

Sequência didática com Arco de Maguerez elaborada a partir de dois experimentos de baixo custo para o ensino dos modos básicos de operação do transistor

G.L.N. Bueno¹, P.J.P. de Oliveira^{1,*},
E. Rodrigues Junior¹, T.D.
Admiral², G.A.T. Silva¹, E.K.F.
Coelho¹ e V.H. Louzada¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

RESUMO

São bem conhecidas na literatura científica as dificuldades encontradas pelos professores do Ensino Médio em realizar aulas experimentais de física nas escolas. Dentre os motivos, podemos citar: falta de formação e laboratórios, tempo insuficiente das aulas de física e alta carga horária de trabalho. Para compreender algumas das tecnologias atuais, é necessário conhecer temas relacionados à física moderna e contemporânea. Com o objetivo de ajudar a superar os desafios supracitados, apresentamos neste trabalho dois experimentos de baixo custo e uma sequência didática para o ensino do transistor, que é uma tecnologia que faz parte da física moderna e contemporânea. O transistor tem muitas aplicações em nosso dia a dia e, por esse motivo, é um tema atrativo para levar para a sala de aula. A sequência didática foi desenvolvida utilizando como metodologia ativa o arco de Maguerez e foi planejada para ser aplicada em quatro ou cinco aulas em uma turma de 3ª série do Ensino Médio. Por ser de baixo custo, de fácil execução e tratar de temas relacionados à física moderna, que ainda é pouco abordada no Ensino Médio, além de outras aplicações importantes, acreditamos que a presente proposta será de grande valia para auxiliar os professores durante suas aulas.

Palavras-chave: metodologias ativas; ensino de física; transistor; arco de Maguerez

1. Introdução

Uma das maiores inovações tecnológicas do século XX foi sem sombra de dúvida o transistor, criado em 1947 no laboratório da Bell Telephone. A descoberta rendeu o prêmio Nobel de 1956 a William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain [1-2]. Rádios, calculadoras, satélites e circuitos integrados são apenas alguns exemplos de aplicação. Muito provavelmente, o homem não teria pisado na Lua se não existisse o transistor. Suas funções como amplificador de sinal e chave eletrônica provocaram uma revolução na comunicação e na eletrônica. Atualmente, os chips de computadores e smartphones contêm bilhões de transistores. A essência do funcionamento de um chip de computador, através do código binário 0 e 1, somente é possível graças aos transistores. Quando o transistor se encontra ligado, o computador lê o bit 0 e, quando desligado, lê o bit 1 [3].

O transistor é uma tecnologia que faz parte da física moderna e contemporânea (FMC) e seu funcionamento é explicado pelos conceitos da física quântica e da física do estado sólido [4]. Um transistor bipolar NPN tipo BC548C, por exemplo, é um componente de baixíssimo custo. É possível comprar no mercado por centavos. Dessa forma, experimentos envolvendo o transistor podem ser um recurso interessante para o ensino em sala de aula, pois o custo de execução é muito baixo e o tema é extremamente importante para a compreensão de algumas das principais tec-

nologias atuais.

São bem conhecidas na comunidade científica as dificuldades enfrentadas pelos professores na realização de atividades práticas nas escolas públicas brasileiras de Ensino Médio, especialmente aqueles relacionados à FMC [5-10]. Sobrecarga de trabalho, número insuficiente de aulas semanais de física, falta de capacitação para desenvolver atividades experimentais, ausência de equipamentos para aulas práticas são algumas dessas dificuldades [10-11]. Assim, propostas de experimentos de baixo custo e de fácil montagem são importantes diante dessa realidade. Podemos

observar na literatura cada vez mais trabalhos relatando propostas de baixo custo para trabalhar conceitos de FMC, em especial com a utilização de eletrônica [12].

Sobre o ensino do transistor, existem na literatura experimentos e estrat-

tégias didáticas para serem utilizadas no Ensino Médio, na graduação e em cursos de formação de professores. A seguir, relatamos alguns trabalhos: Sampaio, Rodrigues e Souza [13] apresentaram um eletroscópio de baixo custo, feito com um transistor de efeito de campo (TEF), para o ensino de tópicos de eletrostática para Ensino Médio e ensino superior. Foram propostas algumas atividades para serem realizadas em sala de aula. Como o funcionamento do TEF envolve conceitos quânticos, o projeto também permite trabalhar conteúdos de FMC. Freitas [14] produziu quatro vídeos curtos para o ensino de conceitos de semicondutores no Ensino Médio. Os vídeos foram apresentados

O transistor é uma das maiores inovações tecnológicas do século XX, criado em 1947 no laboratório da Bell Telephone. Seu funcionamento é explicado pelos conceitos da física quântica e da física do estado sólido, e é usado em calculadoras, satélites e circuitos integrados

*Autor de correspondência. E-mail: paulojoseo@ifes.edu.br.

em duas turmas da terceira série do Ensino Médio e os resultados indicaram que a utilização dos vídeos favoreceu a aprendizagem. Van De Bogart e Stetzer [15] realizaram uma investigação sistemática da compreensão dos estudantes sobre o comportamento do transistor de junção bipolar (TJB). Eles utilizaram uma variedade de tarefas diferentes para isolar e sondar aspectos-chave do funcionamento do transistor. Os estudantes que participaram da pesquisa eram estudantes da disciplina de eletrônica dos cursos de graduação de física e engenharia. Os resultados indicaram que, mesmo após receber todas as instruções necessárias, os estudantes não demonstraram uma compreensão conceitual sólida sobre a funcionalidade dos circuitos de transistores de junção bipolar. Zoabi e cols. [16] desenvolveram uma animação de computador que simula o funcionamento interno de um TJB e compararam a aprendizagem dos alunos que aprenderam com a animação com aqueles que aprenderam com diagramas estáticos. A pesquisa foi realizada com estudantes de engenharia eletrônica e os resultados indicaram que o uso da simulação melhorou a aprendizagem. Takemura [17] desenvolveu um sistema para compreensão de circuitos eletrônicos com transistor e aplicou para cerca de dez estudantes de graduação e análises dos resultados indicaram uma melhora na aprendizagem. Segundo Takemura [17] (tradução nossa):

Em geral, compreender circuitos de transistor é difícil para iniciantes [...] exige conhecimento de teorias e análises complicadas [...] Dado o fato de que o amplificador com um transistor é parte integrante de quase todos os equipamentos eletrônicos, uma compreensão abrangente dos circuitos de transistor é essencial no campo da educação tecnológica.

Diante desse cenário, neste trabalho apresentamos uma estratégia para o ensino do transistor utilizando a metodologia ativa do arco de Maguerez [18-19], por meio de dois experimentos de baixo custo. As metodologias ativas de ensino têm se mostrado uma alternativa promissora de ensino diante do perfil atual dos estudantes, que possuem acesso a aulas e materiais na internet e encontram facilmente exercícios resolvidos, bastando digitar parte

da questão no Google [20, 24]. As metodologias ativas colocam o estudante como principal ator de sua aprendizagem e o professor atua como um tutor, orientando o aluno com as dificuldades que encontrar.

Além do arco de Maguerez, outros exemplos de metodologias ativas são: 1 - instrução por colegas [22, 24, 25]; 2 - ensino sob medida [24, 26]; 3 - sala de aula invertida [24, 27]; 4 - estudo de caso [28-29]; 5 - pedagogia por projetos e por meio da resolução de problemas [30]; 6 - sequência de ensino investigativo [31] e 7 - demonstração de aulas interativas [32]. A seguir, na Seção 2, apresentaremos os conceitos físicos envolvidos no transistor; na Seção 3, os experimentos e os materiais utilizados; na Seção 4, a sequência didática desenvolvida por meio do arco de Maguerez e por fim, na Seção 5, as considerações finais.

2. A física do transistor

2.1. Diodo

Para entender o funcionamento de um transistor é importante entender primeiramente como funciona um diodo. Um diodo é composto pela junção de dois materiais semicondutores, em geral silício ou germânio, dopados de maneiras diferentes e classificados como tipo P e tipo N [33].

Na dopagem tipo P, um átomo de um cristal de silício é substituído por um átomo de alumínio, por exemplo. Como o silício tem quatro elétrons na camada de valência e o alumínio tem três elétrons, a substituição nesse caso deixa um vazio, uma lacuna. Em outras palavras, uma ligação deixa de ser feita. Na dopagem tipo N, um átomo de silício é substituído, por exemplo, por um átomo de fósforo, que tem cinco elétrons na camada de valência. Essa substituição deixa um elétron livre de ligação [33]. Na Fig. 1 são mostrados esquematicamente os dois tipos de dopagem.

O elétron livre no tipo N e a lacuna no tipo P são chamados de portadores

majoritários de carga. Em temperatura ambiente, podemos ter lacunas no semicondutor tipo N e também elétrons no tipo P, só que em quantidades menores [34]. Essas cargas geradas devido à temperatura são chamadas de portadores minoritários de carga [4].

No momento da junção dos dois materiais, ocorre um processo de difusão de cargas, isto é, os elétrons do lado N movem-se em direção ao lado P, que contém lacunas. Dessa forma, próximo à junção, o lado N vai ficando cada vez mais carregado positivamente, enquanto o lado P vai ficando cada vez mais carregado negativamente. Isso gera uma barreira de potencial (campo elétrico no sentido oposto ao movimento das cargas) que vai aumentando e dificultando o fluxo de elétrons do lado N para o P. Após um certo tempo, o equilíbrio é atingido e o fluxo de cargas cessa [4, 34]. A Fig. 2 ilustra a situação.

A Fig. 2 e todas as demais figuras do presente trabalho foram geradas pelo software Easy EDA [35]. O programa está disponível on-line e de forma gratuita e uma explicação de como utilizá-lo pode ser encontrada na Ref. [36].

Na região em que é formada a barreira de potencial, não há cargas móveis como elétrons e buracos e por isso essa região é chamada de camada de depleção. O valor da barreira de potencial depende do material e da temperatura. Em temperatura ambiente, o valor da barreira é cerca de 0,6 V para o Silício e 0,3 V para o Germânio [34]. No diodo, o terminal que liga no lado P é chamado de ânodo, enquanto o que liga no lado N é chamado de catodo [34]. Na Fig. 3 está a representação de um diodo em um circuito.

O diodo possui duas características importantes: a polarização direta e a reversa. Quando ligamos o terminal positivo de uma bateria no ânodo e o negativo no catodo de um diodo, temos uma polarização direta e o dispositivo conduz corrente elétrica. Nesse caso, a diferença de potencial (ddp) devido à bate-

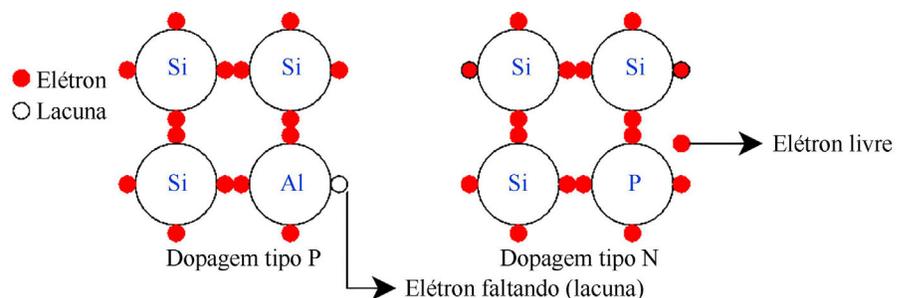


Figura 1 - Dopagem tipo P e dopagem tipo N.

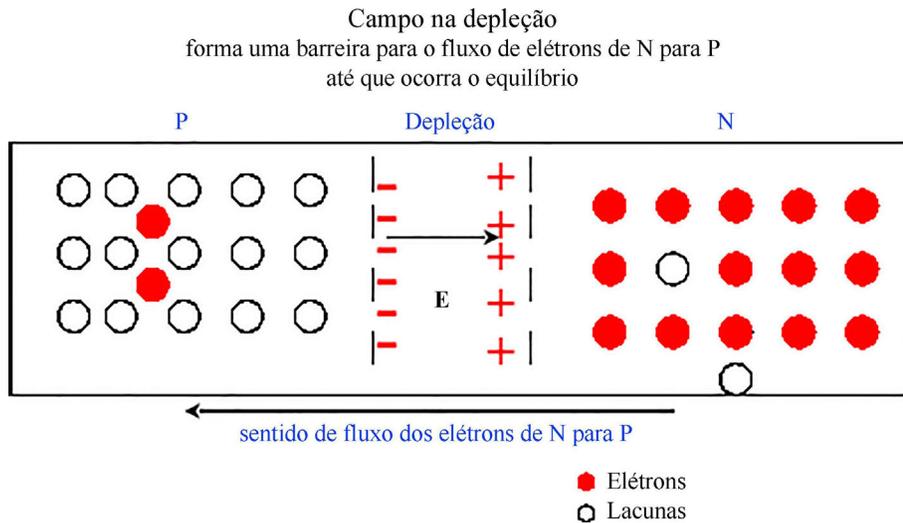


Figura 2 - Difusão de cargas na junção PN.

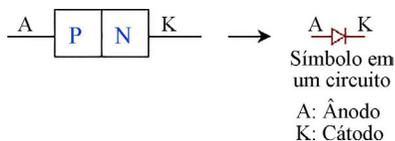


Figura 3 - Representação de um diodo. Fonte: Adaptado da Ref. [34].

ria ajuda os elétrons a vencer a barreira de potencial na região de depleção. Quando a ligação é invertida, isto é, quando ligamos o terminal negativo da bateria no ânodo e o positivo no cátodo, a ddp ajuda a aumentar a barreira de depleção e portanto não há passagem de corrente elétrica. A Fig. 4 ilustra as duas situações.

2.2. Transistor

Existem vários tipos de transistores, porém neste trabalho tratamos do TJB. Ele é constituído pela combinação de duas junções (ou dois diodos) NP e PN para formar o transistor tipo NPN e a combinação PN e NP para o formar o transistor PNP [34]. Neste trabalho, utilizamos o transistor bipolar tipo NPN BC548C. A Fig. 5(a) mostra o símbolo utilizado em um circuito elétrico e a Fig. 5(b) mostra o dispositivo.

Na Fig. 6, é mostrada a estrutura do transistor em detalhes. O lado N esquerdo é fortemente dopado. A região central, mais fina, é muito fracamente dopada. O lado direito possui uma dopagem intermediária; tem também maior volume, portanto dissipa mais calor [4, 34].

Note que o lado NP está polarizado diretamente, isto é, o terminal positivo está ligado no lado P e o negativo no lado N. A parte PN está com polarização

reversa. Assim, temos uma corrente I_B na junção NP e a princípio não teríamos corrente na junção PN. Entretanto, como P está fracamente dopado e é fino, parte dos elétrons provenientes de N para P (esquerda para direita) preenchem as lacunas, outra parte escapa para gerar a corrente I_B e o restante tem como única opção migrar para N, no lado direito. Dessa forma, a junção PN produz uma corrente I_C à direita bem maior que I_B . Na Fig. 6, para facilitar a análise, adotamos o sentido de movimento dos elétrons [4, 34, 37].

A amplificação de uma corrente elétrica é uma das principais aplicações do transistor. O ganho de corrente A é definido pela razão I_C/I_B . Para o transistor utilizado neste trabalho, $A \cong 100$. A corrente do emissor I_E que chega no lado esquerdo N é dada pela soma ($I_C + I_B$). É possível visualizar na Ref. [37] uma simulação do funcionamento do transistor.

A corrente de base controla a tensão V_{CE} e a corrente no coletor (Fig. 7a). Quando a tensão de entrada é pequena e portanto $V_{BE} < 0,6$ V, temos que $I_B = 0$ e não existe corrente no coletor. Nessa situação, o transistor funciona como uma chave aberta (ou em modo de corte), como se fosse uma torneira fechada. Quando V_{BE} vai se aproximando de 0,6 V, I_B passa a ser diferente de zero e o transistor entra em modo ativo (Fig. 7(b)), produzindo uma corrente amplificada I_C . Nessa situação, o transistor funciona como uma fonte de corrente, semelhante a uma torneira aberta. A curva na Fig. 7(b) é exatamente igual à de um diodo polarizado diretamente, no qual 0,6 V é a barreira de potencial devido à junção (região de de-

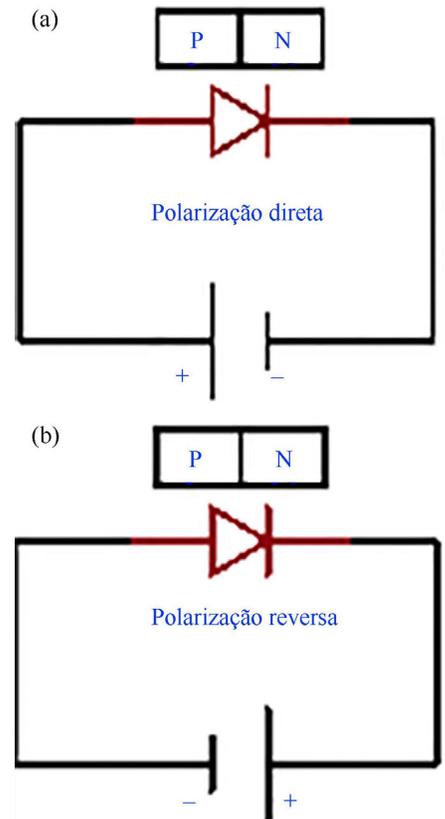


Figura 4 - (a) Diodo polarizado diretamente. (b) Diodo polarizado reversamente.

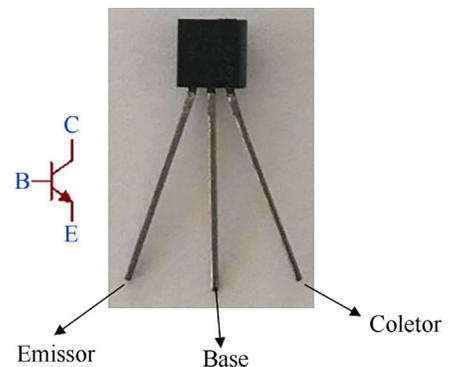


Figura 5 - (a) Representação em um circuito. (b) Transistor Bipolar NPN BC548C.

pleção).

Na Fig. 8(a), tem-se um exemplo de curvas de corrente I_C em função da tensão de saída V_{CE} para vários valores de corrente I_B . Note que uma vez fixada a corrente de base, a partir de certo ponto, a corrente I_C é constante, isto é, o transistor mantém o ganho de corrente com a mudança de V_{CE} . Analisando o gráfico, considerando, por exemplo, $I_C = 10$ mA, temos que $I_B = 40$ μ A e o ganho de corrente é de 250 vezes.

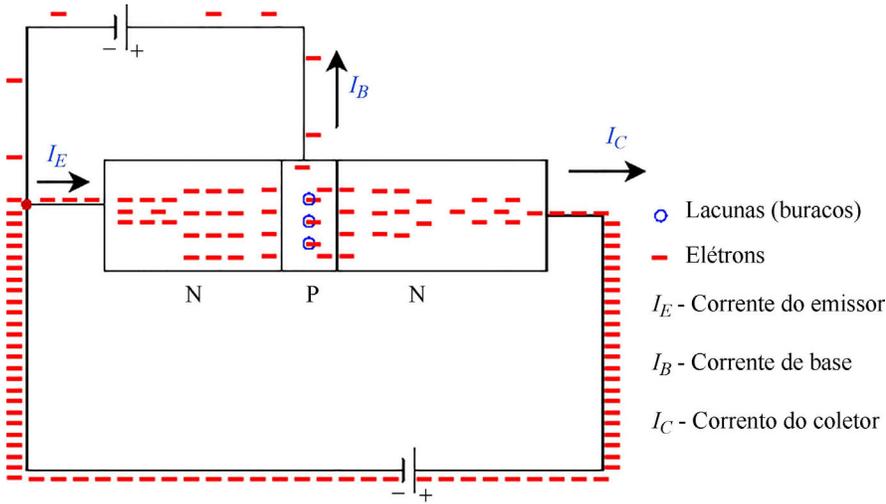


Figura 6 - Estrutura de um transistor bipolar NPN.

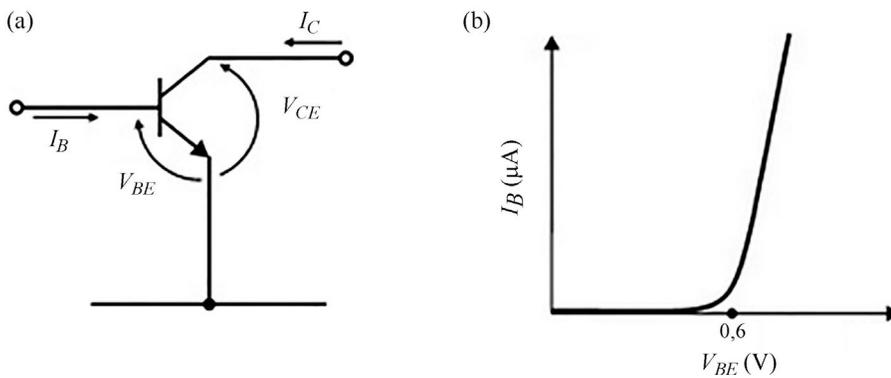


Figura 7 - (a) Transistor com os parâmetros de entrada (I_B e V_{BE}) e saída (I_C e V_{CE}) em um circuito. (b) Gráfico da corrente de entrada I_B (em miliampères) em função da tensão de entrada V_{BE} . Fonte: Ref. [34].

Na Fig. 8(b) é mostrada a reta de carga que define os pontos de operação do transistor (chamados de pontos quiescentes). Quando a corrente de base é muito pequena, a corrente no coletor é nula e $V_{CE} = V_{CE\text{corte}}$ (região de corte). À medida que I_B vai aumentando e V_{CE} diminuindo, a corrente I_C aumenta e o transistor está na região ativa.

Quando $V_{CE} \cong 0$, I_C atinge seu valor máximo, isto é, $I_C = I_{C\text{sat}}$ (região de saturação). Na região de saturação, o transistor funciona em sua capacidade máxima e, por mais que aumentemos I_B , a corrente no coletor permanece a mesma. A seguir, na Seção 3, apresentamos os experimentos utilizados na proposta didática.

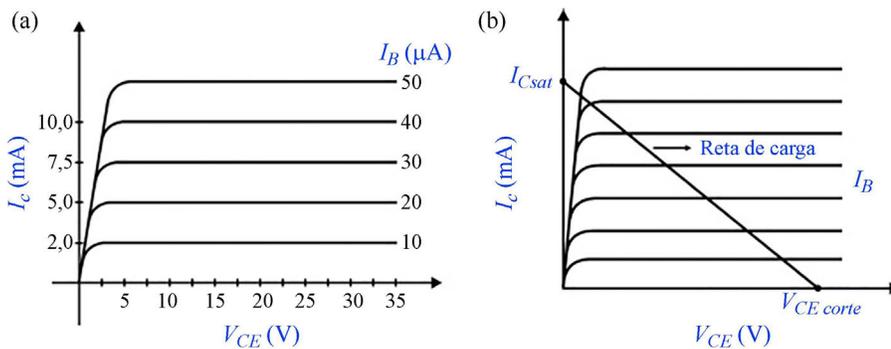


Figura 8 - (a) Exemplo de curvas características para configuração emissor comum para um transistor NPN. (b) Curvas características com a reta de carga. Fonte: Ref. [34].

3. Experimentos e materiais

3.1. 1º experimento

A Fig. 9 mostra o circuito do experimento [38].

Os materiais utilizados para construir o experimento foram:

- 1 bateria de 9 V;
- Resistores de 220 Ω , 10 k Ω , 120 k Ω e 1 M Ω ;
- Dois transistores BC548C;
- Um capacitor 47 μF ;
- 1 LED (*light emitting diode*) branco;
- 1 microfone(microfone de Eletreto);
- Fios conectores.

O experimento funciona da seguinte maneira: o som emitido por um estalar de dedos ou um bater de palmas é captado pelo microfone (Mic), isto é, o sinal sonoro é transformado em um sinal elétrico (corrente elétrica) no circuito e é amplificado pelo transistor. O capacitor faz com que a luz do LED fique acesa por um curto período de tempo. O resistor de 10 k Ω em a função de limitar a corrente em $\cong 1$ mA no Mic, condições necessárias para polarizá-lo (ativá-lo). No presente circuito, a corrente no Mic foi de cerca de 240 μA . O capacitor serve também para garantir que apenas o sinal gerado pelo Mic passe para a base do transistor. O sinal proveniente do Mic (tensão alternada) vem sobreposto à tensão do Mic, que produziria corrente contínua para o transistor, mesmo não havendo som algum vindo do Mic. Como no experimento deseja-se acender o LED com o som produzido pelo Mic, a utilização do capacitor garante essa funcionalidade, pois ele funcionará como um filtro bloqueando a corrente contínua (como se fosse um circuito aberto) e deixando passar corrente alternada (como se fosse uma resistência). Essa resistência do capacitor quando submetido a sinais alternados é chamada de reatância capacitiva (X_C). A reatância capacitiva é definida pela Eq. (1):

$$X_C = \frac{1}{(2\pi Cf)}, \quad (1)$$

em que C é a capacitância e f é a frequência do pulso (tensão alternada). A partir da reatância capacitiva e da condição $X_C = R$ (resistência, no presente circuito $R = 1$ M Ω), define-se a frequência de corte $f_c = 1/(2\pi CR)$. Assim, o capacitor só permitirá a passagem de tensão com frequências acima de f_c . Esses filtros eletrônicos com uso do capacitor podem ser dimensionados para permitir a passagem de altas frequências (fil-

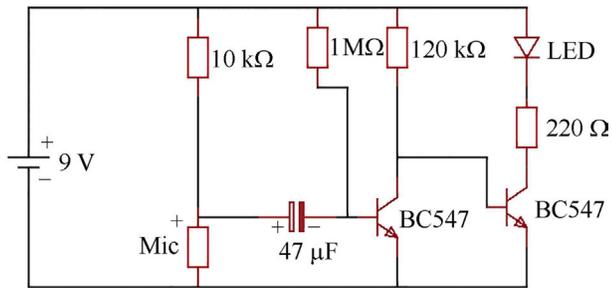


Figura 9 - Circuito do primeiro experimento. Fonte: Ref. [38].

tro passa-alta) ou para passagens de baixa frequência (filtros passa-baixa) [39]. Note que quanto maior o produto CR , menor será f_c e maior será a sensibilidade do Mic. Considerando os valores no presente circuito ($47 \mu\text{F}$ e $1 \text{M}\Omega$), a frequência de corte é de $0,0034 \text{ Hz}$. Pode-se diminuir a sensibilidade do Mic reduzindo, por exemplo, o valor da capacitância. O resistor de $120 \text{k}\Omega$ limita a corrente I_C no primeiro transistor e a corrente de base I_B que chega no segundo. O resistor de 220Ω limita a tensão no LED em cerca de $3,1 \text{ V}$, e a corrente em um valor máximo de $0,02 \text{ A}$ [40-42]. Na Fig. 10 é demonstrado o fun-

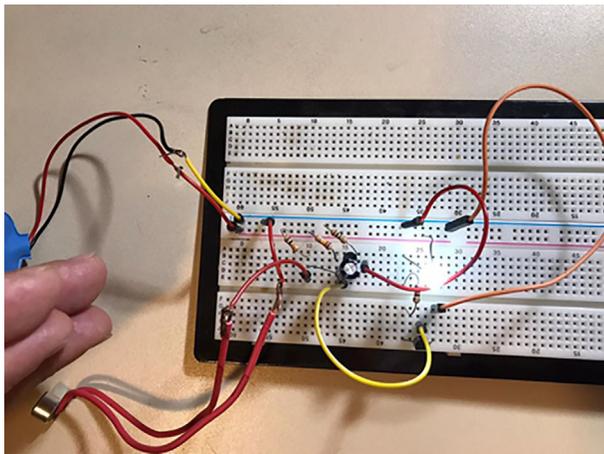


Figura 10 - Luz do LED acesa após uma batida de palmas.

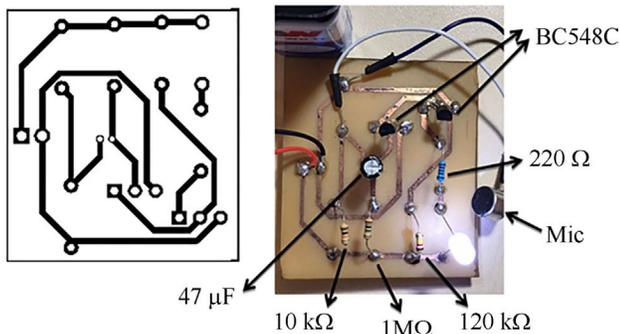


Figura 11 - (a) Desenho para confecção da placa de circuito impresso. (b) Placa pronta, com todos os componentes soldados.

cionamento do circuito.

Na Fig. 11(a), tem-se o desenho para a confecção da placa de circuito impresso traçado no *software* EasyEDA e na Fig. 11(b), a placa pronta com todos os dispositivos soldados. Como sugestão, nas Refs. [37, 43] há orientações e o passo a passo de como desenhar o circuito para impressão, fazer a impressão por transferência térmica, utilizando um ferro de passar roupa, e também como preparar a solução com percloroeto de ferro (FeCl_3). Todos os materiais podem ser adquiridos em lojas especializadas em componentes eletrônicos ou pela internet, a um custo muito acessível.

3.2. 2º experimento

Nesse experimento, mostramos a função amplificadora do transistor [38]. Na Fig. 12, é mostrado o desenho do circuito (as resistências estão em Ohms).

Os materiais utilizados na construção foram:

- 1 bateria de 9 V ;
- resistores de 330Ω e $30 \text{ k}\Omega$;
- 1 transistor BC548C (transistor de uso geral, tipo NPN);
- 2 LEDs brancos.

Note, na Fig. 12, que a corrente que passa pelo diodo (LED) de baixo, ao atingir o transistor, é amplificada, passando pelo diodo de cima, que é mais brilhante, conforme pode ser visualizado na Fig. 13. Isso mostra que a corrente na base do transistor é amplificada muitas vezes no terminal coletor, ou seja, houve um ganho de corrente (I_C/I_B). A tensão-limite no LED é de cerca de $3,1 \text{ V}$ e a corrente máxima é de $0,02 \text{ A}$; esses valores são referências, acima dos quais o dispositivo queima. Assim, torna-se necessário dimensionar o circuito de forma a garantir as tensões corretas em cada LED. O resistor de 330Ω foi escolhido pelo fato de ele limitar a corrente no LED superior em $0,015 \text{ A}$, que satisfaz a condição $< 0,02 \text{ A}$. Isso pode ser verificado através da Eq. (2):

$$I_C = \left[\frac{9 - V_{LED} - V_{Base}}{330} \right]. \quad (2)$$

Em que V_{LED} representa a tensão no LED e V_{Base} representa a tensão na junção base e coletor do transistor. Em nossa aplicação, os valores de V_{LED} e V_{Base} são, respectivamente, $3,1 \text{ V}$ e $0,7 \text{ V}$, o

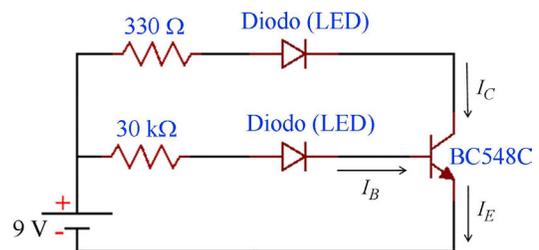


Figura 12 - Desenho do circuito. Fonte: Adaptado da Ref. [38].

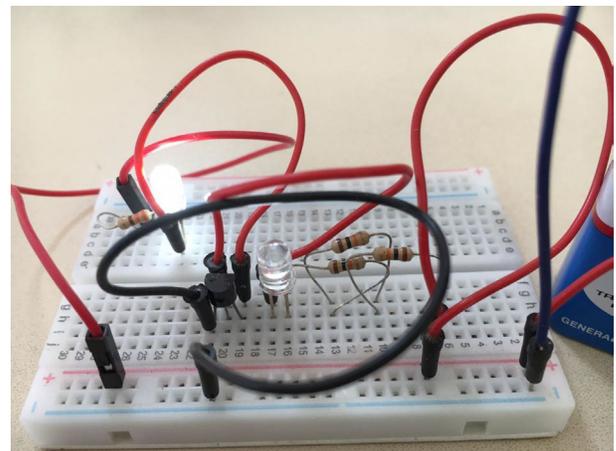


Figura 13 - Função de amplificação de um transistor.

que nos retorna um valor de corrente $I_C \cong 15 \text{ mA}$. Em posse do valor de I_C , estimamos o valor da corrente $I_B \cong 0,15 \text{ mA}$. Para realizar o dimensionamento da resistência elétrica do resistor a ser utilizado, utilizamos a Eq. (3):

$$R = \left[\frac{9 - V_{LED} - V_{Base}}{I_B} \right]. \quad (3)$$

Utilizando os valores de V_{LED} e V_{Base} obtidos anteriormente, obtivemos o dimensionamento do resistor com valor aproximado $R \cong 35 \text{ k}\Omega$. O circuito para demonstração da função de amplificação do transistor foi construído com uma *protoboard* e pode ser visto na Fig. 13.

Na Fig. 14(a), tem-se o desenho do circuito para confecção de uma placa de circuito impresso. Na Fig. 14(b), tem-se a placa pronta, com todos os componentes soldados. Devido à falta de um resistor de $35 \text{ k}\Omega$, utilizamos um de $47 \text{ k}\Omega$. A substituição do resistor por outro de maior resistência elétrica, nesse caso, não traz prejuízo à observação do fenômeno, visto que o dimensionamento do resistor nos fornece um valor mínimo de resistência elétrica para diminuição da corrente e proteção do circuito.

Na próxima seção, apresentamos a sequência didática elaborada para trabalhar os experimentos.

4. Sequência didática

“A sequência didática é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito” [45]. No presente trabalho, a sequência didática foi desenvolvida a partir do método do arco de Maguerez [18, 19]. Segundo Prado e cols. [46], o arco de Maguerez, também conhecido como metodologia da problematização, foi apresentado pela primeira vez por Bordenave e Pereira em 1982 [47]. Essa metodologia baseia-se em situações que sejam capazes de relacionar a vida em sociedade de forma que possa orientar uma prática pedagógica que esteja voltada para o desenvolvimento dos alunos com base em sua autonomia intelectual, visando dessa maneira incentivar o pensamento crítico e o levantamento de hipóteses que possam estar relacionadas ao assunto a ser trabalhado.

A metodologia pode ser dividida em cinco etapas, a saber [18, 19, 46]: (i) observação da realidade (problematização); (ii) pontos-chave; (iii) teorização;

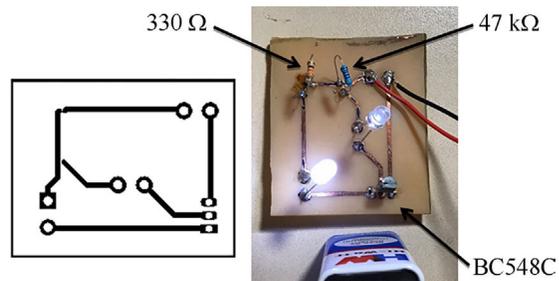


Figura 14 - (a) Desenho para confecção da placa de circuito impresso. (b) Placa pronta, com todos os componentes soldados.

(iv) hipóteses de solução, e (v) aplicação à realidade (prática). Essas etapas são esquematizadas na Fig. 15.

O arco de Maguerez tem como ponto de partida a realidade que é presenciada, vivenciada ao longo do dia a dia, que permite ao estudante extrair e identificar os problemas relacionados ao tema inicial apresentado [18].

A primeira etapa é a observação da realidade, a definição do problema, a identificação das características, de forma que se possa contribuir para a transformação da realidade observada. A segunda etapa visa estimular o estudante a refletir sobre as causas do problema, de modo que ele consiga definir os pontos-chave do estudo. Na etapa da teorização, damos início a uma investigação mais aprofundada, em que os alunos buscam resolver o problema por meio de uma base científica. Nessa etapa, o professor deve conduzir o aluno na construção do conhecimento. Na quarta etapa, ou etapa das hipóteses de solução, o professor deve estimular a criatividade e a originalidade para se pensar nas alternativas de solução para o problema levantado inicialmente. Por fim, a etapa da aplicação à realidade possibilita intervir e manejar situações associadas à solução do problema [18, 19, 46].

A proposta de sequência didática envolvendo o arco de Maguerez foi de-

envolvida considerando o tempo das aulas de física na terceira série do Ensino Médio (duas aulas por semana). Foi, portanto, planejada para ser aplicada em quatro ou cinco aulas. Considerando o perfil dos estudantes, foi definido o objetivo geral e os seguintes objetivos específicos:

4.1. Objetivo geral

Conhecer o que é, e a utilidade de um transistor.

4.2. Objetivos específicos

- Conhecer a história do transistor e sua importância para o desenvolvimento tecnológico.
- Compreender o que são semicondutores tipo N e tipo P.
- Compreender o funcionamento de um transistor como um amplificador de sinal, chave eletrônica e aplicações.
- Compreender a estrutura do LED e seu funcionamento.
- Compreender o que é, qual o funcionamento de um capacitor e para que ele serve.

Após a definição dos objetivos, definimos as atividades de cada etapa. Segue abaixo cada etapa em detalhes:

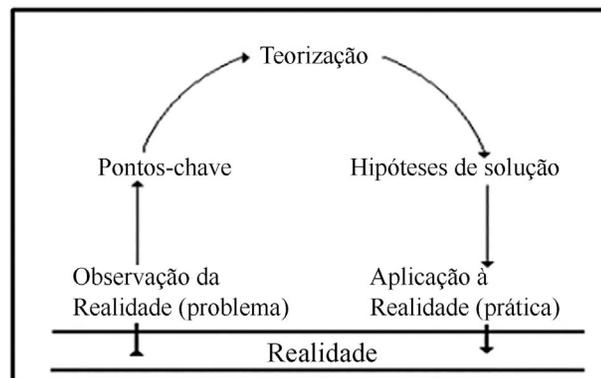


Figura 15 - Estrutura do arco de Maguerez. Fonte: Ref. [19].

4.3. 1ª Etapa: Observação da realidade (1 aula de 50 minutos)

Apresentar os dois experimentos para os estudantes. Os alunos deverão observar o experimento e refletir sobre as seguintes questões:

Por que o LED acende quando se batem palmas ou se estalam os dedos próximo ao microfone? Por que um LED brilha mais intensamente que o outro?

Nesse ponto, o professor solicitará que os estudantes anotem e desenhem em uma folha de papel a percepção que eles tiveram ao visualizar o experimento. Paralelamente, o professor deverá anotar suas observações.

Após essa etapa, o professor apresentará aos alunos vídeos, textos, notícias e materiais que permitam ao aluno entender a importância do transistor e das tecnologias que surgiram a partir dele e, com isso, ficar sensibilizado para solucionar os problemas iniciais.

4.4. 2ª Etapa: Pontos-chave (1 aula de 50 minutos)

1ª parte: com base nas anotações iniciais e nas informações complementares obtidas com os materiais fornecidos pelo professor, o aluno deverá elaborar um pequeno texto sobre transistores, LEDs e suas tecnologias. Esses textos podem ser produzidos tanto individualmente quanto em grupo.

2ª parte: Os textos elaborados deverão ser apresentados pelos alunos durante a aula e o professor vai destacar no quadro os aspectos (pontos-chave) apontados pelos estudantes como fundamentais para a compreensão da questão inicial.

A primeira e a segunda parte podem ser executadas totalmente em sala de aula. Alternativamente, os alunos podem cumprir a 1ª parte em casa e a 2ª parte na sala de aula. Caso o professor opte por essa última, a terceira etapa pode ser antecipada para a aula destinada anteriormente à segunda etapa em sala de aula.

É importante, nesse momento, que o professor busque ouvir as representações dos alunos sobre os conceitos envolvidos nos fenômenos observados. Nesse ponto, deve-se buscar uma sistematização do conhecimento dos alunos, inserindo nas lacunas de conhecimento os elementos conceituais principais, para facilitar que o aluno chegue em sua formulação de hipóteses.

As etapas seguintes (3ª, 4ª e 5ª) podem ser realizadas com duas ou três aulas.

4.5. 3ª Etapa: Teorização

Tomando como referência os pontos-chave levantados, o professor explicará os conceitos científicos por trás do experimento (dará uma aula sobre os conteúdos necessários), reforçando os pontos apresentados de forma a confirmar as ideias corretas e reformular as ideias incorretas, de modo que o aluno compreenda as diferenças. Com essa base científica, inicia-se a investigação, em que os alunos vão tentar responder aos questionamentos iniciais.

Nesse momento, é importante que o professor explique a estrutura e o funcionamento do LED, do transistor e do capacitor. Essa explicação complementar a compreensão dos alunos, uma vez que já têm um contato com o aspecto fenomenológico. Nesse sentido, a experimentação traz dois benefícios ao ensino: em primeiro lugar, vários trabalhos apontam [10-12] que a demonstração experimental tem uma grande chance de despertar o interesse e a curiosidade dos alunos para os conceitos que serão abordados; outro benefício é a vantagem da demonstração fenomenológica, que possibilita aos alunos comparar resultados esperados na teoria com uma verificação prática.

4.6. 4ª Etapa: Hipóteses de solução

Nessa etapa, espera-se que, com base no que aprenderam, os alunos apresentem, em grupo, hipóteses de solução para o problema inicial. Espera-se que os discentes consigam chegar às seguintes conclusões:

- O transistor pode funcionar como um amplificador de sinal ou uma chave eletrônica.
- O sinal sonoro, ao atingir o microfone, é transformado em sinal elétrico, flui através do circuito e os transistores têm a função de amplificar o sinal para ativar o LED.
- O capacitor tem a função de aumentar o tempo de brilho do LED, pois é um acumulador de carga.
- Os resistores funcionam como limitadores de corrente no LED, no Mic e no transistor.

Vale ressaltar que, para ajudar a

atingir os objetivos, durante a aplicação dos experimentos o docente deve manter uma postura de mediador e instigar a criação de hipóteses por parte dos alunos, incentivando a postura investigativa.

4.7. 5ª Etapa: Aplicação na realidade

Esse é o momento em que os alunos aplicarão, em sua realidade, as hipóteses de solução elaboradas, o que permi-

te ao discente a possibilidade de transformar o meio em que vive. Espera-se que os alunos consigam conectar os conceitos aprendidos com as várias aplicações no dia a dia, como, por exemplo, receptores de sinal de televisão, circuitos integrados de computador, satélites e antenas de comunicação em geral.

Em todas as etapas, o professor deve pedir que os alunos façam anotações pertinentes às ideias, dúvidas e hipóteses, entre outras. Ao final de cada etapa, as anotações produzidas pelos estudantes devem ser recolhidas pelo professor, como avaliação e para análise e aperfeiçoamento da sequência didática.

Também é nesse momento que o docente pode revisar e reforçar os conceitos abordados durante as aulas. É de extrema importância que seja realizada uma avaliação para determinar, em boa medida, a eficiência e a viabilidade da proposta didática.

5. Considerações finais

No presente trabalho, apresentamos duas propostas de experimentos e uma sequência didática para o ensino da física do transistor utilizando a metodologia ativa arco de Maguerez. A sequência didática foi desenvolvida para ser aplicada em quatro ou cinco aulas de 50 minutos para turmas da terceira série do Ensino Médio.

Foi proposto um experimento que utiliza um microfone para captar o som (de um bater de palmas ou de um estalar de dedos, por exemplo) e outro que evidencia a função de amplificação do transistor. A física do diodo e do transistor foi discutida em detalhes, bem como o processo de montagem dos experimentos.

Por se tratar de uma proposta de baixo custo e fácil montagem, concluímos que o professor poderá reproduzir

Tomando como referência os pontos-chave levantados, o professor explicará os conceitos científicos por trás do experimento, reforçando os pontos apresentados de forma a confirmar as ideias corretas e reformular as ideias incorretas, de modo que o aluno compreenda as diferenças

os experimentos em suas aulas. No que diz respeito à sequência didática com o arco de Magueréz, acreditamos que será de grande valia nas aulas experimentais de física, uma vez que apresenta uma sequência lógica e bem estruturada.

Pelo fato de o arco de Magueréz ser uma estratégia didática nova para o ensino do transistor, acreditamos que a presente proposta poderá ser um guia

para os professores o utilizarem para ensinar outros temas da física, além de representar mais uma forma de trabalhar semicondutores no Ensino Médio.

A sequência didática também pode ser ajustada para ser aplicada em turmas de graduação ou também em cursos de formação de professores, bastando para isso ajustar os objetivos da sequência e os resultados esperados da aprendizagem.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à professora Simoni Cristina Arcanjo, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, pela leitura e considerações no manuscrito.

Recebido em: 31 de Julho de 2020

Aceito em: 25 de Outubro de 2020

Referências

- [1] E.L.M.Mehl, *Do Transistor ao Microprocessador*, disponível em http://www.eletr.ufpr.br/mehl/historia_transistor.pdf, acesso em 15 de Junho de 2020.
- [2] The Nobel Prize, *The Nobel Prize in Physics 1956*, disponível em <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>, acesso em 15 de Junho de 2020.
- [3] Brasil Escola, *Transistor*, disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transistor.htm>, acesso em 15 de Junho de 2020.
- [4] H.D. Young, R.A. Freedman, *Ótica e Física Moderna* (Pearson, São Paulo, 2008), 12th ed., p. 310-311.
- [5] J.G.P. Neto, A.N. De Oliveira, M.C.A. Siqueira, *ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS* **6**, 65 (2019).
- [6] J. Loch, *Física Moderna e Contemporânea no Planejamento de Professores de Física de Escolas Públicas do Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [7] P.A. Algeu, *Tópicos de Física Quântica no Ensino Médio Utilizando Simulações Computacionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Tocantins, 2018.
- [8] L. Dominguíni, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **34**, 2502 (2002).
- [9] W.T. Jardim, A. Guerra, A. Chrispino, in: *Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Manaus, 2011, disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T029-11.pdf>, acesso em 03 de jun. 2020.
- [10] P.J.P. De Oliveira, E. Rodrigues Junior, J.C.M. Silva, N.A. Da Silva, *A Física na Escola*, **18**(1), 30 (2020).
- [11] A.F. Dos Santos, G.E.R. De Paiva, M.L.A. Dos Santos, E.S. Rodrigues, *C&D-Revista Eletrônica da Fainor* **9**, 220 (2016).
- [12] T.D. Admiral, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20200139(2020).
- [13] T.A.S.M. Sampaio, E.S. Rodrigues, C.J.M. Souza, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 298 (2017).
- [14] F.C. Freitas, *Semicondutores no Ensino Médio - Uma proposta de Ensino de Física Contemporânea*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- [15] K.L. Van De Bogart, M.R. Stetzer, *Physical Review Physics Education Research* **14**, 020121 (2018).
- [16] W. Zoabi, N. Sabag, A. Gero, *American Journal of Engineering Education* **3**, 83 (2012).
- [17] A. Takemura, *E-Learning System for Design and Construction of Amplifier Using Transistors*, disponível em <https://eric.ed.gov/?id=ED557298>, acesso em 19 de Fevereiro de 2021.
- [18] A.A. Colombo, N.A.N.Berbel, *Semina: Ciências Sociais e Humanas* **28**, 121 (2007).
- [19] M.M. Monteiro, V.S. Marcelino, *Revista de Educação, Ciências e Matemática* **8**, 33 (2018).
- [20] J. Paula, N. Figueiredo, D.P.A. Ferraz, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **37**, 127 (2020).
- [21] D.F. Almenara, D.K.P. Tavares, L.B. De Souza, I.S.C. De Oliveira, C.M. Júnior, in: *XIII Semana da Física*, Ji-Paraná, nov., 2019, disponível em <http://www.semanadafisica.unir.br/images/trabalhos/daniela2.pdf>, acesso em 17 de Julho de 2020.
- [22] I.S. Araujo, E. Mazur, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 362 (2013).
- [23] M.A. Moreira, *Estudos Avançados* **32**(94), 73 (2018).
- [24] A.B.A.Fiasca, *Aplicando Metodologias Ativas e Explorando Tecnologias Móveis em Aulas de Relatividade Restrita no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018.
- [25] A.V.R. Araujo, E.S. Silva, V.L.B. De Jesus, A.L. De Oliveira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**(2), e2401 (2017).
- [26] V. Oliveira, E.A. Veit, I.S. Araujo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 180 (2015).
- [27] T. E. de Oliveira, I. S. Araújo, E. A. Veit, *A Física na Escola* **14**(2), 4 (2016).
- [28] L.P.E. Sá, S.L. Queiroz, *Estudo de Casos no Ensino de Química* (Átomo, Campinas, 2009), 95 p.
- [29] C.B. Hygino, V.S. Marcelino, M.P. Linhares, *Rencima* **6**, 1 (2015).
- [30] C. Boghi, D.M. Shitsuka, R. Shitsuka, *Educação & Linguagem* **20**, 143 (2017).
- [31] A. M. P. De Carvalho (Org.), *Ensino de Ciências por Investigação- Condições para Implementação em Sala de Aula* (Cengage Learning, São Paulo, 2013), 164 p.
- [32] M.C. Paranhos, M.L.R. Paranhos, L.C. Filho, J.R. Dos Santos, *Revista UNILUS Ensino e Pesquisa* **14**, 124 (2017).
- [33] C.A.Kantor, L.A.P. Júnior, L.C. Menezes, M.C. Bonetti, V.M. Alves, *Coleção Quanta Física: Manual do Professor 3ºAno* (PD, São Paulo, 2010), 1st ed., p. 76-85.
- [34] E.C.A. Cruz, S. Choueri Jr., *Eletrônica Aplicada* (Érica, São Paulo, 2009), 2nd ed.
- [35] EasyEDA, PCB design & simulação de circuito online, disponível em <https://easyseda.com>, acesso em 23 de Junho de 2020.
- [36] Manual do Mundo, Como fazer uma placa de circuito impresso. 2019, disponível em <https://youtu.be/P08uX38rr7o>, acesso em 23 de Junho de 2020.
- [37] Aprenda Ingeniería, Transistor, ¿Cómo funciona? 2018, disponível em <https://youtu.be/w14cvydBC8g>, acesso em 23 de Junho de 2020.
- [38] Tech Ideas, Simple clap switch circuit using transistor. 2019, disponível em <https://youtu.be/uQ1LPFqSyqE>, acesso em: 29 de Julho de 2020.
- [39] M.X.S. Silveira, F.A.O. Cruz, *A Física na Escola* **18**(1), 36 (2020).

- [40] Mundo da Elétrica, Filtro passa-alta, características e aplicações, disponível em <https://www.mundodaeletrica.com.br/filtro-passa-alta-caracteristicas-e-aplicacoes/>, acesso em 22 de Setembro de 2020.
- [41] CircuitDigest, Music operated dancing LEDs, disponível em <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/simple-led-music-light>, acesso em 22 de Setembro de 2020.
- [42] Circuits Today. Dynamic microphone amplifier using transistors, disponível em <https://www.circuitstoday.com/dynamic-microphone-amplifier-using-transistors>, acesso em 22 de Setembro de 2020.
- [43] BIERWEG, Como fazer circuito impresso por transferência térmica, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=473tNF0c3W4>, acesso em 02 de Outubro de 2020.
- [44] WR Kits, Como preparar percloreto de ferro, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=YpOjGj3_V_c&t=1s, acesso em 02 de Outubro de 2020.
- [45] J.Dolz, M.Noverraz, B.Schneuwly, in B. Schneuwly, J. Dolz (orgs), in: *Gêneros Oraís e Escritos na Escola*, tradução e organização R. Rojo, G.S. Cordeiro (Mercado de Letras, Campinas, 2004), p. 95-128.
- [46] M.L. Prado, M.B. Velho, D.S. Espíndola, S.H. Sobrinho, V.M.S. Backes, Esc. Anna Nery Rev. Enferm. **16**, 172 (2012).
- [47] J.D. Bordenave, A.M. Pereira, *Estratégias de Ensino e Aprendizagem* (Vozes, Petrópolis, 1982), 4th ed.