter e derreteu mais rapidamente onde a corrente era mais intensa, mostrando assim aproximadamente a distribuição do fluxo. A placa, ainda com a corrente, era agora submetida à ação de um eletroímã; mas nenhuma mudança pode ser detectada no comportamento da cera derretida, e o curso da corrente através do disco permaneceu aparentemente inalterado. Este experimento, portanto, como o anterior, foi negativo em suas indicações. (HALL, 1880 p. 327)

Maxwell (1873), no seu livro “A Treatise on Electricity and Magnetism (1873)”, afirmou que a força mecânica que atua em um condutor imerso em um campo magnético e por onde passa uma corrente elétrica não atua na corrente que ele transporta, mas no próprio condutor. Ressalta ainda que, se o condutor for um disco que gira ou um fluido, se moverá devido apenas a essa força, e esse movimento pode ou não, ser acompanhado de mudança de posição na corrente elétrica. A única força que atua sobre correntes elétricas é a força eletromotriz. (BASSALO, 2014).

Se a corrente elétrica estiver livre para escolher seu caminho através dos condutores ou rede de fios e uma força magnética constante for aplicada sobre eles, o caminho da corrente será alterado temporariamente apenas enquanto durar o fenômeno conhecido como correntes de indução. Após esse intervalo de tempo a distribuição da corrente elétrica é reestabelecida como se nenhuma força magnética tivesse atuado. (MAXWELL, 1954, p. 157)

Segundo Leadstone (1979), Hall entendeu a afirmação feita por Maxwell como contrária a teoria mais lógica. Alguns dos motivos considerados por Hall foram:

- A força que atua no condutor, o faz em virtude da corrente que flui através dele, independentemente do material que o constitui;
- A força magnética que o condutor experimenta é diretamente proporcional a intensidade da corrente elétrica.
- Na eletrostática, é considerado que as forças fundamentais agem entre as cargas e não entre os corpos.

Além dos motivos apresentados acima, o professor Erik Edlund (1819-1888), discutiu no artigo “Unipolar Induction” (1878), a indução ocorrida em um condutor que se movimentava em relação às linhas de força produzidas por um eletroímã posicionado, de forma equidistante, dos vários pontos desse condutor e com o momento magnético constante.

O experimento consistia de um eletroímã colocado na posição vertical e cercado coaxialmente com um cilindro metálico livre para girar ao redor do seu eixo. Posicionando um dos eletrodos de uma bateria no cilindro, nas proximidades de um dos polos e o outro eletrodo numa posição entre os dois polos e fazendo passar um fluxo elétrico, o cilindro começou a girar em torno do eletroímã. O sentido da rotação dependia da direção desse fluxo através do cilindro. O trabalho de Edlund ia de encontro às ideias de Maxwell sobre a ação da força magnética em um condutor percorrido por uma corrente elétrica. (LEADSTONE, 1979, p. 375)

Buchwald (1979) aponta que, no artigo, Edlund afirmava de forma implícita, que as correntes estacionárias agiam umas sobre as outras e que esta ação apresentava mesma intensidade e direção que a força entre os fios que transportam as correntes. Ele deixou subentendido que a ação entre as correntes era, de alguma forma, a fonte da ação eletromagnética. Como todos os que pensavam em eletricidade como substância, ele simplesmente tomou como certo que as correntes estacionárias exercem forças umas sobre as outras e que eram consideradas como forças que atuavam nos condutores.

No “Source book in Physics Magie (1969) descreve que, além das afirmações feita por Edlund, o físico americano Henry Augustus Rowland (1848-1901), supervisor do doutorado de Hall, já havia realizado alguns testes com o objetivo de comprovar as teorias de Maxwell, mas sem obter sucesso. Devido ao seu tempo limitado devido às atividades acadêmicas além de outros trabalhos, não insistiu no problema. Entretanto, quando procurado por Hall, relatou suas tentativas e o motivou a refazer os testes.

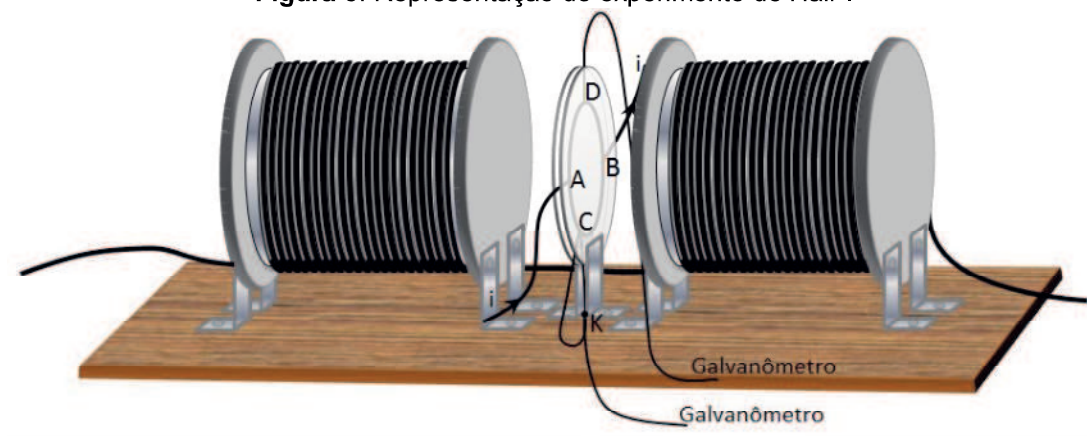
Sobreveio a Hall que, se Maxwell estava correto e a corrente de condução satisfazia a mesma condição de continuidade de um líquido incompressível, provavelmente seria necessário realizar um novo experimento para testar se, sob esta hipótese, ainda não havia ação sobre a corrente. Se a eletricidade fosse um fluido incompressível, ela poderia atuar em uma determinada direção sem se mover solidariamente a ela. (BUCHWALD, 1979)

Para desenvolver o experimento, Hall levou em consideração o seguinte raciocínio: “se a corrente elétrica em um condutor fixo é atraída por um ímã, esta deve ser deslocada para um lado do fio e, portanto, a resistência experimentada deve aumentar.” (HALL, 1879).

O primeiro aparato experimental idealizado por Hall para investigar sua hipótese era constituído de uma espira plana feita de prata alemã, presa firmemente entre dois discos de borracha rígida e colocada inteiramente entre os polos dos eletroímãs (LEADSTONE, 1979, p. 375).

O objetivo do experimento era verificar se um galvanômetro no circuito da espira daria diferentes leituras com o eletroímã ligado e desligado. A corrente que atravessava a espira era perpendicular ao campo magnético em qualquer um dos seus pontos. Os terminais A e B eram ligados aos polos de uma bateria. As conexões C e D foram ligadas ao galvanômetro.

Figura 5: Representação do experimento de Hall³.



Fonte: Próprio autor.

Através do contato K, era possível calibrar o galvanômetro (Figura 5). O galvanômetro era calibrado para o valor zero antes dos eletroímãs serem ligados.

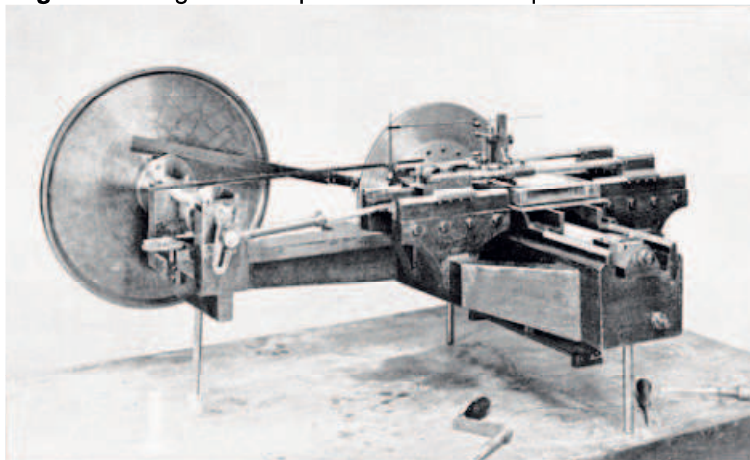
³ A figura foi baseada nos relatos de experiência de Hall. Os discos de borracha que prendem a espira, ficam prensados entre os polos do eletroímã. Os eletroímãs estão separados por questão didática, para ser possível visualizar o aparato experimental.

Acionando-se os eletroímãs, verificava-se que a agulha do galvanômetro apresentava uma discreta deflexão.

Com esse aparato experimental, foram realizadas 13 seções de 40 repetições cada uma. Entretanto, não foram encontradas evidências contundentes de alteração na resistência da espira ou na voltagem pela ação do campo magnético. (HALL, 1879)

Após essas tentativas, Hall repetiu o experimento realizado por seu professor, Henry Augustus Rowland (1841-1901). O equipamento utilizado por Hall no experimento consistia de um disco ou tira de metal associado a um circuito elétrico e posicionado entre os polos de um eletroímã. Os polos de um galvanômetro eram então conectados em diferentes partes do disco. Novamente, com os eletroímãs ligados, não foi detectada nenhuma mudança relativa entre os polos do galvanômetro. Mais tarde se descobriu que o experimento não havia alcançado êxito devido ao disco ter espessura considerável. (LEADSTONE, 1979, p. 375)

Figura 6: Imagem do experimento utilizado por Rowland e Hall



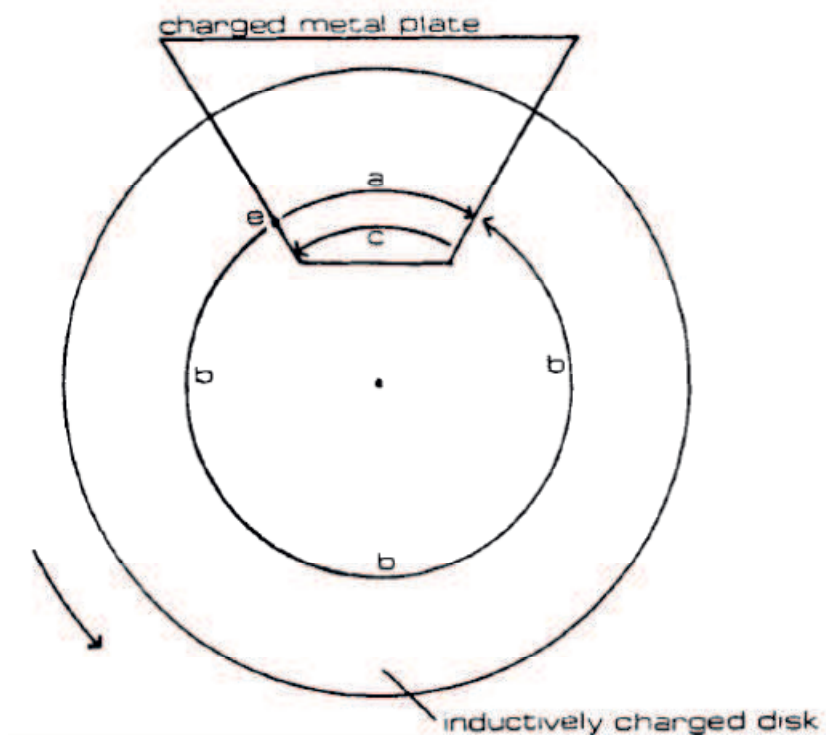
Fonte:

https://en.wikisource.org/wiki/Popular_Science_Monthly/Volume_49/May_1896/Sketch_of_Henry_Augustus_Rowland

No livro “The Hall Effect and Maxwellian Electrodynamics in the 1880’s. Part I: The Discovery of a New Electric Field”, Buchwald (1979) descreve que nesse aparato experimental, a eletricidade gerada pela indução estática no segundo equipamento era transportada para frente, sob a placa de indução e liberada na sua borda (figura 7), onde se dividia em correntes de condução de sentidos contrários (a,b).

Para Rowland, se as corrente de condução produzidas, fossem inversamente proporcionais aos respectivos raios dos discos atravessados e diretamente proporcional à corrente de convecção (c) – eletricidade transportada sob a placa indutora – o efeito combinado das duas correntes, de condução e de convecção, seria intenso e seria detectado pelo dispositivo. No entanto, nenhum efeito foi observado.

Figura 7: Esquema do experimento idealizado por Rowland

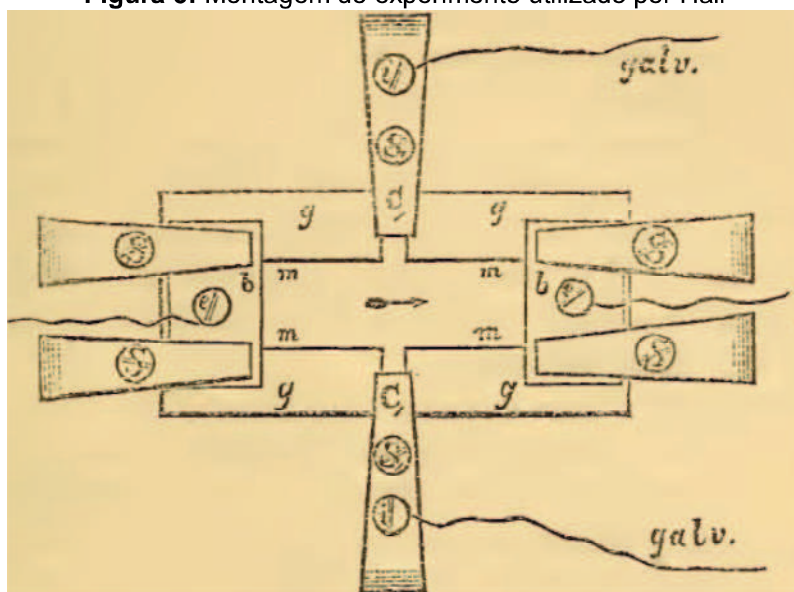


Fonte: Buchwald (1979), p. 68

Hall percebeu nos resultados negativos de sua experiência uma oportunidade publicar um artigo contestando a teoria de Edlund que se baseava em uma ação entre as correntes. Entretanto, para ter certeza de que estas correntes não eram afetadas pela força magnética, Hall, empreendeu uma nova série de experiências, que, para sua surpresa, deram resultados positivos.

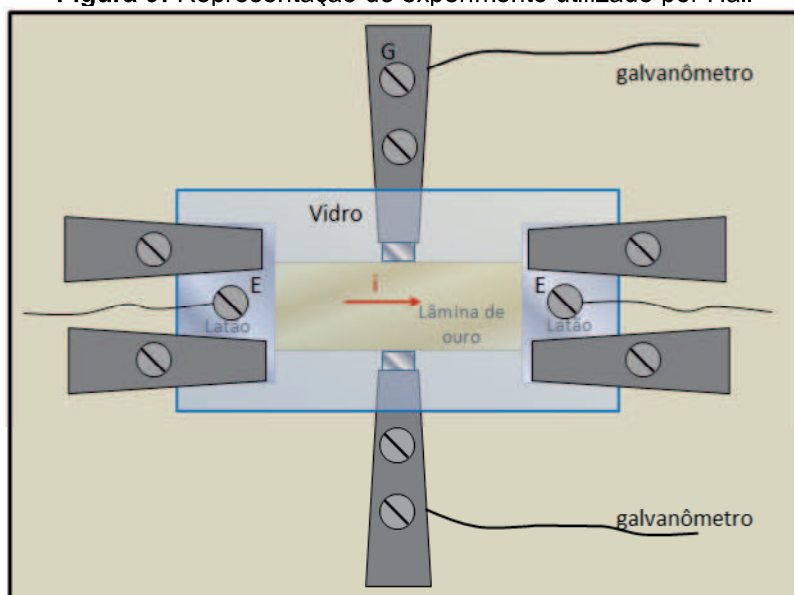
Por sugestão de Rowland, Hall repetiu o experimento utilizando uma fina folha de ouro como condutora da corrente elétrica.(Hall, 1879). O esquema do experimento realizado por Hall está ilustrado na figura 8. Um condutor de corrente submetido a um campo magnético transversal. A corrente elétrica principal entra e sai pelos parafusos E. O galvanômetro de Thomson é conectado a fita de ouro através dos parafusos G.

Figura 8: Montagem do experimento utilizado por Hall



Fonte: Philosophical Magazine and Journal of Science, 1880 p.303

Figura 9: Representação do experimento utilizado por Hall



Fonte: Próprio autor

No dia 28 de outubro de 1879, seguindo as sugestões do professor Rowland, Hall realizou os experimentos novamente. Nessa ocasião, a deflexão observada na agulha do galvanômetro foi permanente, e de grande amplitude.

De acordo com Hall (1879):

“A deflexão apresentada era muito grande para ser atribuída à ação direta do eletroímã sobre a agulha do galvanômetro, ou qualquer outra causa semelhante. Além disso, a deflexão foi permanente e, portanto, não poderia ser provocada pela indução. O efeito se inverteu quando o ímã foi

posicionado ao contrário. Essa mesma inversão não foi observada quando os polos do galvanômetro foram transferidos de uma extremidade para a outra da tira. "(HALL, 1879, p. 291)

A diferença observada entre os polos do galvanômetro, confirmou as suspeitas de que uma força atuava no "fluido elétrico"⁴, deslocando-o para uma determinada região do fio (BRIDGMAN, 1939, p.80).

Hall propôs que o condutor apresentaria um estado de "fadiga" do material provocado por um maior acúmulo do fluido elétrico em determinada região do condutor, o que provocava uma tensão na direção transversal do condutor, mais tarde, chamada de diferença de potencial de Hall.

Buchwald (1979) relata em seu artigo que, no caderno de anotações sobre o experimento, a página que contém a discussão sobre a direção do efeito está faltando. Destaca ainda que Hall observou que o sentido do fluxo elétrico, de acordo com os resultados observados, era exatamente o oposto ao que se esperava, ou seja, ele ocorre do negativo para o positivo. A princípio, esta tese foi descartada por Hall que considerou que uma mudança também deveria ser feita no eletroímã, o que anularia essa concepção.

Segundo as anotações feitas por Hall em seu caderno (1879, p.99) e citado por Buchwald (1979, p.81),

Para mim neste momento, parece provável que duas correntes paralelas de eletricidade que fluem na mesma direção tem a tendência de se repelirem de maneira semelhante a duas quantidades de eletricidade estática. Provavelmente serão necessárias novas experiências para verificar a verdade dessa questão.

Essa mesma experiência foi repetida algumas semanas depois para diversos valores de corrente elétrica e do campo magnético, apresentados na tabela 1. Hall encontrou um valor aproximadamente constante para a proporção:

$$\frac{\text{corrente na folha de ouro (C) x intensidade do campo magnético (M)}}{\text{corrente através do galvanômetro de Thonsom (c)}}$$

⁴ O conceito de carga elétrica e "elétrons" só apareceria após 1897.

Tabela 1: Resultados obtidos por Hall para vários valores de corrente elétrica e de campo magnético.

Corrente através da folha de ouro C.	Intensidade do campo Magnético M.	Corrente através do galvanômetro de Thomson c.	$\frac{C \times M}{c}$
.0616	11420H	.00000000232	303000000000.
.0249	11240"	.....085	329.....
.0389	11060"	.....135	319.....
.0598	7670 "	.....147	312.....
.0595	5700 "	.....104	326.....

Fonte: (HALL, 1879, p. 291)

A intensidade do campo magnético da Terra é representada por H.

Uma afirmação mais moderna em relação à proporção mostrada na quarta coluna da tabela 1 é: $\frac{B \cdot I}{V_H} = \text{constante}$. B é a intensidade do campo magnético, I é a intensidade de corrente que atravessa a lâmina de ouro e V_H é a diferença de potencial de Hall. (LEADSTONE, 1979, p. 376)

Voltando o pensamento para a experiência do cilindro, de Edlund, Hall ponderou que a deflexão da corrente no cilindro não poderia ser a causa do movimento do cilindro, uma vez que, pelos resultados das suas experiências até então a corrente tenderia a movimentar o cilindro em uma direção contrária à observada. (BUCHWALD, 1979 p.32)

Fazendo uma revisão do seu raciocínio inicial, Hall concluiu que esse novo efeito e a força eletromagnética concordam em direção apenas se o fluxo da corrente ocorre do negativo para o positivo. (BUCHWALD, 1979 p.81)

No ano seguinte à descoberta do efeito, Hall (1880) publicou resultados de medições realizados em ouro, prata, ferro, platina, níquel e estanho, todos feitos com o arranjo mostrado na figura 8. Segundo Leadstone (1979), ele esperava encontrar uma constante universal que expressasse a magnitude de seu novo feito para todos os materiais, independentemente de suas dimensões. A relação encontrada por ele para cada material, individualmente, foi

$$\frac{M \times V}{E'} = \text{constante} \quad \text{Eq.1}$$

Sendo,

- M a intensidade do campo magnético
- $V = \frac{C}{S}$ onde, C é a intensidade do fluxo elétrico principal e S é a área da seção transversal do condutor
- E' é a força eletromotriz transversal medida pelo galvanômetro de Thomson.

Figura 10: Medições realizadas por Hall

Metal plate.	M.	C.	$\frac{M \times V}{E'}$.
Gold, No. 6 ["hard"] .....	.....	.....	152×10^{10}
" " " "	6400	$k \times \tan 23^\circ 44'$	150×10^{10}
" " " "	6400	" "	150×10^{10}
" " " "	6400	" "	154×10^{10}
" No. 5 [soft or semicohes.]	6400	" "	161×10^{10}
" " " "	6330	" "	163×10^{10}
" " " "	6440	" "	162×10^{10}
" " " "	6440	" "	164×10^{10}
" No. 4 ["soft"]	6480	" "	155×10^{10}
" " " "	6480	" "	155×10^{10}
" " " "	6480	" "	154×10^{10}
" " " "	6480	" "	154×10^{10}
" No. 30 A [semicohes. ?]	6520	" "	123×10^{10}
" " " "	6600	" "	124×10^{10}
" " " "	6600	" "	128×10^{10}
" " B [semicohes. ?]	6760	" "	139×10^{10}
" " " "	6760	" "	141×10^{10}
Silver, No. 10	6580	" "	114×10^{10}
" " " "	6580	" "	118×10^{10}
" [deposited] A	7120	" "	134×10^{10}
" " " "	7120	" "	137×10^{10}
" " B	6640	" "	.....
Iron, C	6680	" "	-127×10^9
" " " "	6680	" "	-130
Platinum	6830	" "	.....

Nickel—effect large, possibly as strong as in iron.
Tin—effect probably much smaller than in platinum.

Fonte: Philosophical Magazine and Journal of Science, 1880 p.322

De acordo com Leadstone (1979), uma maneira mais moderna de escrever essa expressão é:

$$\frac{B \cdot J \cdot b}{V_H} = \text{constante} = n \cdot e \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

- B é a intensidade do campo magnético,
- J é a densidade de corrente elétrica,
- b a largura da tira metálica.

- V_H é a diferença de potencial de Hall
- n é a densidade de quantidade de carga

No seu artigo, Hall (1880) organizou os resultados obtidos considerando o valor inverso da magnitude verificada para cada um dos metais investigados, ou seja,

$$\frac{E'}{M \times V} = \frac{1}{n \cdot e} = R_H \quad \text{Eq.3}$$

onde, R_H é o coeficiente de Hall.

Tabela 2: Valores dos coeficientes de Hall (R_H)

Metal	Valor do R_H de Hall (unidade não informada)	Valores atual de R_H ($10^{-11} \text{ m}^3 \text{C}^{-1}$)
Ferro	+78	
Cobalto	+25	
Zinco	+15?	+3.3
Chumbo	Valor não listado	+0.9
Estanho	- 0.2?	-0.4
Bronze	-1.3?	
Platina	-2.4	-2.4
Ouro	-6.8	-7.2
Prata	-8.6	-8.4
Cobre	-10?	-5.5
Alumínio	-50?	-3.0
Magnésio	-50?	-9.4
Níquel	-120	

Fonte: "(LEADSTONE, 1979, p. 378)

Após esses novos experimentos, Hall (1880) passou a considerar que,

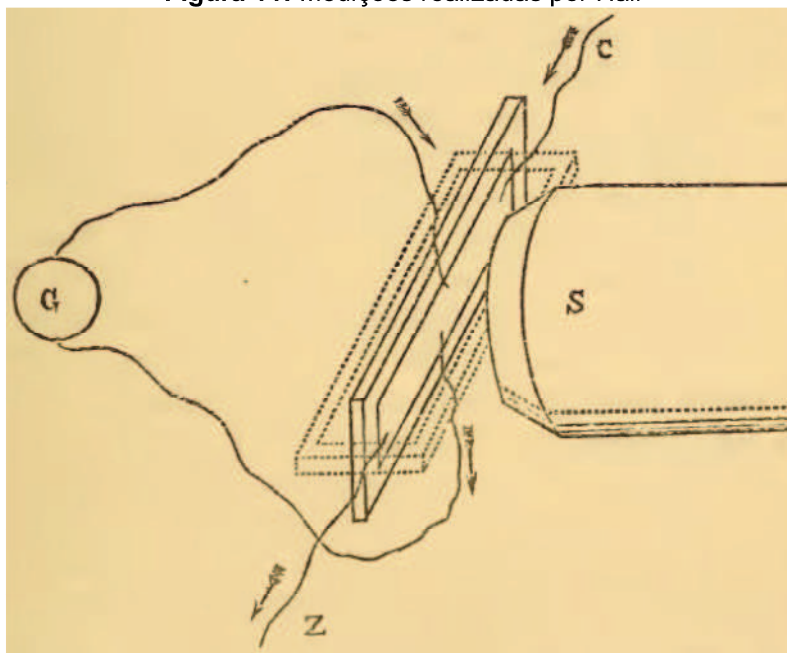
...um metal não é estritamente contínuo, mas constituído de partículas metálicas aproximadamente compactadas e agregadas no espaço ocupado pelo corpo como um todo. Evidentemente, portanto, a seção transversal efetivamente atravessada durante a condução variaria em diferentes condutores de mesma seção transversal nominal. (Hall, 1880 p. 324)

Além disso, concluiu que,

Difícilmente podemos duvidar que o efeito que estamos considerando, classificado sob nosso controle, como fizemos, apresenta um novo ponto de vista a partir do qual podemos estudar o comportamento interno da substância examinada, destina-se a nos ensinar sua relação com a estrutura molecular dos corpos, enquanto nos ajuda a entender a natureza física da eletricidade e do magnetismo. (Hall, 1880 p. 324-325)

Nesse mesmo artigo, Hall apresentou resultados relacionados ao efeito descoberto, posicionando a placa como indicado na figura 11.

Figura 11: Medições realizadas por Hall



Fonte: Philosophical Magazine and Journal of Science, 1880 p.303

De acordo com Leadstone (1979), com a placa na posição indicado pelas linhas cheias, Hall obteve a tensão transversal como o previsto. Girando a placa para a posição mostrada pelas linhas pontilhadas, no entanto, o efeito desapareceu. Com isso, ele estabeleceu que nenhuma diferença de potencial é percebida numa direção paralela às linhas do campo magnético.

Vale destacar que, todas as descobertas e conclusões apresentadas por Hall, ocorreram, aproximadamente, dezoito anos antes da descoberta do elétron, em 1897 por Joseph John Thomson (1856-1940).

Whittaker (1951), destaca que, mais de uma década antes de Hall descobrir o efeito, Oliver Lodge (1851-1940), havia trabalhado experimentalmente no fluxo de eletricidade em uma folha metálica, e chegou muito perto de descobrir o efeito Hall.

Como também havia estudado o volume II da obra de Maxwell sobre Eletricidade e Magnetismo de Maxwell (§ 501), ao contrário de Hall, escolheu considerar as afirmações contidas no parágrafo como verdadeiras, o que o desmotivou a realizar qualquer experimento neste sentido.

O primeiro dispositivo de efeito Hall, que não era semelhante a uma placa Hall (Figura 12), de acordo com Popovic (2003), foi inventado por Suhl e Shockley:

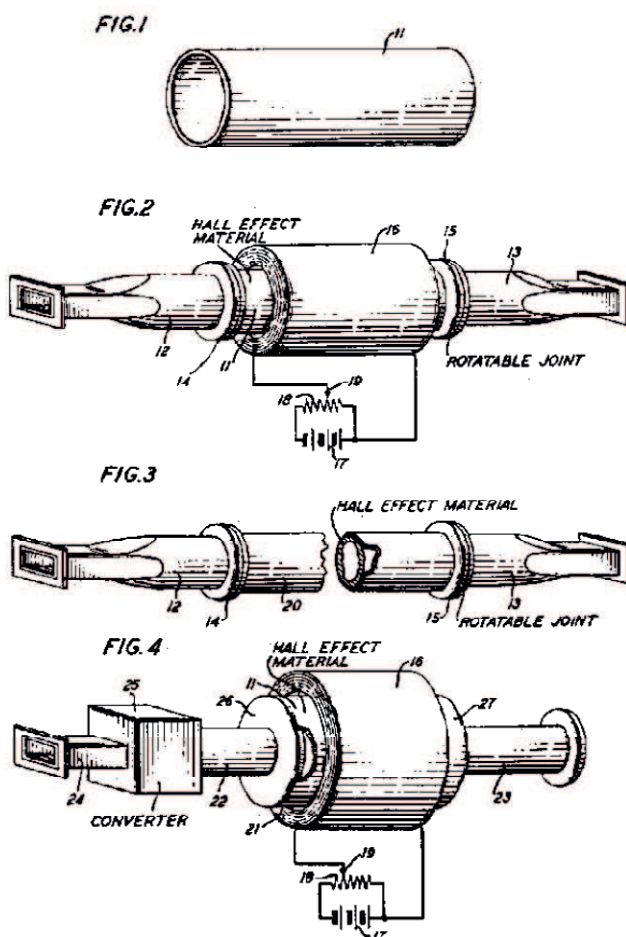
Em 1949, eles estudaram o fenômeno de transporte do transportador em um transistor ponto-contato exposto a um campo magnético externo. Variando o campo magnético, eles foram capazes de modular a condutância de um filamento semiconductor usado como base região do transistor. (POPOVIC, 2003)

Figura 12: Primeiro dispositivo baseado no efeito Hall.

Jan. 19, 1960 H. SUHL 2,922,129

HALL EFFECT DEVICE FOR ELECTROMAGNETIC WAVES

Filed July 8, 1953



INVENTOR
H. SUHL
BY
Hugh S. Wente
ATTORNEY

Popovic (2003), destaca que a utilização dos sensores de efeito Hall nos dispositivos só foi possível a partir do desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores. Este material apresenta uma densidade de portadores de carga menor que os metais, entretanto, podem operar com um número de transportadores de carga bem maior que os metais, como explica Ramsden (2006):

Os materiais semicondutores raramente são usados na sua forma pura. Eles são associados com materiais que aumentam intencionalmente a concentração de elétrons de condução para um nível desejado. Adicionando-se uma substância como fósforo que tem cinco elétrons na última camada de valência aumenta-se o número de transportadores de carga.

Os primeiros sensores magnéticos de efeito Hall tornaram-se comercialmente apenas na metade da década de 1950, alguns anos após a descoberta de semicondutores compostos de alta mobilidade. O fator determinante para a utilização do efeito Hall nos dispositivos ocorreu nas décadas de 1960 e 1970, como aponta Ramsden (2006): “tornou-se possível a construção de sensores de efeito Hall em circuitos integrados com processamento on-board, o que reduziu o custo desses dispositivos, permitindo a sua popularização”.

Os sensores de efeito Hall passaram a ser usados como elementos-chave em sensores sem contato para posição linear, posição angular, velocidade, rotação, corrente elétrica, dentre outras aplicações. Além disso, já foram utilizados na medição precisa de campos magnéticos em aceleradores de partículas, na caracterização de supercondutores e na detectar e caracterizar pequenas partículas magnéticas. .(POPOVIC, 2003)

No ano de 1980, (Prange, 1981) aponta que, enquanto investigava as propriedades do transporte de cargas em gases de elétrons bidimensionais de alta mobilidade submetido a baixa temperatura e forte campo magnético, Klaus von Klitzing descobriu o efeito Hall quântico. Ele percebeu que, para determinadas faixas do campo magnético, a razão entre a diferença de potencial de Hall e a corrente total, na presença do campo magnético, determinava regiões planas no gráfico. Nele a resistência de Hall para cada mostra era um múltiplo inteiro de ne^2/h , onde n é um número inteiro e e é a carga elementar e h é a constante de Planck.

Por essa descoberta, von Klitzing foi laureado com o premio Nobel da Física de 1985.

3.2. Representação do efeito Hall nos livros didáticos

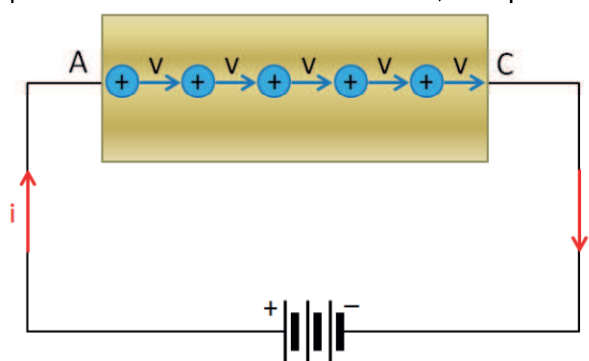
A sequência a seguir ilustra como o efeito Hall costuma ser discutido nos livros atuais de Física, a saber: HALLIDAY, RESNICK, WALKER; Fundamentos da Física, Vol. 3, 8ª Edição, LTC, 2009; TIPLER, Física, Vol 2, 6ª Edição, LTC, 2009.; SEARS, ZEMANSKY, Física, Vol 3, 10ª Edição, Pearson, 2003.

A fita condutora é atravessada por uma corrente elétrica contínua i . Sabendo que o elétron só viria a ser descoberto 10 anos mais tarde da descoberta de Hall. Duas hipóteses são consideradas:

1ª HIPÓTESE: Os portadores de carga são positivos

Nesse caso, portadores de carga positivos se deslocam do polo positivo para o polo negativo da pilha atravessando a tira condutora de A para C (figura 13).

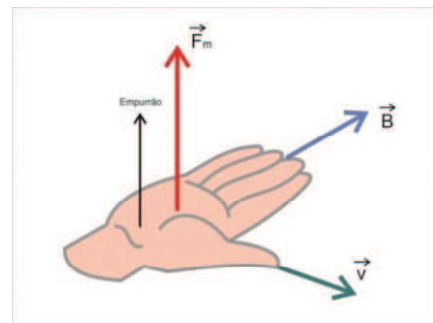
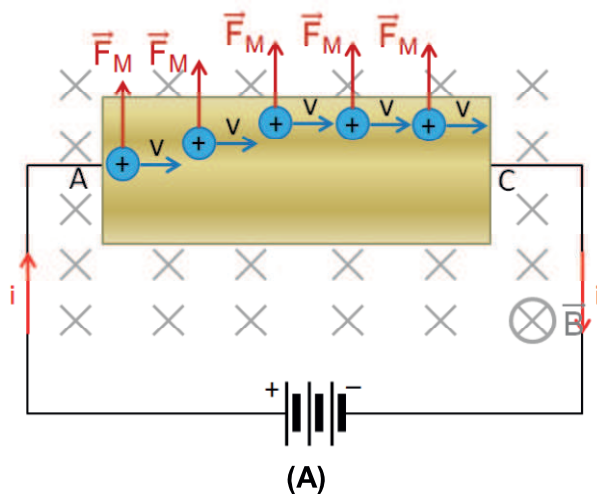
Figura 13: Circuito simples com condutor de Resistência R , com portadores de carga positivos.



Fonte: próprio autor

Aplicando um campo magnético perpendicular à direção da corrente, é possível perceber, com a utilização da regra da mão direita (figura 14 B), que uma força passa a atuar em cada um dos portadores de carga provocando um deslocamento como o representado na (figura 14 A).

Figura 14: (A) Aplicação do campo magnético \vec{B} perpendicular à largura do condutor e penetrando no plano da figura. (B) Regra da mão direita utilizada para a obtenção da direção e sentido da força magnética \vec{F}_M .

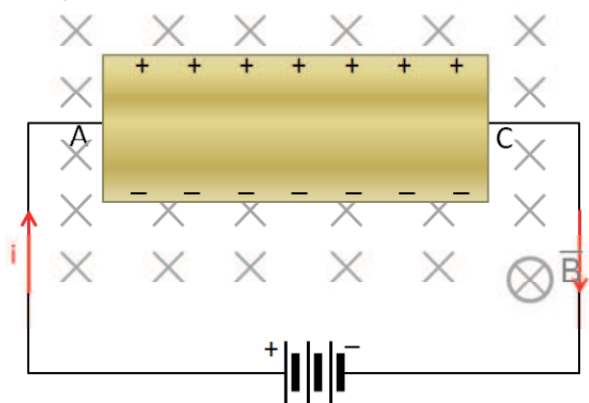


Fonte: próprio autor

Fonte: Os fundamentos da física – volume 3

A parte superior do condutor aparecerá com um acúmulo maior de cargas positivas enquanto que a parte de baixo terá uma maior concentração das cargas negativas (figura 15).

Figura 15: Acúmulo de cargas nas bordas da tira condutora para portadores de carga positivos.

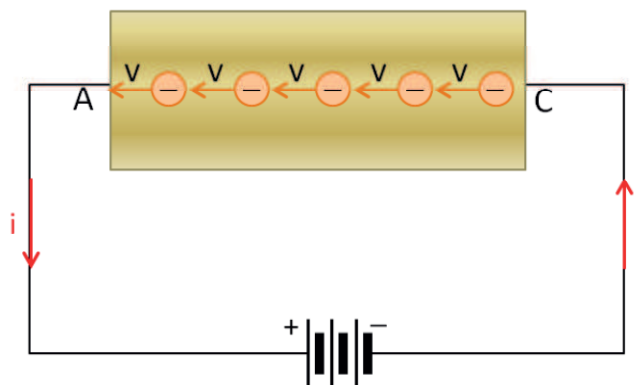


Fonte: próprio autor

2ª HIPÓTESE: Os portadores de carga são negativos

Para esta segunda possibilidade os portadores de carga elétrica fluem do polo negativo da bateria para o polo positivo (figura 16).

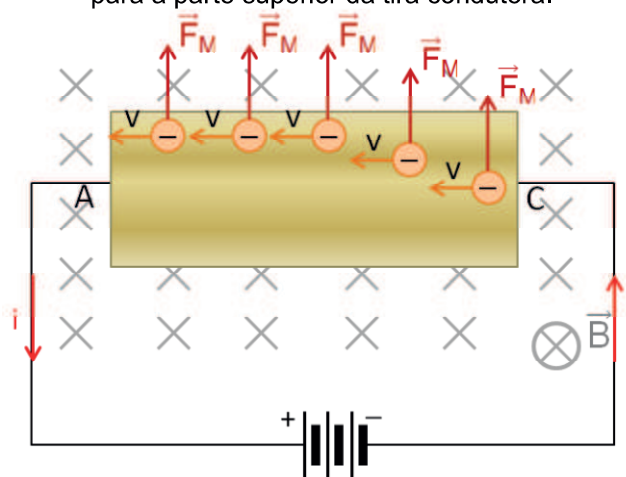
Figura 16: Circuito simples com condutor de Resistência R , com portadores de carga negativos.



Fonte: próprio autor

Produzindo um campo magnético perpendicular à tira condutora, os portadores de carga são deslocados para a parte de cima da tira como mostra a figura 17.

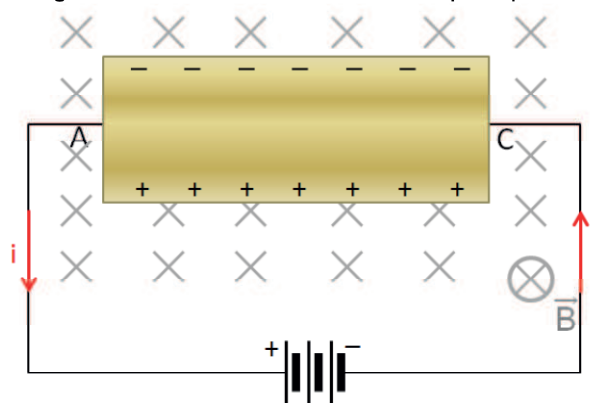
Figura 17: Aplicação do campo magnético \vec{B} provoca o desvio dos portadores de carga negativos para a parte superior da tira condutora.



Fonte: Próprio autor.

A nova configuração alcançada apresenta um maior acúmulo de cargas negativas na parte superior da tira enquanto que na parte inferior será encontrada uma maior concentração de cargas positivas (figura 18).

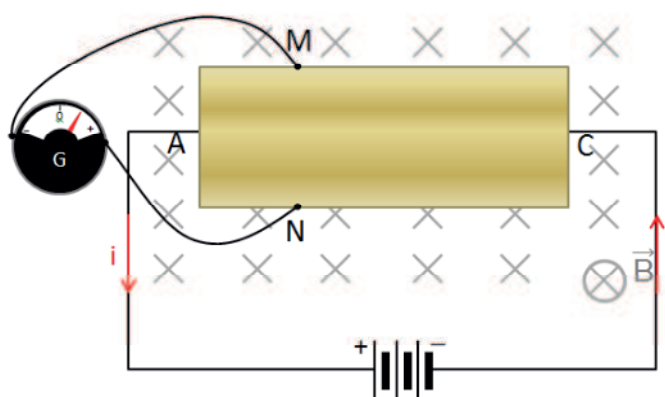
Figura 18: Acúmulo de cargas nas bordas da tira condutora para portadores de carga negativos.



Fonte: próprio autor

Ligando um voltímetro às bordas da tira condutora Hall percebeu uma diferença de potencial maior que zero de M para N, ou seja, o potencial na borda N se mostrou maior que o potencial de M, como ilustra a figura 19.

Figura 19: Medindo a diferença de potencial entre as bordas da tira condutora Hall encontrou um valor diferente de zero.



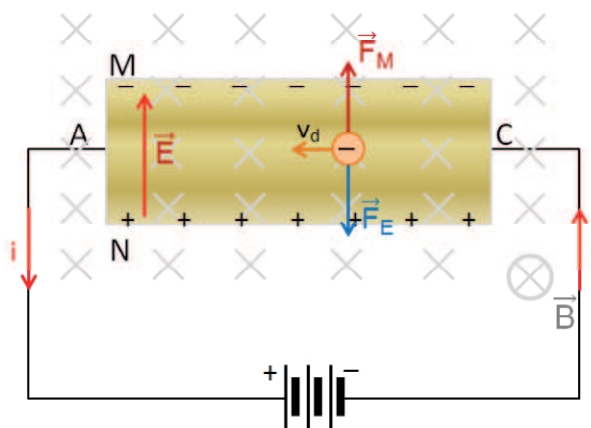
Fonte: próprio autor

A partir do comportamento observado, Hall concluiu que, sendo o potencial da borda M menor que o de N, os portadores de carga elétrica deslocados para a borda superior da tira só poderiam ser negativos, como sugerido na 2ª hipótese.

O deslocamento dos elétrons para a borda da tira condutora não é permanente. No decorrer do tempo, essa separação de cargas produz um campo elétrico \vec{E} na direção vertical de baixo para cima, gerando uma força elétrica crescente até que o equilíbrio com a força magnética que atua em cada partícula é atingido. A partir desse equilíbrio os elétrons passam a se movimentar com a

velocidade de deriva (v_d) e o acúmulo de cargas nas bordas da tira condutora se estabiliza (figura 20).

Figura 20: No decorrer do tempo a força magnética que age em cada elétron é equilibrada pela força elétrica de Hall.



Fonte: próprio autor

Ao campo elétrico de Hall (\vec{E}_H) associa-se o potencial elétrico de Hall (V_H) proporcionalmente à largura (d) da lâmina condutora.

$$V_H = E_H \cdot d \quad \text{Eq.4}$$

No equilíbrio alcançado entre as forças elétricas de Hall e magnéticas, tem-se:

$$F_{EH} = F_M \quad \text{Eq.5}$$

Sendo, $F_E = e \cdot E_H$ e $F_M = B \cdot e \cdot v_d \cdot \sin\theta$ e $\theta = 90^\circ$,

$$e \cdot E_H = e \cdot v_d \cdot B \quad \text{Eq. 6}$$

A velocidade de deriva dos elétrons no condutor é determinada pela relação

$$v_d = \frac{J}{n \cdot e} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que $J = \frac{i}{A}$ representa a densidade de corrente na tira; n é a quantidade de portadores de carga por unidade de volume. Substituindo a equação 4 em 3, obtemos:

$$E_H = \frac{i}{n \cdot e \cdot A} \cdot B \quad \text{Eq. 8}$$

Partindo da equação 1, substituindo na equação 5, obtém-se:

$$\frac{V_H}{d} = \frac{i}{n \cdot e \cdot A} \cdot B \quad \text{Eq. 9}$$

Obtendo,

$$n = \frac{i \cdot d}{V_H \cdot e \cdot A} \cdot B \quad \text{Eq. 10}$$

Sabendo que a área da tira condutora é o produto da distância entre as bordas (d) e a espessura (L), temos:

$$n = \frac{i \cdot B}{V_H \cdot e \cdot L} \quad \text{Eq. 11}$$

A equação 8 permite calcular o número de portadores de carga por unidade de volume.

O efeito Hall também pode ser utilizado para se determinar a velocidade de deriva dos elétrons em um condutor. Movendo-se a tira no sentido contrário ao da velocidade de deriva de tal modo que $\vec{v} = -\vec{v}_d$, (\vec{v} = velocidade de deslocamento da tira em relação ao local onde o experimento é realizado). A velocidade de deriva \vec{v}_d em relação ao mesmo referencial será igual a zero e efeito Hall não será observado. A diferença de potencial também será nula.

3.3. Aplicações do efeito Hall

O efeito Hall é amplamente utilizado nas mais diversas áreas. A seguir serão discutidas três aplicações dos sensores que funcionam baseados nesse efeito.

3.3.1. Sensor de rotação:

Os sensores de rotação são utilizados principalmente como:

- sensor de RPM;
- nos sistemas de injeção sequencial;
- Sensor de velocidade do veículo;
- Sensor de velocidade da roda; utilizados nos sistemas ABS.

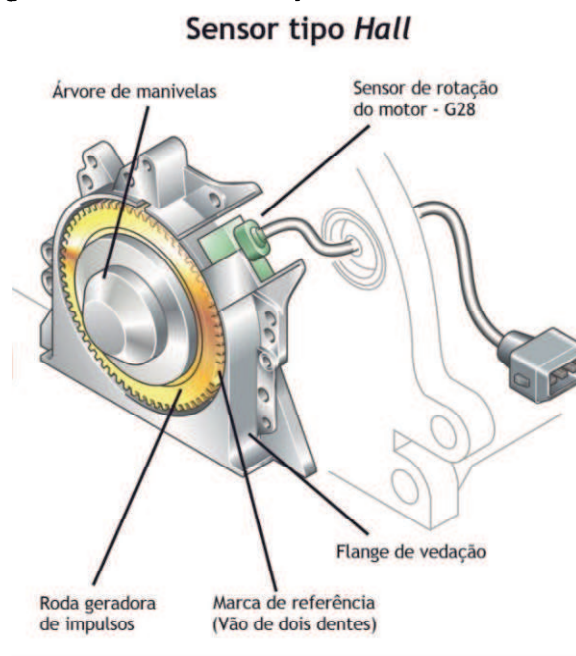
Seu princípio de funcionamento está associado a uma associação do sensor de efeito Hall e uma roda dentada (fônica) ou disco magnetizado alternadamente.

O sensor de efeito Hall é constituído por uma pequena pastilha de material semiconductor circulado por uma corrente contínua. A resistência elétrica da pastilha é sensível à presença de campo magnético.

A variação do campo magnético faz com que a resistência da pastilha varie provocando com isso uma alteração na corrente elétrica que atravessa o circuito. As variações de corrente são convertidas em uma variação de tensão em um circuito eletrônico interno ao sensor

A figura 21 apresenta um sensor de rotação baseado no efeito Hall na configuração utilizada em motores com distribuidor.

Figura 21: Sensor de rotação baseado no efeito Hall.



Fonte: <http://r19club.com>

O rotor se interpõe entre o ímã e o elemento sensível. Ao girar, a alternância de abas e janelas provoca a variação de campo magnético necessária à geração do sinal pulsado. No sensor de efeito Hall, a tensão gerada pelo sensor independe da velocidade de rotação do rotor ou da roda dentada.

Um dos benefícios diretos da aplicação do sensor hall nesse conjunto é o seu uso no funcionamento do câmbio automático. Através do monitoramento da rotação do motor, o sistema aciona a troca de marcha para uma posição mais eficiente, contribuindo para o funcionamento adequado do motor e um menor consumo de combustível.

3.3.2. Sensor de velocidade:

Através do sensor de efeito Hall, é enviado um sinal em forma de onda com frequência proporcional à velocidade do veículo ao módulo de controle do motor (ECM- Engine Control Module), e é normalmente encontrado no câmbio do veículo.

Quando a velocidade do veículo está relativamente baixa o sensor produz um sinal de baixa frequência. À medida que a ela aumenta, o sensor gera um sinal de frequência maior.

O sensor de velocidade também é o responsável pelo acionamento do sistema eletrônico Cut off, responsável pelo gerenciamento de combustível nos motores de combustão interna de veículos, presente nos sistemas de injeção eletrônica e em sistemas carburados modernos.

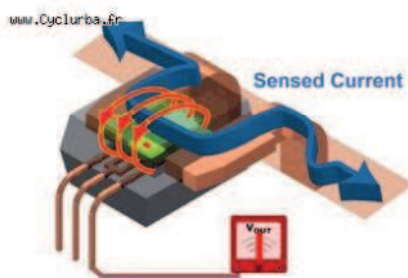
O objetivo é a economia de combustível bem como a diminuição de emissão de poluentes. Sua função é cortar o fluxo de combustível nas situações em que o veículo se mova em declives ou desacelerações, em que esteja engrenado e o acelerador em estado de repouso (desacionado) encontrando-se o motor em rotação elevada por uma transmissão inversa, ou seja, movido pelas rodas do veículo.

Esse sistema, conhecido como Cut off, beneficia não apenas o proprietário do veículo que, com uma condução adequada, terá o consumo de combustível reduzido mas também a natureza ao seu redor, uma vez que as emissões de poluentes na atmosfera será reduzida.

3.3.3. Sensor de corrente elétrica

Nesse dispositivo, quando uma corrente é conduzida internamente a ele, é gerado um campo magnético é eficientemente identificado pelo sensor hall provocando uma tensão de saída que é interpretada no microcontrolador. Através desse sistema é possível medir o consumo de motores, detecção de carga e gestão, controle de conversores de corrente contínua (DC) – corrente alternada (AC), etc.

Figura 22: Sensor de corrente elétrica.



Fonte: www.ciclorba.fr

3.3.4. Smartphones

Uma das funções do sensor de efeito Hall no aparelho é detectar quando um dos seus acessórios está conectado. É o caso de uma capa especial que permite que o usuário possa identificar e atender uma ligação mesmo estando fechada. O Sensor também detecta quando a capa é aberta através da variação do campo magnético, acionando as funções do aparelho.

4. CONSTRUÇÃO DA UEPS

Neste capítulo será detalhada a construção da proposta de UEPS sobre o efeito Hall em cada um dos seus passos que foram propostos por Moreira (2011). Todos os princípios e as ações apresentadas no trabalho buscam provocar em cada estudante uma aprendizagem significativa.

1º passo: Tópico específico a ser abordado.

A escolha do efeito Hall como conteúdo do nosso trabalho está apoiada no grande potencial de contextualização que o assunto possui. Sensores desse efeito desempenham as mais variadas funções em equipamentos e dispositivos conhecidos e de uso diário, tais como: velocímetro de automóveis, leitores de potência de rotação de turbinas de avião, controladores de emissão de gases, tablets, smartphones, dentre outros.

Para que a abordagem desse tópico seja feita, os alunos já deverão ter adquirido conhecimentos relacionados a: corrente elétrica, fenômenos magnéticos e força magnética, necessários à boa compreensão do efeito Hall.

2º passo: criar/propor situação(ções).

Nesta etapa será apresentado o texto “**Dez Sensores usados em smartphones**”. Seu objetivo, além de apresentar os vários tipos de sensores que um smartphone pode apresentar, é o de relacionar seus funcionamentos e funções a conteúdos de Física já estudados pelos alunos. Será proposto que, divididos em grupos de até 4 alunos, façam essa discussão. Logo após as respostas serão apresentadas à turma sempre com a mediação do orientador, quando necessário. As respostas apresentadas serão utilizadas como parâmetro para que a relevância dos conhecimentos prévios apresentados por cada aluno, necessária para uma aprendizagem significativa, seja analisada.

3º passo: Propor situações-problema iniciais (nível introdutório):

Para esse momento, será apresentado o vídeo “*Nexus 5: Hall Effect Sensor Demonstration*” (33 segundos) onde, a partir dele se buscará instigar os alunos a analisarem e reforçarem conceitos básicos de eletromagnetismo e traçarem hipóteses a respeito do comportamento do aparelho celular quando, dele aproximamos um ímã. Em seguida a essas discussões propõe-se uma abordagem histórica à cerca do efeito Hall discutindo o contexto no qual o fenômeno foi

descoberto e procurando relacioná-lo às formas de como o conhecimento científico é construído, às vezes, cometendo-se vários erros até que se obtenha êxito nas investigações. Nesse momento não será feita nenhuma discussão matemática do fenômeno. É apresentado o texto “A descoberta do efeito Hall” que o orientador de sala pode utilizar como fomento para sua abordagem.

4º passo: Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido.

O efeito Hall será investigado na simulação desenvolvida no Modellus. A partir do que já foi trabalhado nos passos anteriores, e das afirmações apresentadas por Maxwell a respeito da ação de um campo magnético em um condutor retilíneo e o posterior estudo feito por Hall, simularemos as experiências que levaram ao descobrimento do efeito que hoje leva se nome. Para Munford (2007),

O ensino por investigação se configura como uma importante estratégia para uma aprendizagem mais interativa, estimulando os alunos a apresentarem explicações científicas para algo mais do que os discursos autoritários, prescritivos e dogmáticos. (MUNFORD, CASTRO E LIMA, 2007, p. 110)

Cada grupo terá oportunidade de manipular o simulador. Nele é possível definir os valores:

- da intensidade de corrente elétrica que atravessa o experimento ($i_{\min} = 0$ e $i_{\max} = 10$ A);
- do campo magnético perpendicular á face da tira de ouro ($B_{\min} = 0$ e $B_{\max} = 5$ T);
- da velocidade v da tira em relação ao campo magnético ($v_{\min} = 0$).

O objetivo desta etapa é os alunos investigarem como a intensidade da tensão transversal à corrente principal se altera com a mudança no valor desses parâmetros. São propostas duas tabela que deverão ser preenchidas com os valores da corrente elétrica, do campo magnético e da respectiva tensão de Hall. Os resultados obtidos serão utilizados para a construção dos gráficos para que sejam analisadas as relações entre a tensão transversal à corrente principal a intensidade de corrente elétrica e a intensidade do campo magnético.

5º passo: Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo.

Através de uma exposição oral, o professor apresentará os aspectos microscópicos do efeito Hall, como a força de Lorentz que atua em cada partícula condutora e provocando a diferença de potencial entre as laterais da lâmina condutora. O orientador deverá discutir com os alunos como é possível concluir, através do experimento de Hall, que a carga dos portadores é negativa.

6º passo: Retomar as características mais relevantes do conteúdo.

Esse aspecto tem como objetivo alcançar a reconciliação integrativa. Busca-se a relação entre o conteúdo apresentado ao indivíduo e seus conhecimentos prévios procurando reduzir discrepâncias entre eles. Será apresentado um vídeo que trata da utilização do efeito Hall no monitoramento de velocidade de uma automóvel e em um sistema de economia de combustível.

7º passo: Avaliação da aprendizagem.

Na verificação da aprendizagem, como forma avaliativa, serão sugeridas algumas atividades tais como situações problemas em um contexto inédito ao que foi exposto nas aulas. Além disso todo o desempenho mostrado nas atribuições de tarefas ao longo da exposição do conteúdo será considerado. Serão sugeridas a realização de pesquisas que discutam as aplicações do efeito Hall nos dispositivos eletrônicos e seu princípio básico de funcionamento.

Na elaboração da UEPS sobre o efeito Hall buscam-se ações que possam provocar no estudante conexões entre o que ele já conhece e o novo conteúdo. O professor se apresenta como um mediador do conhecimento, ajudando no relacionamento das ideias e no contexto em que podem ser aplicadas. Ao mesmo tempo deve se colocar no papel de desafiador, provocando nos alunos a necessidade de buscar em outros contextos, respostas para os fenômenos observados.

5. RELATO DE EXPERIÊNCIA

5.1. Introdução

Neste trabalho são apresentadas as experiências adquiridas na aplicação de uma UEPS no 3º ano do ensino integrado de música do Instituto Federal da Paraíba – IFPB, Campus – Monteiro, realizadas nos dias 16/10/2017 e 23/10/2017 em dois encontros de 100 minutos cada um.

É um trabalho de extrema relevância, uma vez que tem potencial de interferir positivamente na conduta do profissional da educação, afetando os diversos problemas comumente encontrados no universo escolar, pedagógicos ou externos a essa instituição.

Nessa perspectiva, a realização de um trabalho com qualidade também interfere diretamente na vida dos educandos, sobretudo, nas suas deficiências: cognitivas, emocionais, sociais e econômicos os quais dizem muito acerca da forma como se apropriam do conhecimento que se adquire na escola. Não há aqui, intenção de se apresentar um trabalho redentor da difícil realidade encontrada na maioria das escolas, entretanto, propomos uma prática para aprimorar ambos os atores do meio escolar, consolidando uma construção simultânea nas vidas do professor e de seus alunos.

Na execução deste projeto, particularmente na utilização do simulador do efeito Hall por cada grupo, foi percebido que muitos dos discentes se mostraram aptos a descobrir, questionar, saber, conhecer, conversar, interagir, quando o conteúdo se mostrou compreensível e inserido no seu contexto diário. Isso pode revelar o quão o conhecimento sequenciado, programado interfere positivamente na vida do professor e do educando como um ponto de interação para a (des) construção do saber; além disso, a curiosidade presente nos alunos reforça a ideia de que para aprender é preciso querer.

Conforme Libâneo, o planejamento escolar propõe uma tarefa ao professor de previsão e revisão do processo de ensino completamente. Nesse sentido, o processo de elaboração das sequências didáticas as quais dão suporte a quaisquer trabalhos que são organizados é um pensar acerca do que pode ser executável na prática associado ao que realmente o aluno precisa se apoderar enquanto conhecimento para construção de si mesmo, de novas ideias, de novos pensamentos e novos saberes.

Dado desafio de captar o que de fato importa no processo de ensino e aprendizagem, todo professor que se sensibiliza com a realidade do aluno para planejar aula é, acima de tudo, um ser atento ao processo educativo. Uma vez que, ensinar não é somente transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção, conforme o pensamento de Paulo Freire. E uma das possibilidades que se cria para a construção do conhecimento é o ato de se planejar a cada aula que o professor se propõe a executar no cotidiano. Segundo Libâneo (1994):

“ Os principais requisitos para o planejamento são os objetivos e tarefas da escola democrática; as exigências dos planos e programas oficiais; as condições prévias dos alunos para a aprendizagem; e as condições do processo de transmissão e assimilação ativa dos conteúdos.”

Nessa perspectiva, vê-se a importância de organizar a temática da aula e os conteúdos a partir da realidade em que o aluno se encontra, para que o processo de mediação do professor seja eficiente no sentido de atingir os objetivos aos quais se propôs na realização desta etapa.

5.2. Relatório das pesquisas bibliográficas

Quando o conteúdo deste trabalho foi definido em reunião com o orientador Everton, delineamos a estratégia que deveria ser implementada para a realização das tarefas. Ficou determinado que, inicialmente, seria feita a pesquisa bibliográfica sobre as teorias de aprendizagem que podem ser contempladas numa UEPS de forma a extrair o máximo do seu potencial facilitador da aprendizagem. Nesse sentido, foram considerados os trabalhos de Ausubel e sua teoria da aprendizagem significativa, principal apoio da sequência didática Novack, Tavares e Marco Antonio Moreira, este, quem propôs a UEPS como uma outra técnica possível de ser utilizada.

Os textos e livros foram facilmente encontrados em sites da internet ou compartilhados em drives virtuais. Além disso, foram utilizados apostilas e livros cedidos pelo professor Everton e pela professora Ana Paula Bispo, o que ajudou no direcionamento das pesquisas.

Em seguida das pesquisas sobre teorias da aprendizagem, iniciamos a procura sobre o conteúdo eleito para a UEPS, o efeito Hall, o que se mostrou o

maior desafio deste trabalho. Os primeiros livros pesquisados eram destinados ao ensino médio:

- Helou, Gualter e Newton. **Tópicos de Física**, Vol. 03, 16ª Ed. Editora Saraiva, 2010.
- GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física**, Vol 3. São Paulo: Ática, 2010..
- KAZUHITO, Yamamoto, FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio** Vol 3 São Paulo: Saraiva, 2011.
- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da, ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física, Vol 3**. São Paulo: Scipione, 2000.
- Ramalho, Nicolau e Toledo. **Os Fundamentos da Física**, Vol. 03, 11ª Ed. Editora Moderna. São Paulo, 2015.
- CALÇADA, Caio Sérgio. SAMPAIO, José Luiz,. **Física Clássica - Eletricidade** - . São Paulo: Atual, 1998.

Em nenhuma das bibliografias citadas, foi encontrada a mínima referência relacionada ao efeito Hall ou suas aplicações, embora fossem tratados, na maioria deles, os pré-requisitos para que o assunto fosse abordado. Por outro lado, nas publicações destinadas ao ensino da Física básica nos cursos superiores, o tópico de efeito Hall foi tratado com muita brevidade, em alguns casos, ocupando apenas uma página e se concentrando na demonstração matemática do número de portadores de carga por unidade de volume ou da diferença de potencial de Hall: Nesta etapa os títulos pesquisados foram:

- TIPLER, P. A., MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros - eletricidade e magnetismo**, ótica. 5.ed. LTC, 2006.]
- LUIZ, Adir Moisés. **Eletromagnetismo, Teoria e problemas resolvidos**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2009.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; E. WALKER, J. **Fundamentos da Física**. V. 3. 7.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. F. **Física III** . 10.ed. Prentice-Hall, 2003

A ausência desse conteúdo nos livros mais utilizados nas escolas de ensino médio e nas universidades dificultou bastante a execução desse trabalho. Diante dessa dificuldade, os orientadores sugeriram a leitura do livro. “A Source book in Physics” William Francis Magie. Escrito em 1969, trazia o artigo escrito por Hall

detalhando o que o motivou a fazer esse experimento e os resultados obtidos. A partir desses relatos e das referências que ele fazia a pesquisadores como: Gustav Heinrich Wiedemann, Henry Augustus Rowland, Erik Edlund, James Clerk Maxwell; foi montado todo o contexto considerado por Hall como, por exemplo, a afirmação feita por Maxwell que estava em contradição com os dados experimentais e que é relatado neste trabalho.

Uma vez compreendidas todas as grandezas e teorias envolvidas no efeito Hall buscamos as aplicações práticas onde o fenômeno é utilizado. Descobrimos que existem vários livros que trazem as aplicações do efeito Hall em sensores que levam seu nome. Eles são utilizados de diversas formas e em vários dispositivos do uso diário. Tal descoberta foi surpreendente porque, passei a questionar o motivo pelo qual uma aplicação tão importante, presente nos smartphones, carros, portas de abertura automática, dentre outros, cujos conteúdos básicos para sua compreensão já fazem parte do conteúdo comum das escolas, não é trabalhado? Esse questionamento também contribuiu como motivador à construção dessa UEPS sobre efeito Hall e anexada no trabalho.

5.3. Aplicação da UEPS

AULA 1 – 1º encontro – 16/10/2017 (100 minutos)

TEMA: Efeito Hall – Sensor de efeito Hall

OBJETIVOS: Apresentar os diversos sensores presentes em um smartphone e suas funções, com ênfase para o sensor de efeito Hall; Expor como foi descoberto o efeito e o que motivou as investigações de Edwin Hall.

A aula foi iniciada com a apresentação do tema “Sensores dos smartphones – Sensor de efeito Hall” como exemplos de aplicações dos efeitos eletromagnéticos nos dispositivos comumente usados por todos. Os alunos foram orientados a formarem grupos de 4 pessoas (Figura 23) e, na sequência, cada um dos alunos recebeu o texto “**Dez Sensores usados em smartphones (Adaptado)**” para que fizessem uma leitura individual.

Figura 23: Divisão dos grupos



Após a leitura do texto, foi orientado a cada um dos grupos que, a partir das informações contidas no texto e dos conhecimentos dos fenômenos físicos conhecidos por cada um, procurasse relacionar cada um dos sensores com os fenômenos físicos em que se baseiam seu funcionamento. As respostas apresentadas por cada um dos grupos estão relacionadas na tabela abaixo.

Tabela 1: Respostas apresentadas pelos grupos

Sensores	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Batimentos cardíacos	<i>Luz e ondas</i>	<i>Reflexão da luz e ondas</i>	<i>Luz</i>	<i>Ondas e óptica</i>	<i>Luz</i>
Giroscópio	<i>Gravidade</i>	<i>Utiliza o GPS</i>	<i>Gravidade</i>	<i>Não soube responder</i>	<i>Gravidade</i>
Luz RGB	<i>Uso da luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>
Proximidade	<i>Não deixa a luz entrar no sensor.</i>	<i>luz</i>	<i>Impedir que a luz chegue ao celular.</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>
Gestos	<i>luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>	<i>luz</i>

Sensores	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Barômetro	GPS	GPS	GPS	GPS	GPS
Acelerômetro	GPS	GPS	GPS	GPS	GPS
Efeito Hall	Não soube responder	A capa tem um circuito escondido.	Não soube responder	Não soube responder	Não soube responder
Biométrico	Luz	Luz e onda	Pressão e luz	Luz	Luz
Geomagnético	Campo magnético	GPS e Magnetismo	Campo Magnético da Terra.	Campo magnético	Magnetismo

Ao final dessa atividade, iniciamos uma discussão entre os grupos a cerca das respostas que cada um apresentou. Este momento foi útil para corrigir, complementar e acrescentar as ideias apresentadas. (Figura 24)

Figura 24: Discussão das respostas apresentadas



Foi explicado aos grupos que:

- todos os sensores funcionam devido à corrente elétrica provocada por uma diferença de potencial no circuito do smartphone;

- os tópicos de Física necessários á compreensão do funcionamento do sistema GPS são: as ondas eletromagnéticas, emitidas pelos satélites de posicionamento e decodificados no smartphone dando informações de latitude, longitude e altitude, como também conteúdos de mecânica, como a de colocar os satélites em órbita;
- o sensor de proximidade se baseia na emissão e absorção de ondas infravermelhas refletidas pelo corpo que está próximo dele.
- o sensor de efeito Hall se baseia em efeitos eletromagnéticos.

Aproveitando esse momento para reforçar a curiosidade quanto ao efeito Hall, foi exibido o vídeo "*Nexus 5: Hall Effect Sensor Demonstration*" (33 segundos), disponível no endereço eletrônico <https://www.youtube.com/watch?v=ITbT5vrvhX8>., onde é mostrado que com a aproximação de um ímã de um autofalante a tela é desligada e, quando o ímã é afastado, a tela volta a ligar. A partir do vídeo, foram feitos os seguintes questionamentos para todos os grupos:

- 1) O que acontece com a tela do aparelho quando aproximamos o ímã?
- 2) Por que a tela do celular acende quando o ímã é afastado?
- 3) O fenômeno ocorre com o ímã próximo a qualquer parte do smartphone ou em alguma área específica?
- 4) Qual hipótese você sugere para a interação que o campo magnético do ímã provoca ao ser aproximado do aparelho?

Naturalmente que, à primeira pergunta, as respostas foram unânimes: "*quando o ímã se aproxima da tela, ela se apaga*". Em relação à segunda questão, um dos alunos respondeu que "*alguma coisa deixava de ser atraída pelo ímã, fazendo o aparelho funcionar*". Todos concordaram também, que o fenômeno só ocorria quando o ímã era posicionado numa parte específica da tela do aparelho. Sobre a hipótese de qual interação o campo magnético provocava com a tela, alunos do grupo 2 disseram que "*o ímã deve estar atraindo o sensor de efeito Hall*". Além dessa, nenhuma outra possibilidade foi levantada.

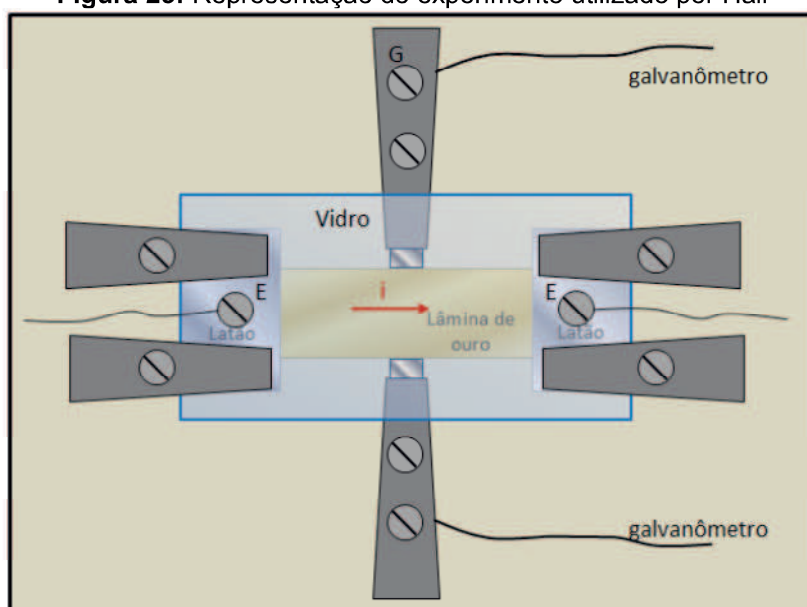
Antes de avançarmos para outra etapa da aula, um dos alunos questionou: "*por que quando o ímã é aproximado da tela do aparelho não provocava uma distorção na imagem, como aquelas que se viam nos televisores antigos? O ímã não prejudica o funcionamento do celular?*" Então, foi explicado a toda turma que, nos televisores antigos, a imagem era formada na tela a partir da emissão de um feixe de elétrons, e como visto anteriormente nos assuntos de força elétrica, estas

partículas interagem com o campo magnético, o que não é o caso das imagens dos smartphones, cuja tela são de LED, um diodo emissor de luz ou OLED, uma tecnologia mais avançada que utiliza diodos orgânicos emissores de luz que não interagem diretamente com o campo magnético. Além disso, foi lembrado à turma que, através da regra da mão direita é possível descobrir como ocorre o desvio desses elétrons.

No momento seguinte da aula, foi feita uma abordagem histórica à respeito do efeito Hall. A apresentação se realizou através de uma exposição oral onde foram apresentados o nome do seu descobridor - Edwin Herbert Hall, onde nasceu e em qual período, bem como a ocasião em que as pesquisas dirigidas por ele foram realizadas e qual foi sua motivação: Hall discordou de uma afirmação feita em um dos livros de Maxwell à respeito da interação que ocorria entre o fio condutor, a corrente elétrica e um campo magnético perpendicular a estes. Maxwell afirmava que a interação ocorria exclusivamente entre o campo magnético e o condutor e não com a corrente enquanto os experimentos da época apontavam no sentido contrário.

Foi projetada no quadro a figura abaixo que serviu de apoio para a explicação de como o experimento que obteve sucesso ocorreu (figura 25)

Figura 25: Representação do experimento utilizado por Hall



Fonte: Próprio autor

Foi exposto que:

- o experimento era composto por uma fina lâmina de ouro de 2 cm x 8 cm, protegida por um vidro onde foi feito um contato com lâminas de latão por onde a corrente elétrica atravessava;
- a corrente elétrica principal entrava pelo parafuso E da esquerda e saía pelo da direita;
- nas laterais da lâmina de ouro, outros contatos ligavam aos polos de um galvanômetro.
- com a corrente elétrica principal atravessando a lâmina, Hall provocou um campo magnético perpendicular ao plano da lâmina e, com isso, foi observado uma deflexão na agulha do galvanômetro, o que poderia ser entendido como uma pequena corrente que passou a fluir perpendicularmente ao sentido da corrente principal. Mas, para que essa nova corrente fosse estabelecida, era necessária uma diferença de potencial perpendicular ao condutor. Com os conhecimentos de força magnética aprendidos em aulas anteriores, foi utilizada a regra da mão direita para concluirmos que, um deslocamento de elétrons ocorria para uma das laterais enquanto que a outra apresentava excesso de prótons, causando assim, a d.d.p. descoberta.
- Foi esclarecido também que, com os conhecimentos que temos hoje, fica relativamente fácil chegarmos a essa conclusão, mas à época, o elétron ainda não havia sido descoberto e que, a carga do fluido elétrico era considerada positiva. Foi sugerido aos alunos pesquisar como se deu a descoberta do sinal negativo das cargas condutoras.
- o fenômeno observado recebeu o nome de efeito Hall e hoje é utilizado em sensores com os mais diversificados fins.

Como exercício de aprofundamento, foi sugerido aos grupos que pesquisassem mais a respeito do efeito Hall e suas aplicações para serem discutidas no próximo encontro.

AULA 2 – 2º encontro 23/10/2017 (100) min

TEMA: Efeito Hall: conhecer a relação entre o potencial de Hall, o campo magnético e a intensidade de corrente principal.

OBJETIVOS: compreender como o efeito Hall acontece em um condutor; Descobrir a relação entre a tensão de Hall, a intensidade de corrente principal e o campo

magnético; Investigar a atuação de um sensor de efeito Hall no monitoramento de velocidade de um automóvel.

No início desse novo encontro, os alunos formaram os grupos da aula anterior. Foi pedido que apresentassem o resultado das pesquisas sugeridas a respeito da aplicação dos sensores de efeito Hall. Os resultados apresentados pelos alunos foram:

- em impressoras, na detecção de falta de papel;
- indicadores de nível de combustível;
- medidor de rotação em máquinas de lavar e
- no sistema de abertura automática de portas de Shopping.

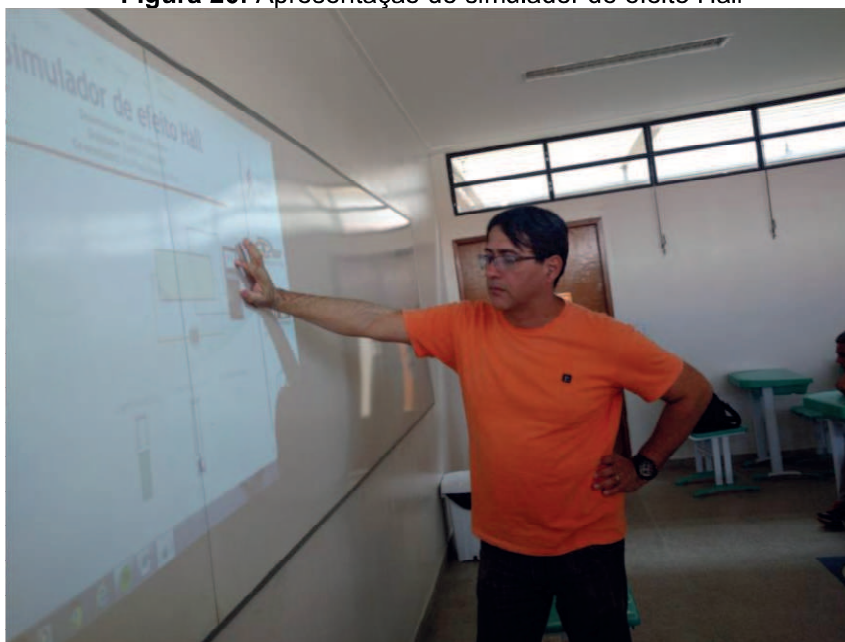
A partir das respostas apresentadas, discutimos novamente, quais fenômenos físicos poderiam estar presentes no funcionamento de cada equipamento. Nesta hora, além dos fenômenos relacionados à óptica os alunos lembraram de incluir a eletricidade e o magnetismo como sendo necessários ao funcionamento de cada um deles.

Para enriquecer os exemplos apresentados e para apresentar um outro sistema que se utiliza dos sensores hall, foi apresentado o vídeo “*Economizando combustível | Sistema Cut Off da injeção eletrônica*” disponível em https://www.youtube.com/watch?v=ill5ENP_W0Tc. O vídeo trata de uma demonstração como o sistema de economia de combustível funciona. Quando o carro está em movimento e o motorista se depara com um declive, é prática comum nos carros com câmbio manual, colocar a marcha em ponto morto com a intenção de economia de combustível o que é desmistificado pelo vídeo e que trata de mais uma das aplicações dos sensores de efeito Hall.

Para que os alunos compreendessem a base do funcionamento desses sensores, os grupos foram orientados a utilizarem um simulador de efeito Hall desenvolvida no programa Modellus, para que investigassem a relação existente entre: a diferença de potencial transversal ao condutor (potencial de Hall) e as intensidades do campo magnético e da corrente elétrica

O aplicativo foi projetado no quadro e suas funcionalidades foram apresentadas (figura 26):

Figura 26: Apresentação do simulador de efeito Hall



- barra de intensidade de campo magnético: valor mínimo = 0 T – valor máximo = 5 T.
- barra de intensidade de corrente elétrica: valor mínimo = 0 A – valor máximo = 10 A.
- voltímetro;
- representação de campo magnético igual a zero e diferente de zero.

Uma demonstração da utilização do aplicativo foi realizada para que os alunos se inteirassem do seu funcionamento. Foram escolhidos, aleatoriamente, valores de campo magnético e intensidade de corrente elétrica. Instantaneamente, o voltímetro indica a diferença de potencial de Hall. Os alunos foram alertados que, assim como no experimento original, a intensidade da d.d.p. indicada no voltímetro era muito baixa, da ordem de microvolts.

Cada componente do grupo recebeu a lista de orientações e tarefas mostrada abaixo, para serem realizadas com a utilização do simulador de efeito Hall. Em seguida os grupos se revezaram na utilização do simulador de efeito Hall para a coleta de dados. (figuras: 27, 29, 31, 33, 35)

Lista de orientações e tarefas

1. Utilizando o simulador de efeito Hall, execute as tarefas indicadas a seguir:

- 1) Escolha um valor fixo entre 1 T e 5T para o campo magnético;
- 2) Altere o valor da corrente anotando cada um dos correspondentes valores indicados no voltímetro na tabela abaixo.

Campo magnético: ___ T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)

2. Agora, escolha um valor fixo, maior que zero, para a corrente elétrica e, alterando o valor do campo magnético, anote os valores correspondentes da diferença de potencial indicada no voltímetro.

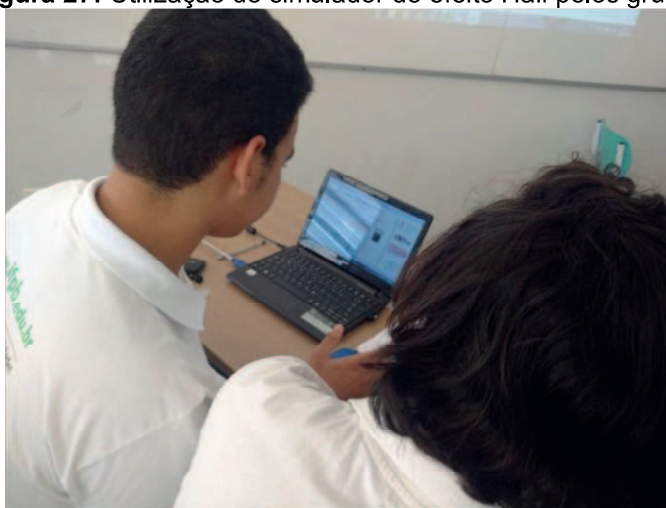
Corrente elétrica: ___ A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
 - 1) D.d.p. x corrente
 - 2) D.d.p. x Campo magnético
4. A partir dos gráficos responda as perguntas seguintes:
 - 1) O que ocorre com o valor da d.d.p. quando a intensidade de corrente é aumentada? E quando a intensidade do campo magnético é aumentada?
 - 2) Como se altera o valor da d.d.p. quando a intensidade de corrente é duplicada?
 - 3) Se triplicarmos o valor do campo magnético, como a d.d.p. indicada no voltímetro se altera?

- 4) Diante dos resultados obtidos, qual a relação que existe entre a d.d.p., a corrente elétrica e o campo magnético?

A seguir, alguns dos resultados obtidos pelos grupos no primeiro e no segundo exercícios.

Figura 27: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos



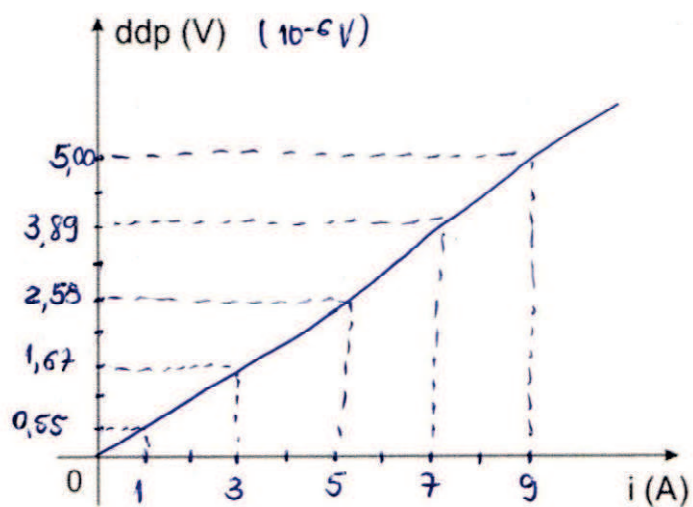
GRUPO 1

Campo magnético: <u>1</u> T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)
1	0,55
3	1,67
5	2,58
7	3,89
9	5,00

Corrente elétrica: <u>2</u> A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)
1	1,11
2,5	2,78
4	4,44
5	5,56
3,5	3,89

Figura 28: Gráfico apresentado pelo grupo I

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
 1) D.d.p. x corrente



- 2) D.d.p x Campo magnético

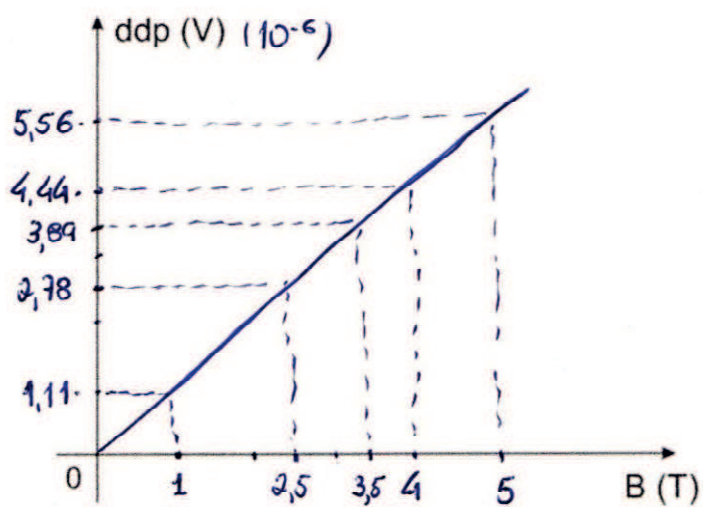
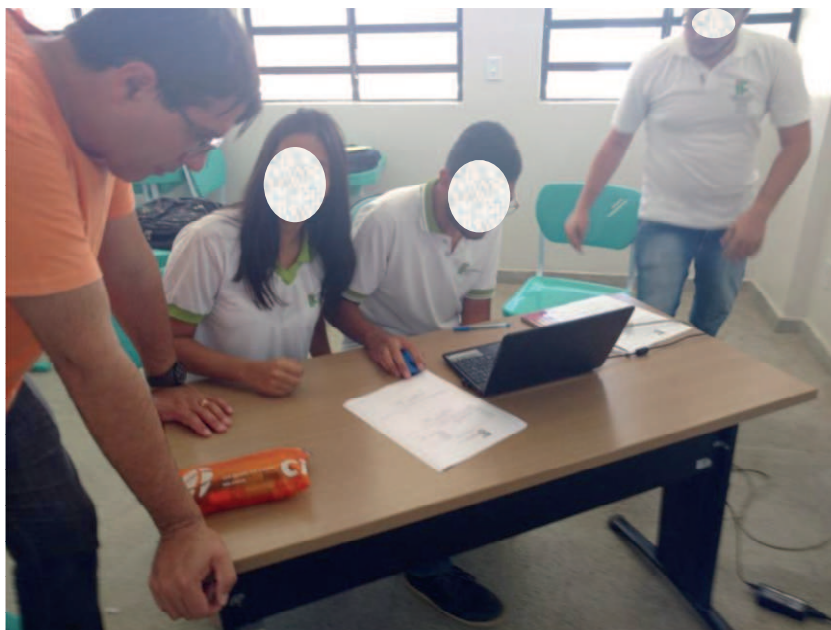


Figura 29: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos



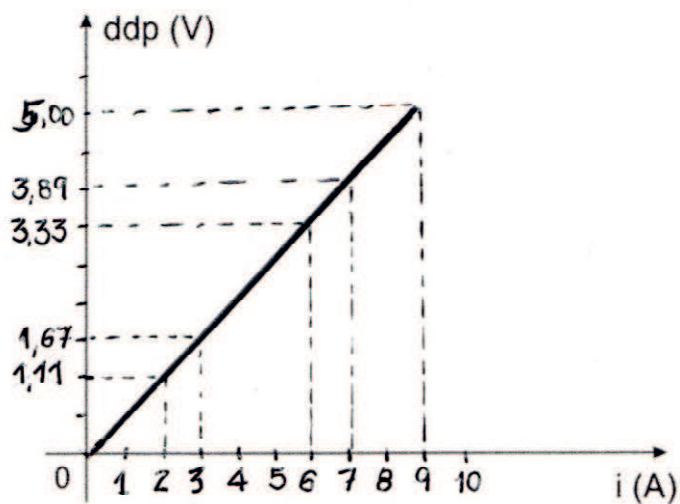
GRUPO 2

Campo magnético: <u>1</u> T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)
2,00	1,11
3,00	1,67
6,00	3,33
7,00	3,89
9,00	5,00

Corrente elétrica: <u> </u> A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)
1,00	3,33
2,50	8,33
3,00	1,00
4,50	1,50
5,00	1,67

Figura 30: Gráfico apresentado pelo grupo 2

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
 1) D.d.p. x corrente



- 2) D.d.p x Campo magnético

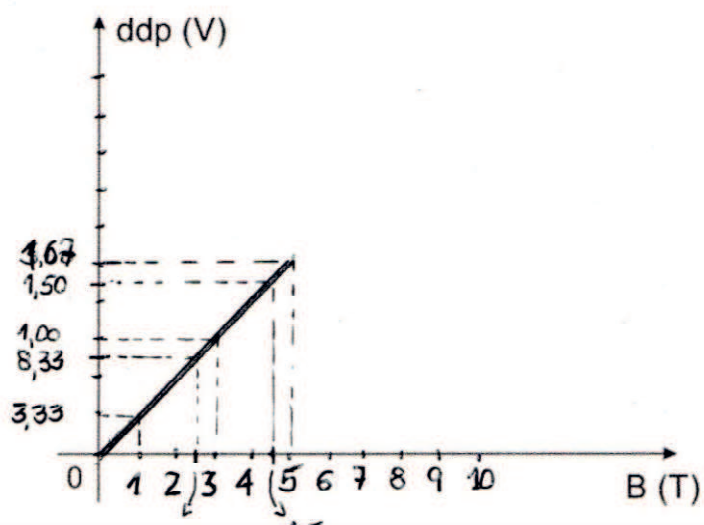


Figura 31: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos



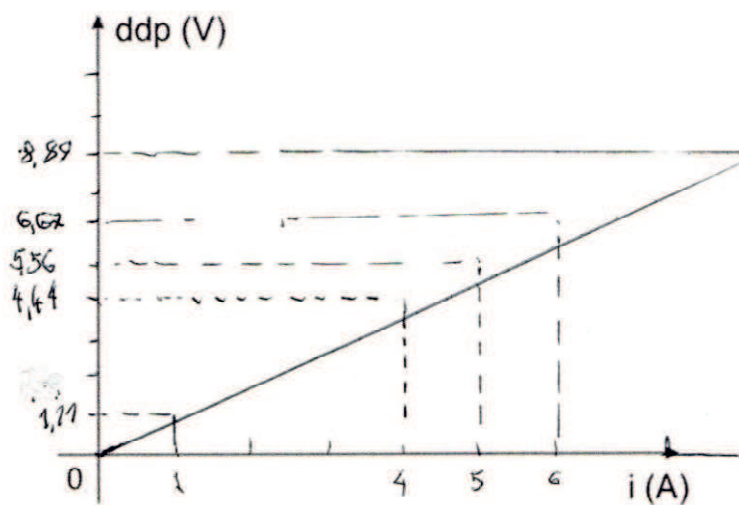
GRUPO 3

Campo magnético: _2_ T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. ($10^{-6}V$)
6	6,67
1	1,11
8	8,89
4	4,44
5	5,56

Corrente elétrica: _4_ A	
Campo magnético (T)	d.d.p. ($10^{-6}V$)
1,5	3,33
3	6,67
0,5	1,11
4	8,89
2	4,44

Figura 32: Gráfico apresentado pelo grupo 3

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
 1) D.d.p. x corrente



- 2) D.d.p x Campo magnético

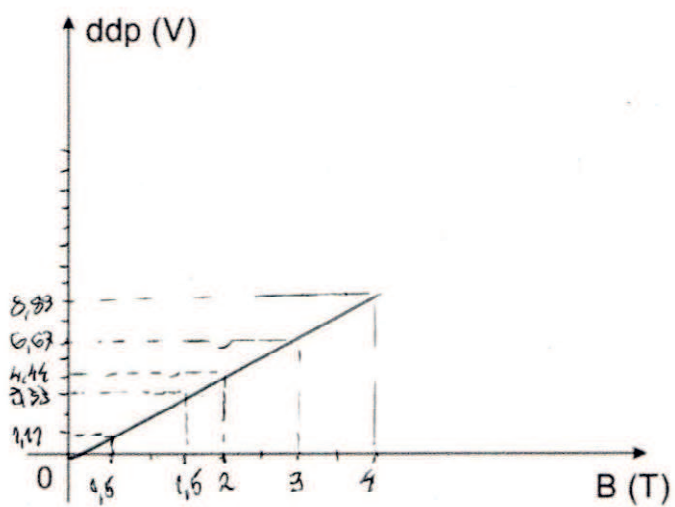


Figura 33: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos



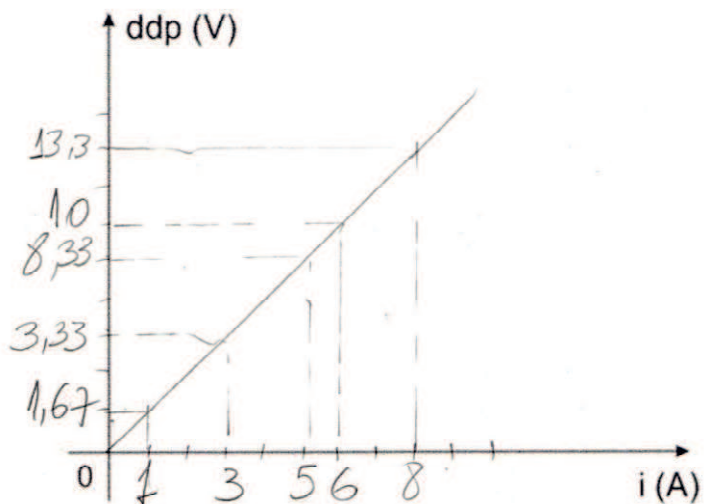
GRUPO 4

Campo magnético: <u>3</u> T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)
8	13,3
5	8,33
6	10,0
3	3,33
1	1,67

Corrente elétrica: <u>2</u> A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)
3	3,33
4	4,44
3,5	3,89
1	1,11
1,5	1,67

Figura 34: Gráfico apresentado pelo grupo 4

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
 1) D.d.p. x corrente



- 2) D.d.p x Campo magnético

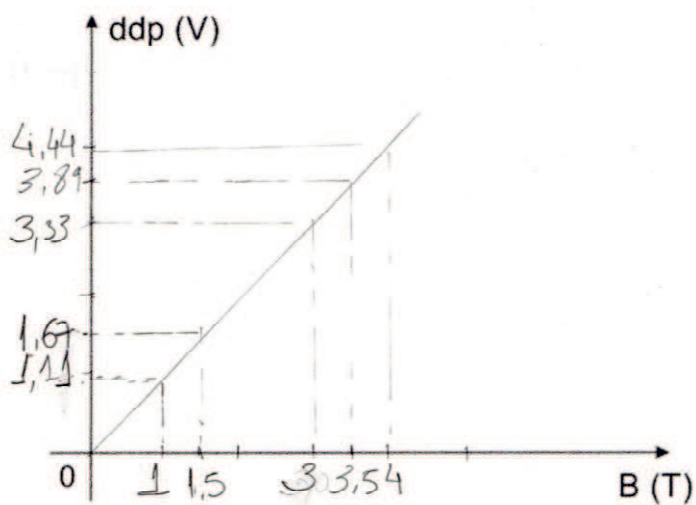


Figura 35: Utilização do simulador de efeito Hall pelos grupos



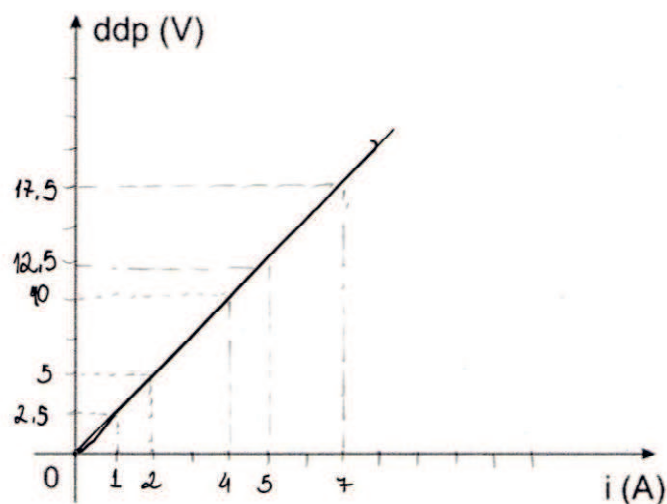
GRUPO 5

Campo magnético: <u>2</u> T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)
5,00	12,50
7,00	1,75
1,00	2,50
4,00	10,00
2,00	5,00

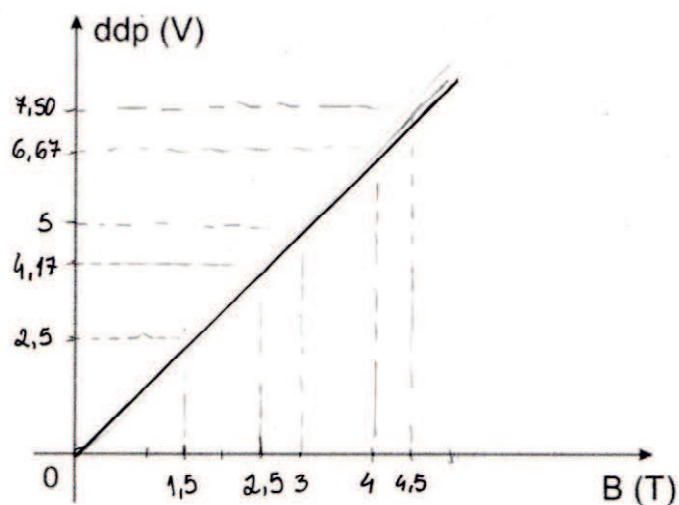
Corrente elétrica: <u>3</u> A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)
1,50	2,50
2,50	4,17
3,00	5,00
4,00	6,67
4,50	7,50

Figura 36: Gráfico apresentado pelo grupo 5

3. Com os valores obtidos em cada tabela, construa gráficos:
1) D.d.p. x corrente



- 2) D.d.p x Campo magnético



Tendo como partida as tabelas, os grupos construíram os gráficos da d.d.p. em função da corrente elétrica e em função do campo magnético. Alguns grupos tiveram dificuldade na elaboração do gráfico, principalmente na localização dos pontos do eixo vertical, o que necessitou de orientação para que a tarefa fosse concluída. A partir dos gráficos e tabelas apresentados, os grupos deram as seguintes respostas ao quarto questionamento:

- a) “A d.d.p. aumenta quando a intensidade da corrente aumenta.”
“São proporcionais pois ‘aumenta’ diretamente.”

b) “Duplica”

“A d.d.p. duplica”

c) “Triplica”

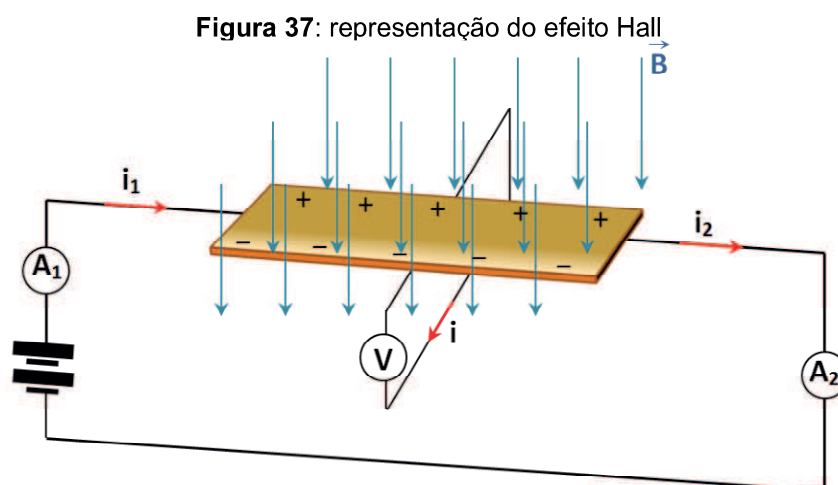
“Sim. Ela triplica”

d) “São diretamente proporcionais”

“Se relacionam entre si da seguinte maneira: Quando a intensidade da corrente ou do campo aumenta, a voltagem também aumenta. Se a intensidade ou o campo diminui a voltagem também diminui.”

Através das discussões relacionadas às respostas apresentadas e aos gráficos construídos, concluímos que a d.d.p. indicada no voltímetro é diretamente proporcional à corrente elétrica e à intensidade do campo magnético. A partir desse conhecimento, foi apresentado o funcionamento básico do sensor Hall e sua função na economia de combustível.

Uma nova representação do efeito Hall, mais atualizada, foi utilizada para revisar tal fenômeno. Foi esclarecido que devido ao campo magnético perpendicular à fita condutora, ocorria uma variação da corrente elétrica, medida nos amperímetros A_1 e A_2 com A_2 indicando medição menor que A_1 . Uma outra parcela da corrente era desviada para a parte do circuito onde o voltímetro estava instalado. (Figura 37)



Fonte: próprio autor

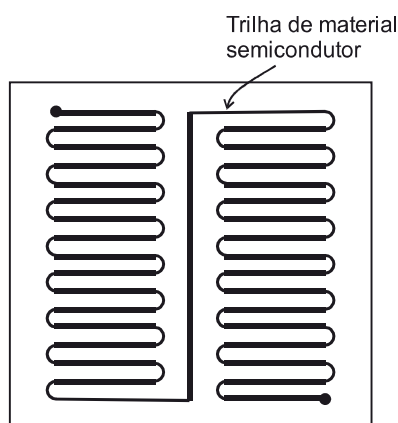
Através da mão direita 2 foi analisado como as cargas são desviadas lateralmente, provocando a diferença de potencial de Hall. Foram analisadas 2 hipóteses. A primeira, considerando que os portadores de carga eram positivos. Assim, a distribuição elétrica na lâmina de ouro ficaria como a da figura 15. A

segunda hipótese considerou que os portadores de cargas eram negativos e, assim, assumindo uma configuração como a da figura 18. Analisando a diferença de potencial entre as laterais da lâmina, é possível descobrir que as cargas deslocadas são negativas devido o valor apresentado no voltímetro, com potencial menor no ponto M.

A partir do desvio das cargas elétricas para as laterais da lâmina condutora, exploramos os eventos que ocorrem no interior do metal durante tal efeito. Com o acúmulo das cargas é formado um campo elétrico transversal denominado de campo elétrico de Hall. As cargas são desviadas dessa forma até o limite em que a força elétrica devido a este campo elétrico assume o mesmo módulo da forma magnética – a figura 20 foi exibida para a turma. Assim, a passagem da corrente principal e a diferença de potencial de Hall se estabilizam. Enfatizamos que, todos esses eventos, ocorrem em um intervalo de tempo extremamente curto.

Foi esclarecido que, para que o efeito Hall fosse efetivamente utilizado nos dispositivos atuais, era necessário um aumento na d.d.p. de Hall o que só foi possível na década de 60 com a descoberta dos semicondutores que, com o aumento da temperatura também aumentavam o número de cargas transportadoras. Além disso, foi possível construir circuitos mais longos provocando assim, um aumento na d.d.p.. A figura 38 abaixo foi projetada para que os alunos visualizassem um modelo do circuito utilizado em alguns sensores de efeito Hall.

Figura 38: Desenho de chip utilizado em sensores de efeito Hall

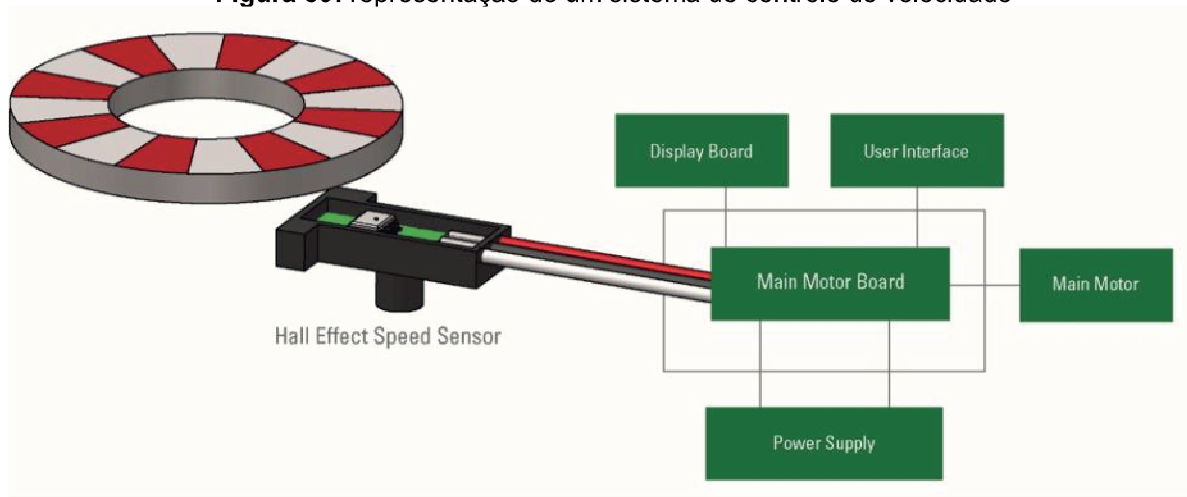


Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>

Assim, foi explicado que, em um sistema de detecção de velocidade de engrenagem de um automóvel com injeção eletrônica, um ímã giratório ativa o

sensor de efeito Hall com cada segmento vermelho (polo norte) e o desativa com cada segmento branco (polo sul) o que provoca uma variação na tensão como a representada na figura 39.

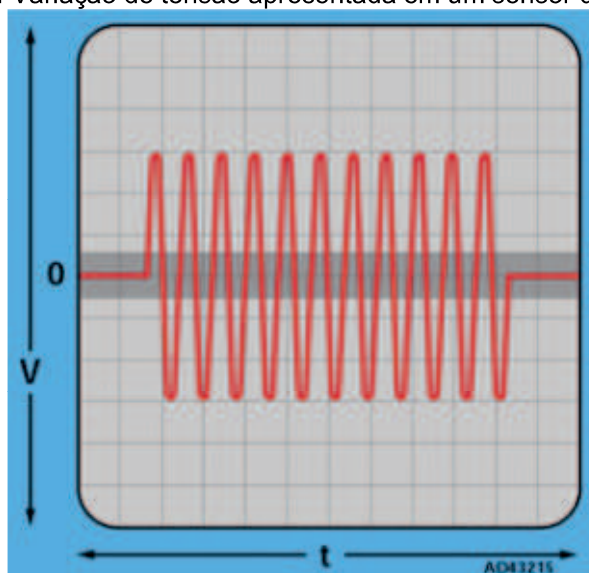
Figura 39: representação de um sistema de controle de velocidade



Fonte: <https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/a-guide-to-the-applications-of-hall-effect-and-reed-switch-sensors/>

A figura 40, ilustra a variação da tensão de Hall no decorrer do tempo em um sensor para controle de velocidade.

Figura 40: Variação de tensão apresentada em um sensor de efeito Hall



Fonte: <http://www.vermelhoscar.com.br/cambio-automatico/index.php/biblioteca-tecnica-automotiva/injecao-eletronica/268-testes-com-o-osciloscopio>

Dessa forma, a variação de tensão provocada no sensor de efeito Hall é transmitida para a placa principal do motor (Main motor board) que controla o

sistema Cut-Off de economia de combustível e a situação do consumo mínimo se mantém até que seja atingida a rotação mínima do motor ou o acelerador seja acionado novamente.

Na avaliação da aprendizagem relacionada ao efeito Hall e suas aplicações foram considerados todos os exercícios propostos e realizados pelos alunos, suas intervenções durante as aulas e o seu engajamento como elemento de um grupo.

Ainda, como outras fontes de pesquisa relacionada a esse tópico, foram sugeridos alguns links:

<http://cursosonline.mte-thomson.com.br/licao/aula-3-sensor-de-rotacao/>

https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall

<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/CampoMagnetico/efeitohall.php>

https://www.youtube.com/watch?v=bHo6_jltfc8

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO

Mesmo estando presente em uma grande quantidade de dispositivos e equipamentos, o efeito Hall nem ao menos é mencionado, em 100% dos livros didáticos de ensino médio pesquisados, mesmo sendo uma aplicação direta de conteúdos já contemplados na grade curricular nacional como campo magnético e força magnética. Todo o material produzido em texto teve apoio de livros de nível superior ou de livros históricos e jornais científicos.

Além disso, procuramos desenvolver um produto que não fosse considerado um acréscimo de conteúdo de Física, mas uma complementação de um conteúdo já estudado. O conteúdo trabalhado pode ser agregado facilmente no tópico de Força Magnética, conteúdo comum na 3^o ano do ensino médio, sem prejuízo aos conteúdos previstos nos planejamentos anuais..

Durante os dias de discussão do efeito Hall, os alunos se mostraram bem mais interessados, uma vez que, o assunto tratava de aplicações em dispositivos do dia a dia de cada um deles. O interesse se mostrou, principalmente, na utilização do simulador de efeito Hall, em sua manipulação e coleta de dados, onde procuramos dar atenção, principalmente, às relações de proporcionalidade existentes entre a diferença de potencial de Hall, a intensidade de corrente e a intensidade do campo magnético, grandezas que se mostraram suficientes à compreensão do fenômeno e suas aplicações.

Acrescentamos ainda que, embora a UEPS esteja planejada para o conteúdo de efeito Hall, o professor poderá adaptá-la para fazer uma associação com outros conteúdos de eletricidade, ou ainda, retomar conceitos já apresentados, como forma de revisão, a saber:

- Campo elétrico, relacionado com o sentido da corrente elétrica principal ou ao acúmulo das cargas nas laterais na lâmina;
- Diferença de potencial elétrico, nos polos da bateria ou na d.d.p. transversal;
- Corrente elétrica convencional e real, discutindo a parte histórica da corrente convencional e apresentando todo o desenvolvimento que levou à descoberta da corrente real;
- Resistência elétrica e circuito elétrico simples;

Acreditamos que, o desenvolvimento matemático mais aprofundado, relacionado ao efeito Hall, pode ser tratado em cursos mais avançados ou de nível superior. Vale registrar, enfim, que durante toda a aplicação da UEPS, os alunos apresentaram bom interesse na realização das tarefas e, em alguns momentos, surpresos em saber como o efeito Hall é utilizado em tantos equipamentos e dispositivos comuns do dia-a-dia. Destacamos também, a boa aceitação do simulador de efeito Hall desenvolvido no Modellus e a facilidade com que entenderam a maneira de manipulação e coleta dos dados.

Diante de todo o trabalho que foi apresentado sobre o efeito Hall clássico, continuaremos divulgando nossa pesquisa através de artigos sobre este tópico através de artigos em revistas especializadas. Além disso, temos boas expectativas de continuar nossa pesquisa, agora, relacionada ao efeito Hall quântico, descoberto pelo físico alemão Klaus von Klitzing em 1980 e que apresenta excepcional aplicação em aceleradores de partículas onde as medidas devem ser realizadas com altíssima precisão.

7. REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.P. **Educational psychology- a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais**. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC /SEF, 1998.

BUCHWALD, Jed Zachary. The Hall Effect and Maxwellian Electrodynamics in the 1880's: The Discovery of a New Electric Field. **Centaurus**, Oxford, v. 23, n. 1, p.51-99, out. 1979.

DEMO, Pedro. Aprendizagens e novas tecnologias. **Revista Brasileira de Docência, Ensino e Pesquisa em Educação Física**, Cristalina, v. 1, n. 1, p.53-75, ago. 2009.

_____. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2006.

_____.Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais/** Secretaria de Educação Fundamental- Brasília: MEC/SEF, 1997.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.

_____.MEC; SEMTEC. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

_____. Formação de professores e ensino de ciências: tendências nos anos 90. In: MENEZES, L. C. (Org.). **Formação continuada de professores no contexto ibero-americano**. São Paulo: NUPES, 1996, p.135-140.

HALL, Edwin Herbert. A New Action of the Magnet on Electric currents. **American Journal of Mathematics: Pure and applied**. Baltimore, p. 287-292. out. 1880.

HALL, Edwin Herbert. The New Action of the Magnet on a permanent Electric Current. **Philosophical Magazine and Journal of Science**. Baltimore, p. 301-328. out. 1880.

LEADSTONE, G S. The discovery of the Hall effect. **Physics Education**, [s.l.], v. 14, n. 6, p.374-379, 1 set. 1979.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MAGGIE, William Francis. **A Source book in Physics**. Cambridge: Harvard University Press, 1969. 620 p.

MAXWELL, James Clerck. **A Treatise on Electricity & Magnetism**. 3. ed. New York: Dover Publications, Inc, 1954. 2 v.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica**. Versão revisada e estendida de conferência proferida no *III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche), Setembro de 2000.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas- UEPS. **Aprendizagem significativa em Revista/ Meaningful Learning Review**, 1 (2), 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais. Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Textos de apoio ao professor de Física, v.24, n.6, 2013.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e a Aprendizagem significativa.

Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, v. 7, n. 2, 2008.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. SP: Centauro, 2010.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, Mg, v. 9, n. 1, p.89-111, 2007.

NOVAK, J. D. Clarify with concept maps: a tool for students and teachers a like. **The Science Teacher**, v. 58, 1991.

NOVAK, J. D. **A theory of education**. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977.

NOVAK, J.D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira. Tradução de M. A. Moreira do original A theory of education, 1980

NUÑEZ, I. B.; RIBEIRO, R. P. A aprendizagem significativa e o ensino de Ciências Naturais. In: NUÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (Orgs.). **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio**. Porto Alegre: Sulina. 2004. p 29-42.

POPOVIC, R S. **Hall Effect Device**. 2. ed. Bristol: Institute Of Physics Publishing, 2003.

PRANGE, Richard E. Quantized Hall resistance and the measurement of the Fine-Structure constant. In: EUA. Michael Stone. University Of Illinois (Ed.). **Quantum Hall effect**. Urbana: World Scientific, 2001. Cap. 1. p. 21-24.

RAMSDEN, Edward. **Hall-effect Sensors: Theory and Application**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2006.

SCHWARTZ, Renee; CRAWFORD, Barbara. Scientific Inquiry and Nature of Science. **Science & Technology Education Library**, [s.l.], p.331-355, 2006. Springer Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1>.

WHITTAKER, Sir Edmund. **A History of the Theories of Aether and Electricity**. London: Thomas Nelson And Sons Ltd, 1951.

BASSALO, José Maria Filardo. **Curiosidades da Física**. 2014. Disponível em: <<http://www.bassalo.com.br/academia/publicacoes/livros/curiosidades-da-fisica-4/>>. Acesso em: 18 maio 2017.

GMEINDER, Gwenn. **A Guide to the Applications of Hall Effect and Reed Switch Sensors**. 2016. Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/a-guide-to-the-applications-of-hall-effect-and-reed-switch-sensors/>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

THOMSON, Mte. **Como Funciona Injeção Eletrônica: Aula 3 - Sensor de rotação**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>>. Acesso em: 20 out. 2017.

VEIT, Eliane Ângela; TEODORO, Vitor Duarte. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 24, n. 2, p.87-96, jun. 2002. Trimestral.

8. PRODUTO EDUCACIONAL – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre o efeito Hall



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**



VALDIÉLIO JOAQUIM MENEZES MELO DA SILVA

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)
SOBRE O EFEITO HALL**

**Campina Grande
2018**

SUMÁRIO

1. NOTA AO PROFESSOR	91
2. INTRODUÇÃO	93
3. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) SOBRE O EFEITO HALL	94
3.1. AULA 1 – 1º encontro.....	95
3.2. AULA 2 – 2º encontro.....	102
4. REFERÊNCIAS.....	111

1. NOTA AO PROFESSOR

Caro professor!

O desenvolvimento da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre o efeito Hall tem como objetivo contextualizar a aplicação da atuação dos campos magnéticos sobre correntes elétricas, conteúdos usualmente presentes nos livros didáticos do 3º ano do ensino médio sobre eletromagnetismo. Nesse intento, a sequência apresenta um roteiro de atividades propostas a serem desenvolvidas durante os encontros previstos para esse tema.

As estratégias sugeridas na UEPS sugerem ações que buscam oportunizar uma aprendizagem significativa do efeito Hall pelos alunos, bem como, que estes, adquiram conhecimento em relação à função de alguns dispositivos que se utilizam desse fenômeno e que estão presentes em vários equipamentos do nosso uso diário.

No desenvolvimento das atividades é importante destacar o contexto histórico do descobrimento do fenômeno e sua implementação em sensores que levam seu nome. Como apoio ao docente, apresentamos no produto educacional o texto “A descoberta do efeito Hall” que poderá servir de referência para apoiar as discussões a esse respeito. Além disso, nas referências estão indicados livros e sites que poderão enriquecer ainda mais o trabalho em sala de aula.

É evidente que esta proposta pode, e deve ser modificada com o objetivo de se adequar, da melhor forma possível, à visão de mundo dos alunos. Além disso, procuramos desenvolver este produto para ser utilizado no menor número de encontros possível, complementando tópicos já existentes nos conteúdos comuns ao 3º e procurando não comprometer o planejamento didático comum ao 3º ano.

Ressaltamos, ainda, que a utilização do simulador de efeito Hall no programa Modellus é extremamente importante. Será através dessa ferramenta que os alunos poderão, através da sua manipulação, verificar as principais grandezas física envolvidas, as saber: diferença de potencial de Hall, campo magnético e intensidade de corrente elétrica; e investigar a relação entre elas. O endereço eletrônico onde poderão ser adquiridos, gratuitamente, o programa e o simulador de efeito Hall.

Além do conteúdo inerente ao efeito Hall, o produto educacional aqui apresentado, pode ser utilizado como apoio para outros tópicos:

- Campo elétrico, relacionado com o sentido da corrente elétrica principal ou ao acúmulo das cargas nas laterais na lâmina;
- Diferença de potencial elétrico, nos polos da bateria ou na d.d.p. transversal;
- Corrente elétrica convencional e real, discutindo a parte histórica da corrente convencional e apresentando todo o desenvolvimento que levou à descoberta da corrente real;
- Resistência elétrica e circuito elétrico simples;

Boa aula!

2. INTRODUÇÃO

Historicamente, o processo de ensino posicionou o professor como detentor do conhecimento e, seu aluno, como um indivíduo que deveria ser preenchido com tais informações. Segundo Paulo Freire (1987),

...a Educação estruturava-se colocando o professor como centralizador do conhecimento e o aluno como uma tabula rasa que deveria ser preenchida com informações que seriam transmitidas pelos docentes.

Na segunda metade do século XX, a busca por uma educação transformadora do ser humano se tornou mais efetiva. O novo papel do docente deveria ser o de mediador da aprendizagem, dando ao indivíduo a oportunidade de aprender a partir dos seus conhecimentos prévios promovendo assim uma aprendizagem contextualizada com o mundo ao seu redor. Nesse aspecto, Ausubel (1968) expôs que,

[...] o fator singular mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso seus ensinamentos. (p. 337)

Neste sentido, a busca de uma educação cada vez mais eficaz, promotora de um desenvolvimento cognitivo que busca contemplar o universo no qual vive o indivíduo, vem recebendo apoio das mais variadas estratégias, ferramentas e teorias que apresentam boas possibilidades de sucesso nesse intento. Nesta perspectiva, apresentamos neste trabalho uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) como proposta de desenvolvimento do efeito Hall, tópico associado aos conhecimentos de campos magnéticos e suas interações com cargas e correntes elétricas.

A UEPS é uma proposta sugerida pelo professor Marco Antonio Moreira (2011) e fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Além disso, esse modelo de sequência didática também é norteada por princípios convergentes com os vários aspectos estruturais intelectivos do discente. Como apoio a este produto educacional, foi desenvolvido uma simulação do Efeito Hall no programa Modellus que deverá ser utilizado como experimento virtual em um dos encontros previstos neste trabalho. Nesta direção Moreira (2013), aponta que.

[...] os experimentos virtuais podem motivar os alunos a contribuírem para o desenvolvimento de competências científicas:

- os alunos podem modificar características de modelos científicos;
- podem criar modelos computacionais;
- podem fazer experimentos sobre fenômenos não observáveis diretamente.
- criar ambientes online que usem dados individuais armazenados de estudantes, para guiá-los em experimentos virtuais apropriados para seus conhecimentos prévios e seus estágios de desenvolvimento cognitivo.

A UEPS está planejada para dois encontros de 100 min cada um. No primeiro encontro apresentamos um primeiro contexto no qual o efeito Hall está aplicado – nos smartphones - e, a partir dele, procuramos introduzir os aspectos históricos que levaram à descoberta desse efeito.

Uma outra aplicação do fenômeno é apresentada através de vídeo – sistemas de controle de injeção de combustível no segundo encontro. Discutiremos aqui, o papel dos sensores de efeito Hall no equipamento e a partir do simulador desse fenômeno, investigamos a relação entre as grandezas físicas envolvidas no efeito, em particular, o campo magnético e a corrente elétrica bem como a interação entre elas. Durante todos os encontros os alunos são avaliados quanto às intervenções, hipóteses apresentadas, interação com o grupo e desempenho nas atividades..

3. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) SOBRE O EFEITO HALL

TEMA: Efeito Hall

OBJETIVO: contextualizar os tópicos de Eletromagnetismo através do efeito Hall, oferecendo ao aluno a possibilidade do aumento dos seus conhecimentos acerca dos fenômenos físicos envolvidos.

JUSTIFICATIVA: Em um mundo cada vez mais globalizado e exigente, as discussões dos conteúdos de maneira isolada dos seus contextos, podem produzir cidadãos sem condições de interpretar o mundo a sua volta e, conseqüentemente, interagir com ele de forma mais consciente. É importante que os novos conceitos apresentem relações com os conhecimentos prévios dos alunos. Utilizando os tópicos de eletricidade e magnetismo já discutidos, será desenvolvido através de

texto, questionário e simulação computacional, o efeito Hall e suas aplicações em dispositivos comumente encontradas no dia a dia do aprendiz.

PÚBLICO ALVO:

Alunos do terceiro ano do ensino médio.

DURAÇÃO:

Dois encontros de 100 minutos cada.

CONTEÚDO:

Além do tema principal – efeito Hall – serão discutidos conteúdos básicos de eletromagnetismo, a saber: diferença de potencial elétrica, resistência, corrente elétrica, campo magnético e força magnética.

3.1. AULA 1 – 1º encontro

TEMA: Sensores dos smartphones

OBJETIVOS: compreender a função de cada sensor presente em um smartphone com ênfase para o sensor de efeito Hall;

RECURSOS INSTRUCIONAIS: computador, projetor multimídia, simulador do efeito Hall, texto, vídeo, exercícios, aula dialogada e discussões em grupo.

PROBLEMA: Com quais conteúdos de Física estão presentes no funcionamento do sensor de efeito Hall?

MOTIVAÇÃO: exibição do vídeo *Nexus 5: Hall Effect Sensor Demonstration* disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ITbT5vrhX8>.

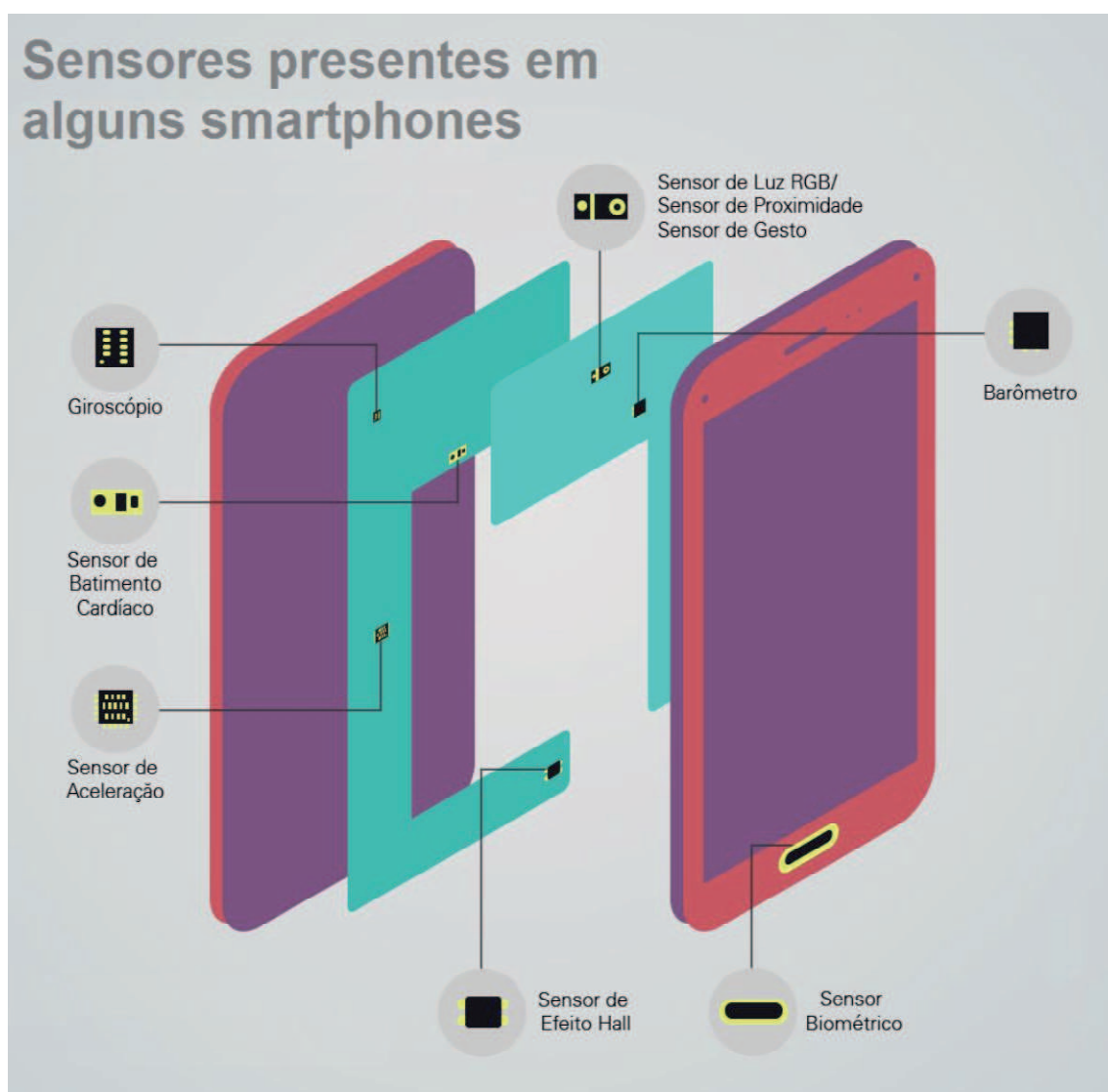
TEMPO ESTIMADO PARA A AULA: 100 min (Duas aulas de 50 min).

Desenvolvimento (Situação inicial)

No início da aula, será entregue a cada um dos alunos o texto 1 “**Dez Sensores usados em smartphones**”.

TEXTO 1**Dez Sensores usados em smartphones (Adaptado)**

Cada vez mais, as empresas fabricantes de smartphones oferecem uma infinidade de recursos nos seus aparelhos. Como exemplo, podemos citar um desses fabricantes. Em 2010, um aparelho da marca oferecia um total de cinco sensores no modelo mais famoso. Hoje, no seu aparelho top de linha são dez sensores, cada um deles apresentando uma função específica. Na figura abaixo estão indicados nove deles. O décimo, não listado, é o sensor Geomagnético, considerado um sensor básico de qualquer smartphone. Conheça um pouco mais sobre cada um deles:



1 – Sensor de batimentos cardíacos

Essa não é a primeira vez que um smartphone consegue executar a função de mensurar batimentos cardíacos. Porém, é a primeira vez na história que um celular chega ao mercado com um sensor específico para essa finalidade.

O sensor de batimentos cardíacos consiste em um LED vermelho e um sensor de pulsações. O LED vermelho envia um raio de luz para a pele do usuário, enquanto o sensor de pulsação mensura a movimentação do sangue sob a pele. O número de batimentos cardíacos é obtido a partir do cálculo da frequência de ondas emitidas por minuto.

2 – Giroscópio

Os giroscópios nada mais são do que os sensores capazes de informar em qual direção o aparelho está se movendo. Os eixos “x” e “y”, que você aprendeu na escola, aqui ganham as referências imediatas de “esquerda”, “direita”, “acima” e “abaixo”.

3 – Sensor de luz RGB

Este é o sensor responsável por equilibrar as cores exibidas na tela do seu smartphone quando o recurso está habilitado. A ideia é similar ao que já existe em muitos modelos de televisores. Quanto maior a incidência de luz sobre ele, maior é o brilho de tela necessário a ser emitido.

4 – Sensor de proximidade

Como o próprio nome indica, a ideia deste sensor é indicar para o software do aparelho o quão perto suas mãos estão dele. É utilizado em recursos de controle por gestos.

5 – Sensor de gestos

Complementar ao sensor de proximidade, o sensor de gestos acrescenta a capacidade de “ler” a intensidade de movimentos, além da direção em que as mãos se movimentam.

6 – Barômetro

Trata-se de um recurso que auxilia o usuário quando o GPS está ativo. Originalmente, um barômetro é utilizado para medir a pressão atmosférica. Em um smartphone, essa informação pode servir para reconhecer em qual andar de um prédio você está, por exemplo.

7 – Sensor de aceleração (acelerômetro)

Similar ao sensor geomagnético, ele também coleta informações dos três eixos – “x”, “y” e “z”. É utilizado mais especificamente em apps como o S Health.

8 – Sensor de efeito Hall

É utilizado para detectar quando o aparelho está recoberto pela S View Cover, uma capa específica de alguns modelos que, quando fechadas permitem que os usuários vejam algumas informações em uma parte específica da tela. O acessório é vendido separadamente.

9 – Sensor biométrico

Esse é o sensor que está presente no botão “Home” do Galaxy S5. Por meio dele, é possível reconhecer as impressões digitais do usuário e comparar com as imagens previamente armazenadas, desbloqueando o aparelho ou servindo com assinatura em transações financeiras.

10 – Sensor geomagnético

A partir das informações que obtém dos três eixos, “x”, “y” e “z”, o sensor geomagnético detecta a intensidade do campo magnético. Seu funcionamento é fundamental para fazer a bússola digital, presente nos aplicativos de mapas, funcionar.

<https://www.tecmundo.com.br/galaxy-s5/54042-conheca-os-10-sensores-do-samsung-galaxy-s5-ilustracao-.htm>

Após a leitura, o professor deverá orientar os alunos a formarem grupos de até 4 pessoas de maneira a oportunizar a interação aluno/aluno. Os componentes de cada grupo deverão discutir os fenômenos físicos envolvidos no funcionamento de cada um dos sensores. Esta etapa tem o objetivo de retomar conteúdos já estudados, a saber: ondulatória, óptica, eletricidade e magnetismo. As respostas

obtidas em cada equipe deverá ser apresentada à turma para que seja feito um debate amplo entre os grupos e o professor e para que sejam revisados, principalmente, tópicos importantes e necessários para a compreensão do efeito Hall: corrente elétrica, diferença de potencial elétrico, campo magnético e força magnética.

Em seguida, o professor deverá apresentar o vídeo “*Nexus 5: Hall Effect Sensor Demonstration*” (33 segundos) disponível no endereço eletrônico <https://www.youtube.com/watch?v=ITbT5vrvhX8>. Na apresentação, um smartphone entre no modo de hibernação ao se aproximar um pedaço de ímã em uma parte específica da tela. O professor deverá reforçar junto aos alunos os fenômenos envolvidos nesse caso e levantar questionamentos a esse respeito, tais como:

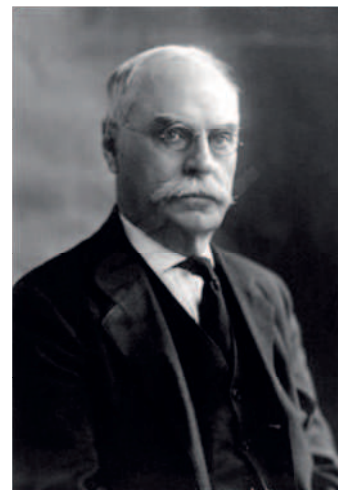
- 1) O que acontece com a tela do aparelho quando aproximamos o ímã?
- 2) Por que a tela do celular acende quando o ímã é afastado?
- 3) O fenômeno ocorre com o ímã próximo a qualquer parte do smartphone ou em alguma área específica?
- 4) Qual hipótese você sugere para a interação que o campo magnético do ímã provoca ao ser aproximado do aparelho?

O educador deverá fazer uma breve exposição histórica relacionada ao efeito Hall. Como referência, está disponibilizado ao orientador o texto 2 “Descoberta do efeito Hall”. Não há a necessidade de entregar esse texto aos alunos, podendo ser sugerido, como tarefa extraclasse, uma pesquisa acerca do assunto.

TEXTO 2

A DESCOBERTA DO EFEITO HALL

Edwin Herbert Hall nasceu na cidade de Gorham, no estado do Maine no dia 7 de novembro de 1855, em Gorham, Maine. Estudou no Bowdoin College e na Universidade Johns Hopkins, onde foi diplomado recebeu o diploma de doutor em 1880. No ano seguinte entrou para a Universidade de Harvard como instrutor em física. Em 1895 foi promovido tornando-se professor de física. Recebeu o título de professor emérito em 1921.

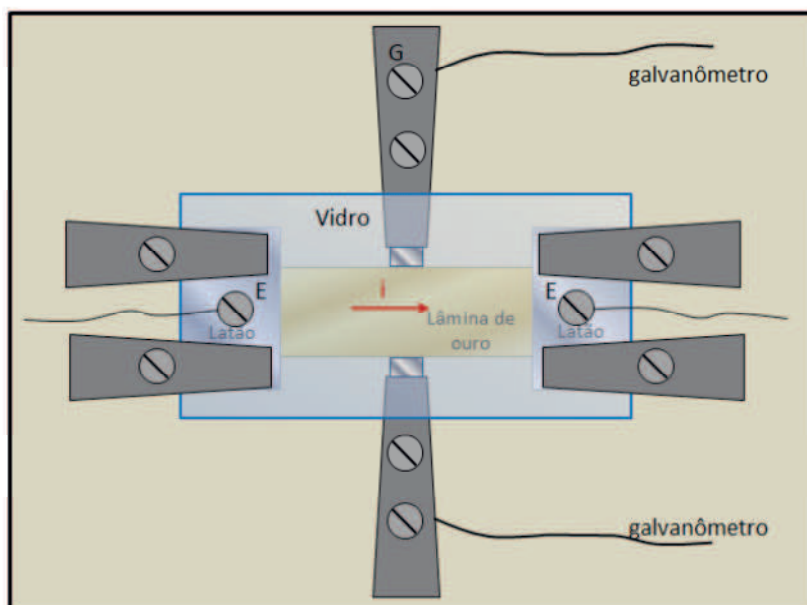


Os estudos eletromagnéticos desenvolvidos por Hall, tiveram sua motivação em um dos livros de Maxwell, “Eletricidade e Magnetismo”, em que ele dizia que o fluido elétrico que se movia em um condutor – o termo corrente elétrica ainda não era utilizado – através da linha de força de um campo magnético, não sofria a ação desse campo mas apenas o condutor “sentia” seus efeitos. As variações no fluxo elétrico eram creditadas às correntes de indução que apareciam ao ser ligado o eletroímã, sendo apenas transitórias.

Para Hall, a afirmação feita por Maxwell estava em desacordo com o que era observado: um condutor onde não havia fluxo elétrico, não era afetado pelo campo magnético.

Orientado pelo professor Henry Augustus Rowland (1848-1901), Hall iniciou uma série de experimentos onde procurava comprovar a alteração da resistência do condutor na presença de um campo magnético transversal ao do fluxo elétrico. O aparato experimental utilizado está representado na ilustração abaixo.

Representação do experimento utilizado por Hall



Fonte: Próprio autor

Através da figura, podemos observar que a corrente elétrica atravessa a lâmina de ouro, protegida por placas de vidro, entrando e saindo pelos parafusos (E). Nos outros lados da lâmina estão ligados os polos do galvanômetro. Este dispositivo é quem vai indicar o surgimento de uma corrente secundária, perpendicular ao sentido da corrente principal quando um campo magnético, perpendicular à face da lâmina, for acionado.

Depois de várias tentativas infrutíferas, no dia 28 de outubro de 1879, foi observada uma deflexão na agulha do galvanômetro que, por ser constante e de amplitude considerável não poderia ser creditada às correntes de indução. Após novas séries de experimentos, Hall encontrou um valor aproximadamente constante na relação

Hoje, a expressão acima é conhecida como diferença de potencial de Hall (V_H) e pode ser escrita como

$$V_H \propto B.I$$

onde B é a intensidade do campo magnético e I é a intensidade de corrente elétrica que atravessa a folha de ouro.

As aplicações de sensores de efeito Hall nos dispositivos começaram a ter importância apenas com o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores. Os primeiros sensores magnéticos de efeito Hall tornaram-se comercialmente disponíveis em meados da década de 1950, alguns anos após a descoberta de semicondutores compostos de alta mobilidade. Desde então, o desenvolvimento tecnologia na fabricação desses dispositivos e de materiais mais sofisticados fomentou sua produção e implementação.

Atualmente, os sensores magnéticos de efeito Hall formam a base de uma importante atividade industrial. São usados principalmente como elementos chave em sensores sem posição angular, velocidade, rotação, corrente elétrica, dentre outros. O comércio de sensores de efeito Hall no ano 2000 foi estimado em mais de 1 bilhão de unidades. Em 2003 seu mercado movimentou, aproximadamente, 600 milhões de dólares.

REFERÊNCIAS

HALL, Edwin Herbert. On a New Action of the Magnet on Electric currents. **American Journal Of Mathematics: Pure and applied**. Baltimore, p. 287-292. out. 1879.

LEADSTONE, G S. The discovery of the Hall effect. **Physics Education**, [s.l.], v. 14, n. 6, p.374-379, 1 set. 1979.

MAGGIE, William Francis. **A Source book in Physics**. Cambridge: Harvard University Press, 1969. 620 p.

MAXWELL, James Clerck. **A Treatise on Electricity & Magnetism**. 3. ed. New York: Dover Publications, Inc, 1954. 2 v.

POPOVIC, R S. **Hall Effect Device**. 2. ed. Bristol: Institute Of Physics Publishing, 2003.

Finalizando o primeiro encontro, o docente pode sugerir que cada orientando pesquise a respeito de dispositivos e equipamentos que se valem dos princípios que regem o efeito Hall no seu funcionamento.

3.2. AULA 2 – 2º encontro

TEMA: Efeito Hall (Interpretação microscópica)

OBJETIVOS: compreender como o efeito Hall acontece em um condutor; Descobrir a relação entre a tensão de Hall, a intensidade de corrente principal e o campo magnético; Investigar a atuação de um sensor de efeito Hall no monitoramento de velocidade de um automóvel.

RECURSOS INSTRUCIONAIS: computador, projetor multimídia, vídeo, simulador de efeito Hall, exercícios, aula dialogada e discussões em grupo.

PROBLEMA: Como o efeito Hall atua nos sensores de velocidade e de rotação de um veículo?

MOTIVAÇÃO: exibição do vídeo “*Economizando combustível | Sistema Cut Off da injeção eletrônica*” disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ill5ENP W0Tc>.

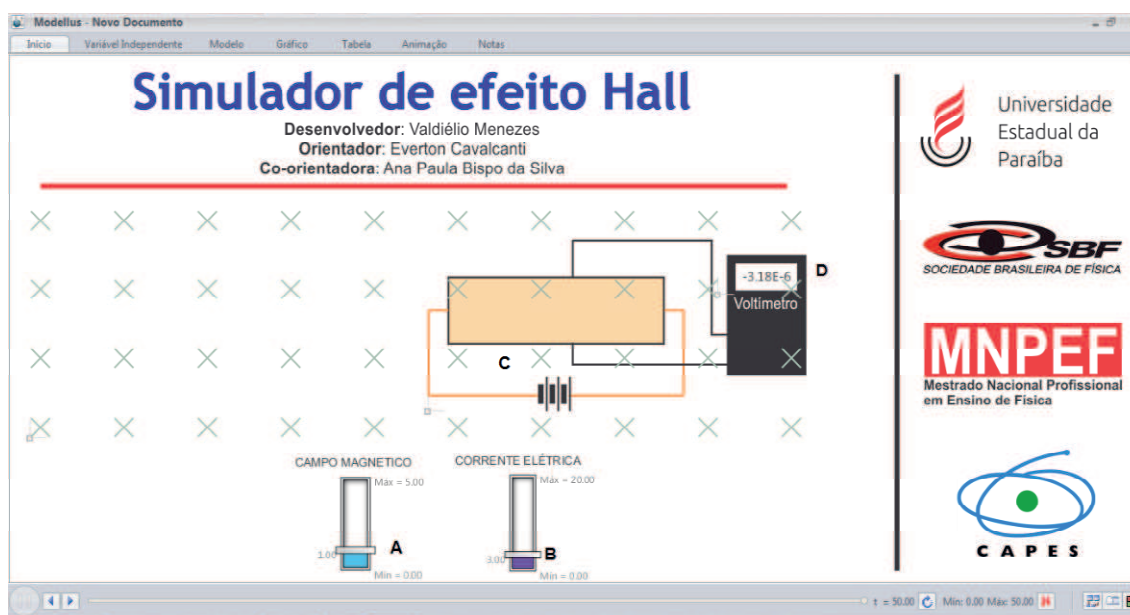
TEMPO ESTIMADO PARA A AULA: 100 min (Duas aulas de 50 min).

Desenvolvimento

Neste novo encontro, o orientador deverá arguir os alunos sobre outras aplicações do efeito Hall que eles tenham pesquisado, como sugerido na aula anterior. Deve-se procurar relacionar os conceitos físicos envolvidos em cada dispositivo como forma de reforçar os conhecimentos prévios inerentes ao conteúdo. Após esse momento, o professor apresentará o simulador de efeito Hall desenvolvido no programa Modellus. Tanto o programa como o simulador de efeito Hall podem ser baixados gratuitamente no endereço eletrônico https://drive.google.com/open?id=1znpj-FQxV8rJzKT7dSh0eEFGSil_4zeDv.

As funções do simulador estão apresentadas na figura a seguir:

Simulador de efeito Hall



A – controle da intensidade do campo magnético: através dessa barra pode-se regular a intensidade do campo magnético que se pretende utilizar no experimento. O valor mínimo possível no simulador é de zero Teslas enquanto que, o seu valor máximo permitido é de cinco Teslas.

B – controle da intensidade da corrente elétrica: define a intensidade de corrente elétrica que atravessa longitudinalmente, a tira de ouro. Pode ser regulado de um valor nulo até 10 A.

C – tira metálica: representa a tira de ouro utilizada por Hall no seu experimento.

D – voltímetro: marca a diferença de potencial entre dois pontos laterais da tira metálica.

Uma demonstração da utilização do simulador deve ser realizada pelo professor de maneira a ilustrar sua funcionalidade. Como exemplo, poderá configurar o valor do campo magnético para 2 Teslas e o da corrente elétrica para 5 A. A diferença de potencial transversal ao sentido da corrente, indicada pelo voltímetro, será de $5,56 \cdot 10^{-6}$ V.

Após essa demonstração apresentação, os alunos receberão duas tabelas para serem preenchidas através da utilização do simulador de efeito Hall. O objetivo deste exercício é observar a relação existente entre o campo magnético, a intensidade de corrente elétrica e a diferença de potencial estabelecida na direção transversal a da corrente principal. Na tabela 1 os grupos deverão fixar o valor do campo magnético em qualquer valor entre 1 tesla e 5 telas. A partir de então, um

valor de corrente deverá ser escolhido e, observando o valor indicado no voltímetro, a tabela deverá ser preenchida.

Tabela 1: Campo magnético constante

Campo magnético: ___ T	
Corrente elétrica (A)	d.d.p. (10^{-6} V)

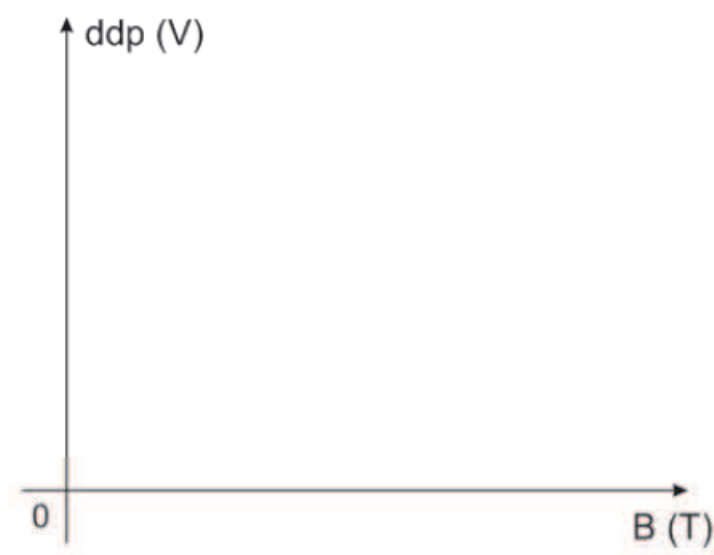
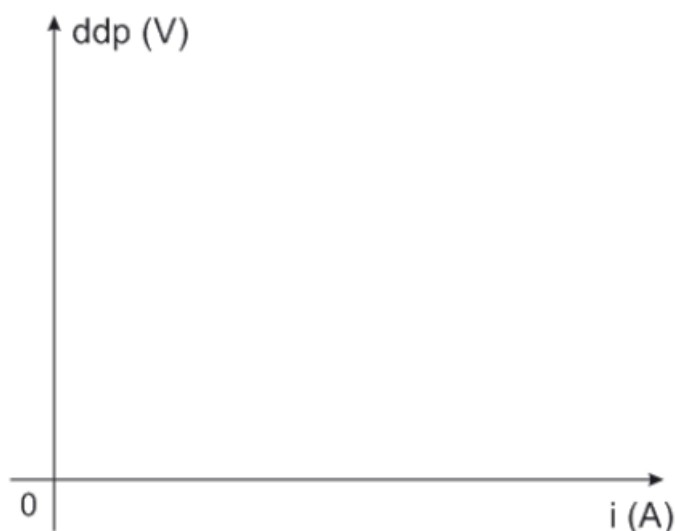
Na tabela 2, um valor de corrente elétrica será fixado no simulador enquanto o valor do campo magnético é modificado. Os valores utilizados para o campo magnético e as respectivas tensões deverão ser anotadas.

Tabela 2: Intensidade de corrente constante

Corrente elétrica: ___ A	
Campo magnético (T)	d.d.p. (10^{-6} V)

Os valores colhidos nas duas tabelas serão utilizados nas construções de dois gráficos: d.d.p. x intensidade de corrente e d.d.p. x campo magnético.

Eixos para a construção dos gráficos



A partir dos resultados obtidos, os grupos deverão debater sobre os seguintes questionamentos:

- 5) O que ocorre com o valor da d.d.p. indicada no voltímetro quando a intensidade de corrente é aumentada? E se diminuirmos essa intensidade?
- 6) Em relação ao campo magnético gerado, o que ocorre com a indicação do voltímetro quando aumentamos o seu valor?
- 7) Se duplicarmos o valor da intensidade de corrente, o que ocorre com o valor da d.d.p?
- 8) Se triplicarmos o valor do campo magnético, como a d.d.p. indicada no voltímetro se altera?

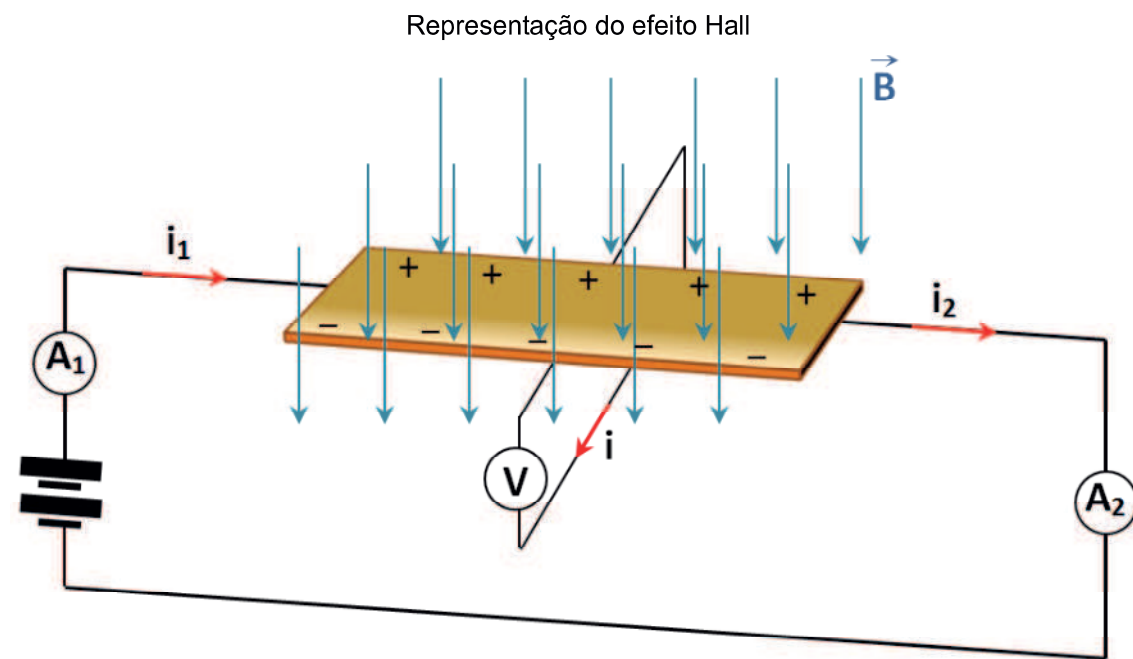
- 9) Se duplicarmos a intensidade de corrente e triplicarmos o valor do campo magnético, o que ocorre com o valor da d.d.p.?
- 10) Diante dos resultados obtidos, qual a relação existente entre a d.d.p., a corrente elétrica e o campo magnético?

O professor abrirá um debate com os grupos com o objetivo de analisar, corrigir ou complementar as respostas apresentadas. É importante que, após a execução das tarefas propostas, o aluno tenha compreensão de que a causa do aparecimento do potencial de Hall é a presença do campo magnético perpendicular ao circuito.

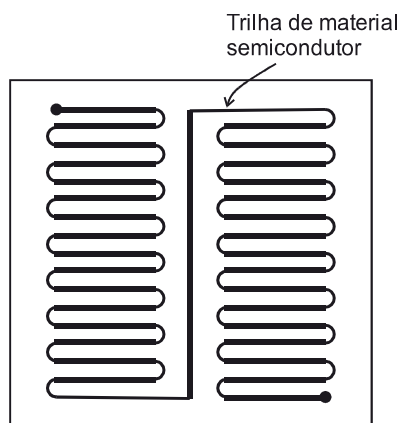
Atingido esse objetivo, o educador deverá apresentar o princípio básico do funcionamento do sensor de Hall e da sua aplicação no monitoramento da velocidade, em um automóvel, por exemplo. Para isso, poderá usar o roteiro apresentado a seguir: “Sensores de efeito Hall e sua aplicação no controle de velocidade dos automóveis”.

Sensores de efeito Hall e sua aplicação no controle de velocidade dos automóveis.

Os sensores de efeito Hall são baseados em semicondutores combinando elementos de detecção desse efeito com circuitos elétricos que podem fornecer um sinal de saída on/off digital devido à variação de um campo magnético. Uma tensão perpendicular ao sentido da corrente é estabelecida (tensão de Hall) devido ao acúmulo de cargas em um dos lados do condutor e que pode ser verificado através do voltímetro (V) (figura). Além disso, a intensidade da corrente é diminuída – a resistência do material de que é feito o sensor aumenta – podendo ser verificada através da diferença nos amperímetros A_1 e A_2 . Uma parte da corrente i_1 é desviada no circuito do voltímetro, perpendicular à corrente principal.



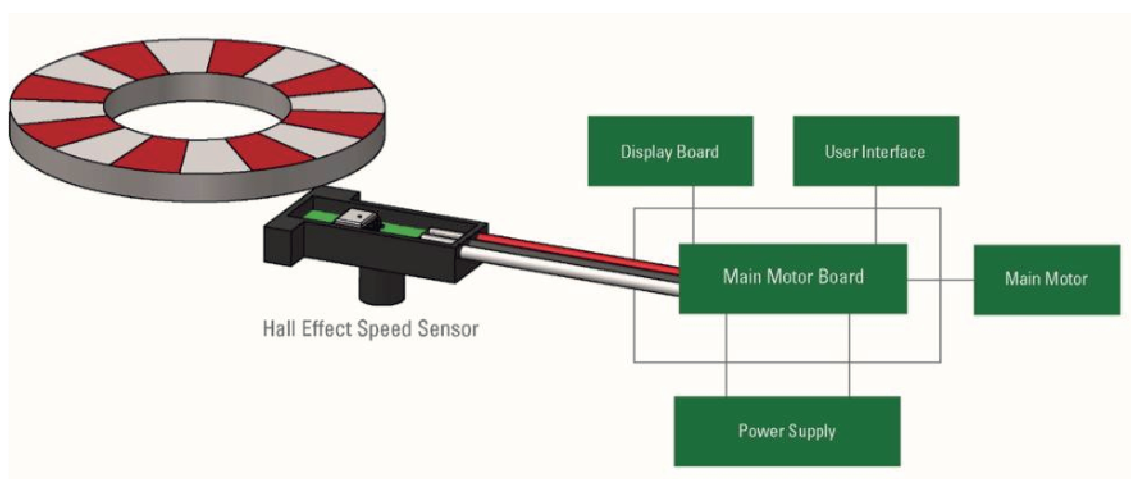
Sabendo que a resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento, é evidente que a corrente elétrica deve percorrer uma trajetória maior sob a ação do campo magnético. Isso é conseguido construindo circuitos como o mostrado a seguir.



Chip utilizado nos sensores de efeito Hall

Em um sistema de detecção de velocidade de engrenagem de um automóvel com injeção eletrônica, um ímã giratório ativa o sensor de efeito Hall com cada segmento vermelho (polo norte) e o desativa com cada segmento branco (polo sul), resultando em um sinal de velocidade muito preciso.

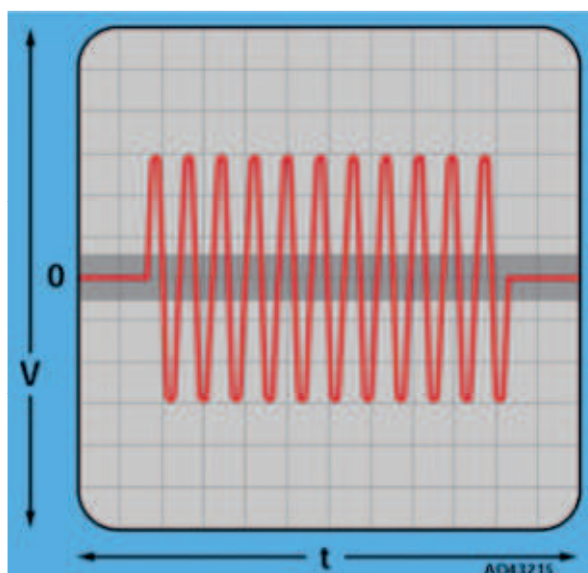
Esquema do sensor de velocidade



A variação de tensão provocada no sensor de efeito Hall é transmitida para a placa principal do motor (Main motor board) que controla o sistema Cut-Off de economia de combustível. A situação de consumo mínimo se mantém até que seja atingida a rotação mínima do motor ou o acelerador seja acionado.

No gráfico abaixo está representada a variação de tensão que ocorre no sensor de efeito Hall durante seu funcionamento. Uma velocidade menor do automóvel provoca uma menor frequência de oscilação da tensão.

Variação de tensão no sensor Hall em função do tempo.



Como exemplo, consideremos uma situação onde o veículo esteja a 100Km/h e se depara com um declive na estrada. Tirando o completamente o pé do acelerador, o sistema é acionado, fechando os eletro injetores de combustíveis, não

os alimentando com corrente elétrica. Assim, o veículo permanece em movimento, mas sem consumir nenhum combustível.

Entretanto, colocando o motor em ponto morto, o contato da transmissão com o motor é desligado e o sensor não é acionado. Dessa forma, o motor permanece trabalhando em um regime de, aproximadamente 800 rpm, como se estivesse parado, gastando combustível. A melhor maneira de ver o resultado do “Cut-Off” é através da direção econômica e segura, aproveitando as reduções com as marchas engatas, assim, a cinética sob o veículo o mantém andando sem consumo algum.

Embora, o sensor de efeito Hall seja fundamental para o acionamento do sistema Cut-off, ele não trabalha sozinho. Mais dois sensores, o de pressão absoluta e de posição da borboleta contribuem para o funcionamento desse dispositivo, porém, não fazem parte do nosso estudo.

REFERÊNCIAS

POPOVIC, R S. **Hall Effect Device**. 2. ed. Bristol: Institute Of Physics Publishing, 2003.

GMEINDER, Gwenn. **A Guide to the Applications of Hall Effect and Reed Switch Sensors**. 2016. Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/a-guide-to-the-applications-of-hall-effect-and-reed-switch-sensors/>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

THOMSON, Mte. **Como Funciona Injeção Eletrônica: Aula 3 - Sensor de rotação**. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>>. Acesso em: 20 out. 2017.

Sugere-se que o orientador indique os endereços eletrônicos abaixo como fonte de pesquisa e aprofundamento sobre o tema:

<http://cursosonline.mte-thomson.com.br/licao/aula-3-sensor-de-rotacao/>

https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall

<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/CampoMagnetico/efeitohall.php>

https://www.youtube.com/watch?v=bHo6_jltfc8

A avaliação da aprendizagem ocorrerá durante os encontros, considerando o envolvimento de cada aluno com as atividades propostas, as respostas

apresentadas e o seu engajamento no grupo e o nível de questionamento feito relacionado ao conteúdo.

4. REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.P. **Educational psychology- a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais**. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC /SEF, 1998.

BUCHWALD, Jed Zachary. The Hall Effect and Maxwellian Electrodynamics in the 1880's: The Discovery of a New Electric Field. **Centaurus**, Oxford, v. 23, n. 1, p.51-99, out. 1979.

DEMO, Pedro. Aprendizagens e novas tecnologias. **Revista Brasileira de Docência, Ensino e Pesquisa em Educação Física**, Cristalina, v. 1, n. 1, p.53-75, ago. 2009.

_____. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2006.

_____.Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais/** Secretaria de Educação Fundamental- Brasília: MEC/SEF, 1997.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.

_____.MEC; SEMTEC. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

_____. Formação de professores e ensino de ciências: tendências nos anos 90. In: MENEZES, L. C. (Org.). **Formação continuada de professores no contexto ibero-americano**. São Paulo: NUPES, 1996, p.135-140.

HALL, Edwin Herbert. A New Action of the Magnet on Electric currents. **American Journal of Mathematics: Pure and applied**. Baltimore, p. 287-292. out. 1880.

HALL, Edwin Herbert. The New Action of the Magnet on a permanent Electric Current. **Philosophical Magazine and Journal of Science**. Baltimore, p. 301-328. out. 1880.

LEADSTONE, G S. The discovery of the Hall effect. **Physics Education**, [s.l.], v. 14, n. 6, p.374-379, 1 set. 1979.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MAGGIE, William Francis. **A Source book in Physics**. Cambridge: Harvard University Press, 1969. 620 p.

MAXWELL, James Clerck. **A Treatise on Electricity & Magnetism**. 3. ed. New York: Dover Publications, Inc, 1954. 2 v.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica**. Versão revisada e estendida de conferência proferida no *III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche), Setembro de 2000.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas- UEPS. **Aprendizagem significativa em Revista/ Meaningful Learning Review**, 1 (2), 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais. Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Textos de apoio ao professor de Física, v.24, n.6, 2013.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e a Aprendizagem significativa.

Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, v. 7, n. 2, 2008.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. SP: Centauro, 2010.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, Mg, v. 9, n. 1, p.89-111, 2007.

NOVAK, J. D. Clarify with concept maps: a tool for students and teachers a like. **The Science Teacher**, v. 58, 1991.

NOVAK, J. D. **A theory of education**. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977.

NOVAK, J.D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira. Tradução de M. A. Moreira do original A theory of education, 1980

NUÑEZ, I. B.; RIBEIRO, R. P. A aprendizagem significativa e o ensino de Ciências Naturais. In: NUÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (Orgs.). **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio**. Porto Alegre: Sulina. 2004. p 29-42.

POPOVIC, R S. **Hall Effect Device**. 2. ed. Bristol: Institute Of Physics Publishing, 2003.

PRANGE, Richard E. Quantized Hall resistance and the measurement of the Fine-Structure constant. In: EUA. Michael Stone. University Of Illinois (Ed.). **Quantum Hall effect**. Urbana: World Scientific, 2001. Cap. 1. p. 21-24.

RAMSDEN, Edward. **Hall-effect Sensors: Theory and Application**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2006.

SCHWARTZ, Renee; CRAWFORD, Barbara. Scientific Inquiry and Nature of Science. **Science & Technology Education Library**, [s.l.], p.331-355, 2006. Springer Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1>.

WHITTAKER, Sir Edmund. **A History of the Theories of Aether and Electricity**. London: Thomas Nelson And Sons Ltd, 1951.

BASSALO, José Maria Filardo. **Curiosidades da Física**. 2014. Disponível em: <<http://www.bassalo.com.br/academia/publicacoes/livros/curiosidades-da-fisica-4/>>. Acesso em: 18 maio 2017.

GMEINDER, Gwenn. **A Guide to the Applications of Hall Effect and Reed Switch Sensors**. 2016. Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/a-guide-to-the-applications-of-hall-effect-and-reed-switch-sensors/>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

THOMSON, Mte. **Como Funciona Injeção Eletrônica: Aula 3 - Sensor de rotação**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>>. Acesso em: 20 out. 2017.

VEIT, Eliane Ângela; TEODORO, Vitor Duarte. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 24, n. 2, p.87-96, jun. 2002. Trimestral.