

ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS COM AUXÍLIO DE UM SIMULADOR DO PHET

TEACHING OF ELECTRICAL CIRCUITS WITH AID OF A PHET SIMULATOR

Feitosa, Murilo Carvalho; Lavor, Otávio Paulino

Murilo Carvalho Feitosa 1murilofeitosa@gmail.com
Universidade Federal Rural do Semi-árido, Brasil
Otávio Paulino Lavor 2otavioplavor@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

**REAMEC ? Rede Amazônica de Educação em
Ciências e Matemática**

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

ISSN-e: 2318-6674

Periodicidade: Frequência contínua

vol. 8, núm. 1, 2020

revistareamec@gmail.com

Recepção: 03 Setembro 2019

Aprovação: 31 Janeiro 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/437/4372757009/>

DOI: <https://doi.org/10.26571/reamec.v8i1.9014>

Esta Revista utiliza-se da Licença Creative Commons Attribution 4.0 International License. Os artigos e demais trabalhos publicados na Revista REAMEC passam a ser propriedade da revista. Uma nova publicação do mesmo texto, de iniciativa de seu autor ou de terceiros, fica sujeita à expressa menção da precedência de sua publicação neste periódico, citando-se a edição e a data dessa publicação. Para o artigo ser publicado é condição obrigatória o envio da Declaração de Responsabilidade e Transferência de Direitos Autorais.



Este trabalho está sob uma Licença Creative Commons Atribuição-
NãoComercial 4.0 Internacional.

Resumo: As ciências exatas e naturais enfrentam diversas dificuldades no ensino de alguns conceitos. Uma área em destaque são os circuitos elétricos que carregam problemas de compreensão da funcionalidade de alguns componentes. Diante disso, este trabalho apresenta uma atividade de circuitos elétricos com auxílio de simulação, com base numa sequência de ensino investigativa. Após a apresentação do conteúdo, é apresentado o simulador kit de construção de circuitos do PhET, mostrando sua funcionalidade e alguns exemplos. Os discentes passam a projetar circuitos e cada um tem a liberdade de inserir os componentes montando o circuito desejado. Durante todo o processo, foi possível observar a motivação e interação dos envolvidos com o ambiente de simulação, onde destaca-se que oitenta por cento dos envolvidos estão completamente satisfeitos e os demais estão parcialmente satisfeitos com o roteiro e com a aprendizagem, o que é visto em suas notas na avaliação de aprendizagem. Esses fatos colocam uma estreita relação entre conteúdo, aluno e professor, mostrando que os objetos de aprendizagem são fortes aliados na construção do conhecimento.

Palavras-chave: Objetos de aprendizagem, Ensino-aprendizagem, Motivação, Interação.

Abstract: The exact and natural sciences face several difficulties in teaching some concepts. A prominent area is electrical circuits that carry problems with understanding the functionality of some components. Given this, this work presents an activity of electrical circuits with the aid of simulation, based on an investigative teaching sequence. After presenting the content, PhET's circuit building kit simulator is presented, showing its functionality and some examples. Students begin to design circuits and each has the freedom to insert the components assembling the desired circuit. Throughout the process, it was possible to observe the motivation and interaction of those involved with the simulation environment, where it stands out that eighty percent of those involved are completely satisfied and the others are partially satisfied with the script and learning, which is seen in their evaluation notes of learning. These facts put a close relationship between content, student and teacher, showing that learning objects are strong allies in the construction of knowledge.

Keywords: Learning objects, Teaching-learning, Motivation, Interaction.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo conhecimento vem crescendo cada vez mais, devido a isso há uma grande necessidade de aprimoramento e praticidade para a transmissão de tal. Em virtude da vontade de resolução deste problema, esse trabalho apresenta a proposta de um objeto de aprendizagem que é um simulador de montagem de circuitos corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), com estudo de dados representativos e resultados. E principalmente apresentar o impacto que esse tipo de simulador pode causar, servindo esse, de exemplo para os demais simuladores existentes e que podem auxiliar o professor no ensino paralelo aos assuntos ministrados em sala de aula.

Muitas vezes, com o erro, as pessoas acabam se desmotivando e abandonando a sua área ou emprego, então havendo a prática, desenvolvendo a experiência, as margens de erro diminuem bastante. Martins et al. (2019) afirma que as experiências de êxito logradas pelos alunos em tarefas nas quais realizam geram confiança em obter novos êxitos em eventos futuros, aumentando a auto eficácia para a tarefa em questão. Os autores afirmam ainda que, da mesma maneira, sucessivos fracassos em tentativas de executar determinada tarefa acarretarão na redução da autoeficácia do indivíduo para a mesma, fazendo com que este apresente medos e inseguranças em eventos futuros, colocando em dúvida a sua própria capacidade frente ao desafio/tarefa solicitada.

Essa busca pelo conhecimento não é algo novo, mas muitas vezes a dificuldade de compreensão é causa de desmotivação e possivelmente a desistência dos discentes por referidas áreas de conhecimento. As simulações auxiliam para que os alunos vejam a parte real de como funcionam o que estão estudando de forma mais fácil e objetiva. Assim como outros tipos de estratégias para melhoria do ensino-aprendizagem, Boszko e Güllich (2018) destacam as situações de caso como estratégia de ensino de ciências. Dessa forma, compreende-se que as simulações mostram o funcionamento de componentes de um sistema físico.

Vale ressaltar que o uso de simuladores serve até mesmo para o ensino mais básico, como os ensinos fundamental e médio. Mas muitas vezes nos deparamos com a falta de capacitação dos professores para lecionar distintas áreas que podem abranger o nosso campo de estudo, para isso, Oliveira e Kalhil (2019) fazem estudo sobre isso e afirmam,

[...] sentem falta de formação adequada para lidar com conhecimentos de Ciências. Além disso, muitos professores carregam consigo uma visão de Ciências e de seu ensino atrelada à tradição positivista que é experimentalista e entende o Ensino de Ciências como reprodução da Ciência feita, em laboratório, por cientistas. (Oliveira e Kalhil, 2019, p. 3).

Diante disso, acredita-se que o uso de simulações pode ser inserido na formação do ser pessoal e profissional. Segundo Gavira (2003), o conceito de conhecimento está intimamente ligado ao de aprendizagem e que a principal vantagem da utilização de simuladores reside no fato de que ela permite às organizações experimentar regras de decisão alternativas dentro dos limites de um laboratório severamente controlado, sem interrupções das operações do sistema real. Outra grande vantagem observada refere-se à capacidade do modelo de simulações de

comprimir o tempo e espaço, permitindo a tomadores de decisões conhecerem, em pouco tempo, as consequências de longo prazo concernentes às suas ações e ao sistema como um todo.

O uso de simuladores não se limita a uma área específica, e serve para evitar acidentes na hora do ato de aplicar os métodos, que exigem cuidados e daí surge a oportunidade de iniciantes entrarem em contato com o que desejam trabalhar. Com os simuladores, tem-se uma fase onde ainda é possível errar. A simulação é uma estratégia de aproximar conceitos abstratos de um modelo físico propondo situações similares ao mundo real.

A física é uma ciência que apresenta uma interação com os fenômenos da natureza e estes nem sempre podem ser sentidos ou tocados. Nesse contexto, busca-se a melhoria no ensino e aprendizagem nos cursos de física devido à complexidade e quantidade de conteúdos que, em primeiro momento, são abstratos.

Segundo Araújo (2005), as atividades de simulação e modelagem computacionais são úteis no ensino da física e devem ser a ele incorporadas. O autor ainda afirma que mesmo havendo alunos que possam não gostar, tais atividades são úteis, no sentido de serem potencialmente facilitadoras de uma aprendizagem significativa dos conteúdos declarativos e procedimentais da física. Por essa razão, surge a necessidade de discutir conceitos de física, em especial, circuitos elétricos, do ponto de vista tecnológico levando em consideração a modelagem de situações de caso.

Como exemplo de ambiente de simulações, tem-se o PhET (*Physics Education Technology*) que é bastante encontrado em pesquisas. O *software* Aritmética foi utilizado para o estudo da multiplicação por Reis e Rehfeldt (2019). Eles destacam que, por meio de tecnologias digitais computadorizadas, os alunos demonstram interesse em aprender diferente e que a simulação PhET utilizada auxiliou os alunos com dificuldade no aprendizado da multiplicação.

O PhET também foi utilizado em física para ensinar o sistema. Segundo Prima (2018) os alunos que aprendem o sistema solar com simulação PhET apresentam melhora na compreensão e motivação do que sem a simulação como meio de ensino, mostrando uma correlação moderada entre compreensão conceitual e motivação com o uso das simulações PhET.

Então, priorizando um ensino de circuitos elétricos em que o êxito seja desejado e com base numa Sequência de Ensino Investigativa (SEI), este estudo utiliza uma sequência motivada por simulações de circuitos elétricos em que o discente pode interagir com o ambiente de simulação e montar os circuitos propostos a fim de verificar o comportamento de tensão e corrente em tais circuitos. As atividades propostas buscam atender o propósito da motivação e interação ao passo que se constrói uma apropriação de conceitos de circuitos elétricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em julho de 2019 com um grupo de jovens universitários na região do semiárido potiguar com intuito de colher dados representativos que apontem as vantagens cognitivas quanto ao uso de um simulador de circuitos. Os

onze jovens foram escolhidos aleatoriamente. Todos são alunos de um curso de ciência e tecnologia e se sentiram motivados a participarem da pesquisa.

O uso de um simulador no processo de ensino e aprendizagem de circuitos se justifica pela realidade local, onde os métodos e práticas são tradicionais. Então, o recurso é considerado inovador no ensino de circuitos elétricos na região semiárida do estado.

O material utilizado para o presente estudo é um simulador que apresenta a simulação da montagem e do comportamento de um circuito. Trata-se de um kit de construção de circuitos tanto em corrente contínua (CC) como em corrente alternada (CA). Esse simulador foi desenvolvido por Michael Dubson, Kathy Perkins, Sam Reid e Carl Wieman e se encontra na plataforma online PHET para *download*. É um aplicativo leve e está disponível para *download* de forma gratuita.

O aluno necessita, apenas, de possuir um computador com acesso à internet para fazer o download e realizar as simulações. No que segue, apresentamos o aplicado e roteiro utilizado com os alunos. A figura 1 mostra a tela inicial do simulador.

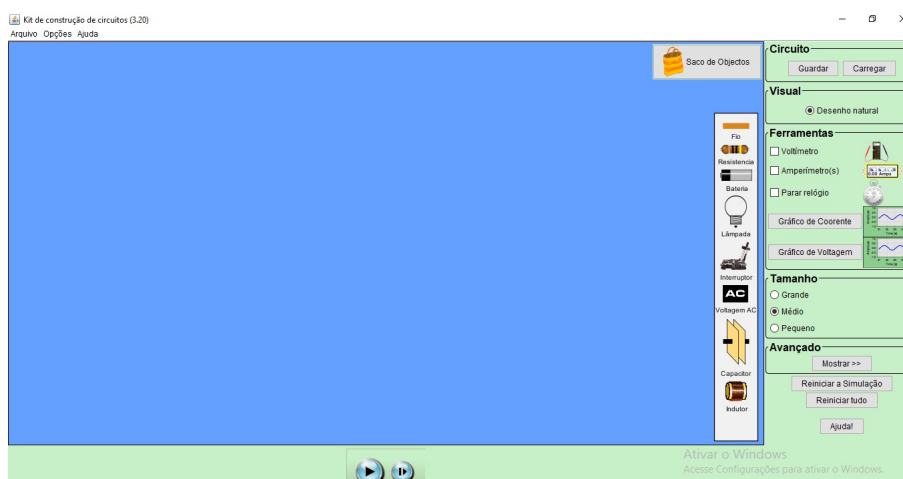


Figura 1

Tela inicial do simulador (kit de construção de circuitos CC e CA)

Fonte: Autores (2019).

A tela azul é o ambiente que será montado o circuito. No canto direito da tela pode ser observado ferramentas que compõem os itens a serem utilizados pelo usuário para a simulação.

Numa visão mais ampla, na figura 2, pode-se ver os componentes para a montagem dos circuitos.

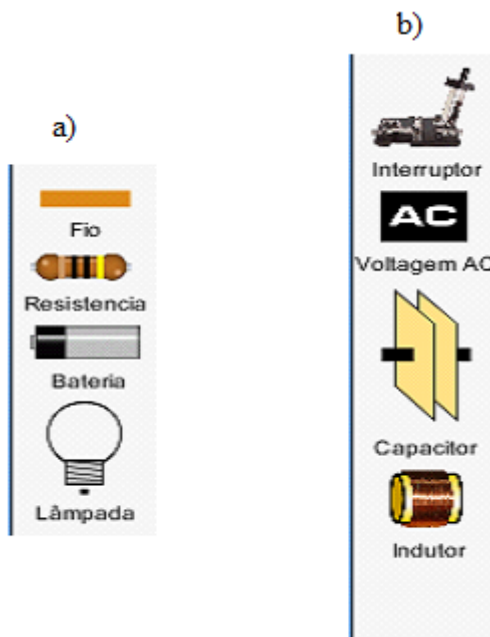


Figura 2

a) Representam a barra de acessórios com fio de cobre, resistor, bateria e lâmpada, ambos para auxílio da montagem dos circuitos; b) É um complemento da figura a) com os acessórios interruptor, representação de CA, capacitor e indutor

Fonte: Autores (2019).

A figura 3 mostra o saco de objetos que contém outros itens.

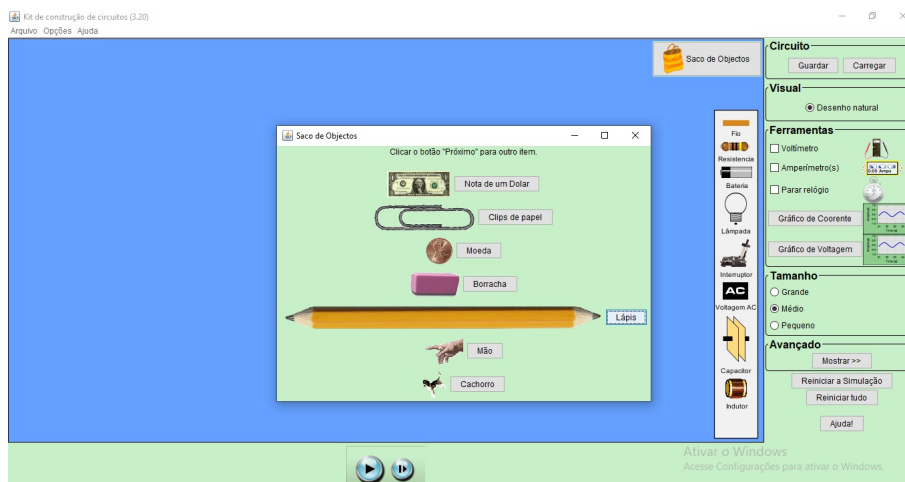


Figura 3

Saco de objetos como acessórios para a montagem dos circuitos

Fonte: Autores (2019).

A figura 4 mostra demonstra um circuito simples que pode ser montado, composto por um interruptor, uma lâmpada e uma bateria de corrente contínua.

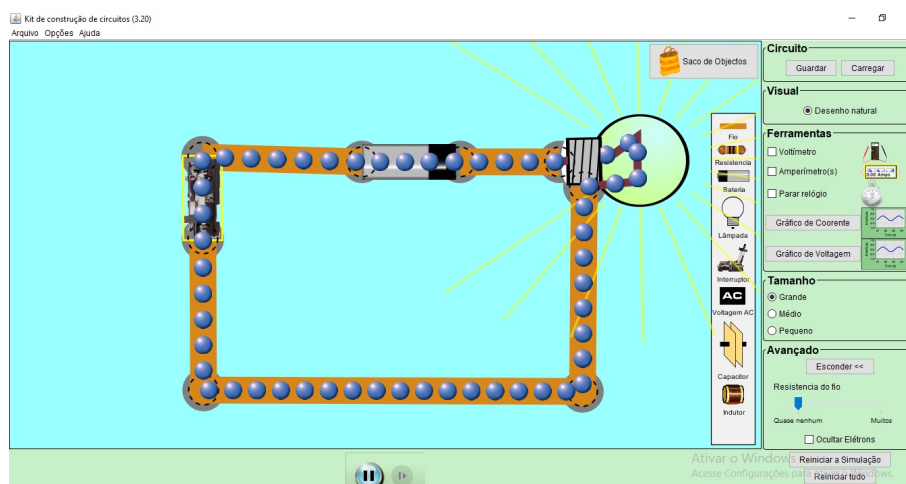


Figura 4
Circuito simples fechado

Fonte: Autores (2019).

O circuito da figura está com o interruptor na posição fechada e foi montado a título ilustrativo do simulador. Mais adiante, apresenta-se exemplos que mostram o comportamento de um circuito e que foram trabalhados em sala de aula.

Neste trabalho, a metodologia se baseia numa Sequência de Ensino Investigativa (SEI), onde Carvalho (2013) afirma que, SEI é um tipo de sequência de atividades que cobre uma área da ementa, ou seja, um conteúdo específico, de uma certa disciplina, e tal atividade tem a função de ligar os conhecimentos anteriores com os novos dos alunos de forma a passar do conhecimento original ao conhecimento científico. Dessa forma, o método utilizado se deu por uma sequência didática que prioriza o ordenamento lógico das fases de aplicação para que os resultados de aprendizagem sejam satisfatórios. Em primeiro momento, é feita uma exposição do conteúdo de circuitos elétricos com apresentação de conceitos e demonstrações de fórmulas em quadro. Em seguida, foi feita a exposição do simulador, onde são mostrados diversos exemplos de montagens de circuitos. Após tais exposições, atividades avaliativas com questões teóricas e montagens dos circuitos são solicitadas aos alunos a fim de verificar a aplicabilidade das simulações, bem como os níveis de satisfação através de uma pergunta adicional.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, faz-se necessário entender sobre circuitos e os seus componentes. Em geral, seus componentes são capacitores, indutores, condutores, resistores, interruptores e o seu comportamento é devido a submissão a fontes de corrente CA ou CC. Na sequência de atividades da SEI, a primeira fase consiste da apresentação dos conteúdos de circuitos elétricos. Tal apresentação é expositiva mostrando as definições, classificação e componentes.

Uma vez apresentado o conteúdo de circuitos, inicia-se a fase de explicação do simulador. Inicialmente, é apresentado o comportamento de um circuito que encontra-se inicialmente desligado, que possui um interruptor, uma lâmpada, um capacitor e uma bateria CC, com acessórios de medição (Amperímetro e

Voltímetro). Os componentes do circuito são inseridos um a um arrastando-os com o mouse. Cada componente possui dois terminais e ao inserir um componente, o terminal anterior vai sendo conectado ao terminal posterior do elemento já inserido. Se desejar remover um componente, basta selecionar e deletar. O multímetro é um instrumento de medição disponível no simulador e seus terminais podem ser inseridos em quaisquer dois pontos do circuito. Note que a corrente no circuito e a tensão no capacitor iniciais são zero, como pode ser visto na figura 5.

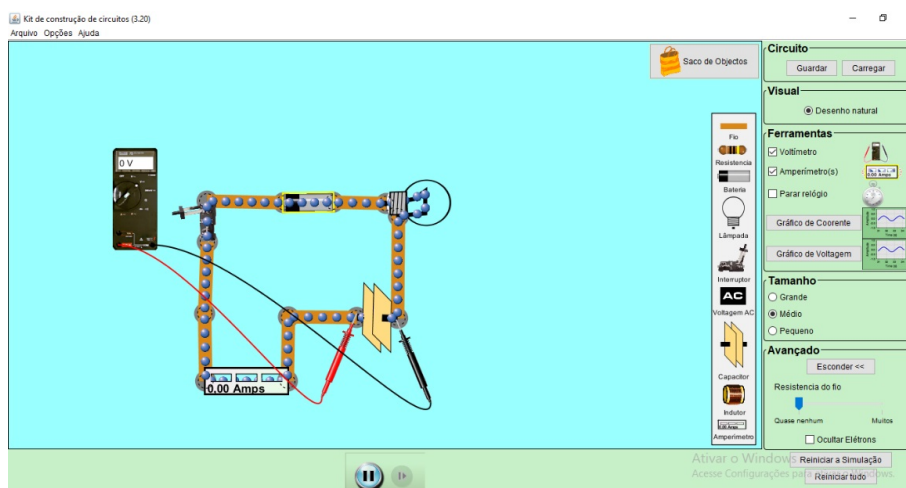


Figura 5

Exemplo de um circuito com a presença de um capacitor inicialmente descarregado

Fonte: Autores (2019).

Pouco tempo após a ativação do interruptor há uma variação de corrente e o capacitor começa a carregar, como podemos ver na figura 6. Com o interruptor ligado, fecha-se o circuito e há passagem de corrente até as placas do capacitor que armazenará as cargas.

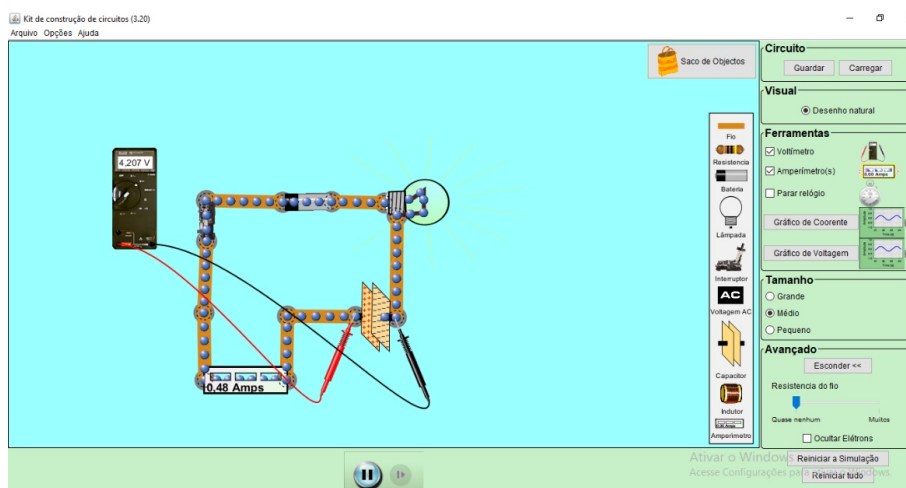


Figura 6

Exemplo de um circuito com a presença de um capacitor sendo carregado

Fonte: Autores (2019).

Quando o capacitor é totalmente carregado, a corrente no circuito se reduz para zero, como era de se esperar. Este fato é visto na figura 7.

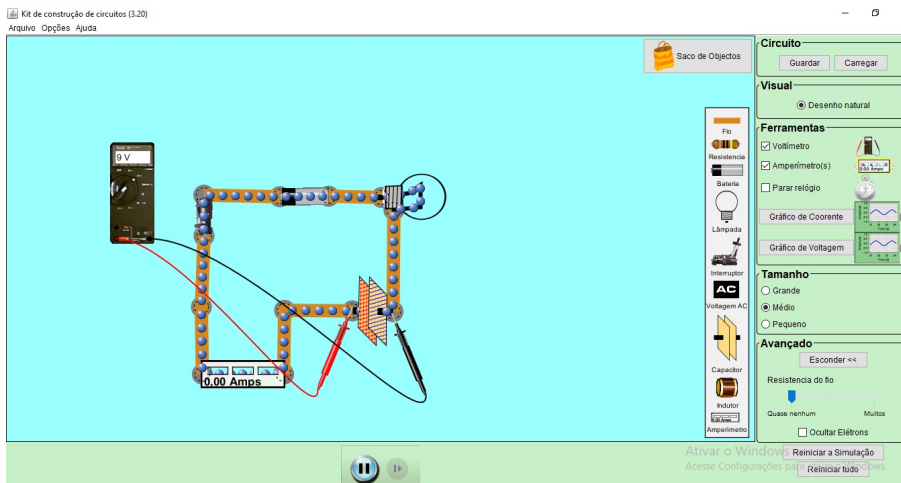


Figura 7
Exemplo de um circuito com a presença de um capacitor carregado
Fonte: Autores (2019).

Na figura 8, é visto o comportamento do circuito quando a bateria é removida.

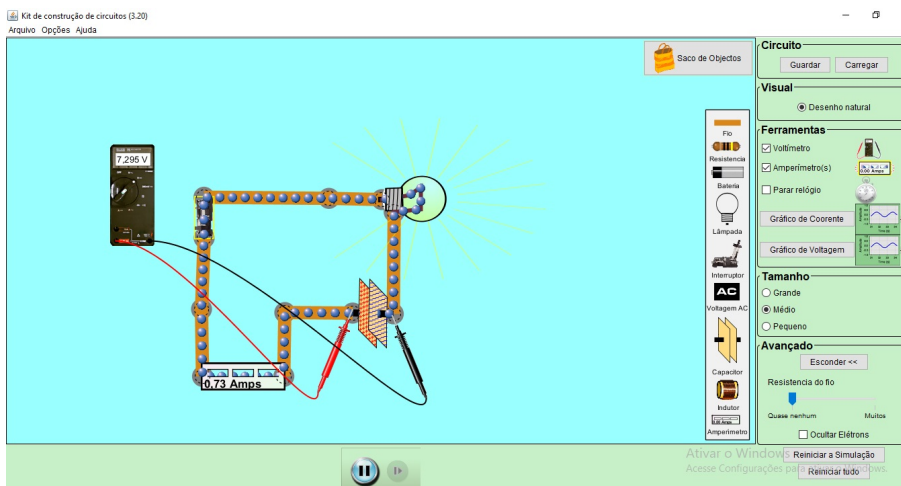


Figura 8
Exemplo de um circuito com a presença de um capacitor com bateria removida
Fonte: Autores (2019).

Pode-se perceber que mesmo sem a bateria há uma variação de corrente e a lâmpada acende, esse é o momento em que o capacitor está descarregando.

Esse foi um exemplo de circuito mostrado a turma para explicar o simulador. Os discentes, em seus computadores pessoais, acompanharam a exposição do simulador de forma participativa. Então, é proposto para a turma, a atividade de montagem de circuitos. Nesta atividade, diversos exemplos foram solicitados a cada discente. A figura 9 apresenta um dos circuitos montados por um dos alunos.

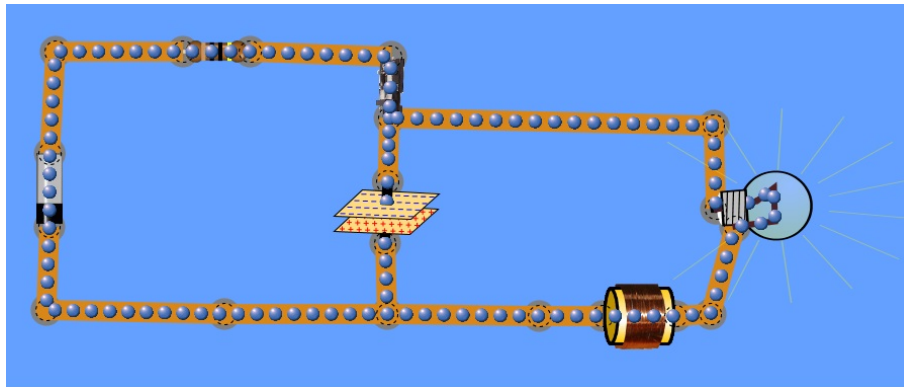


Figura 9
Circuito LCR montado por um aluno
Fonte: Autores (2019).

Nesta figura 9, tem-se a representação de um circuito LCR (indutor-capacitor-resistor) criada com o software *Circuit Construction kit (AC+DC)*, *Virtual Lab*. Analisando o circuito, pode-se constatar que o programa é capaz de fornecer uma ótima simulação visual do experimento, indicando seu comportamento através de uma ilustração dinâmica dos elétrons transitando pelos componentes, bem como através do efeito nestes diante das circunstâncias nas quais estão. A lâmpada, por exemplo, pode ficar com brilho mais intenso caso retire-se o resistor elétrico do circuito. Em contrapartida, a bateria e a chave sofreriam centelhamento devido a uma rápida aceleração dos elétricos dada a diferença de potencial gerada. Além disso, a presença do indutor no circuito faz com que, após ser desligada a bateria, o capacitor seja descarregado na lâmpada com uma inversão no sentido dos elétrons.

Esse comportamento se dá pela seguinte configuração, da esquerda para a direita, inicialmente, a bateria, o resistor e o interruptor, encontram-se em série, que por sua vez, estão em paralelo com todo resto do circuito, segundo temos o capacitor de placas paralelas, que está em paralelo com todo circuito também, e por último a lâmpada em série com o indutor, e estão em paralelo ao resto do circuito. Este circuito forma então duas malhas, que pode ser facilmente resolvido pelas leis de Kirchoff das malhas e dos nós.

A figura 10 apresenta outro circuito montado por um aluno. Este circuito apresenta o esquema de ligação de uma lâmpada com bateria e interruptor.



Figura 10
Circuito montado por um aluno
Fonte: Autores (2019).

Pode-se perceber que as simulações causam motivação entre os estudantes e estes se impressionam e tendem a terem melhores resultados de aprendizagem, visto que há várias possibilidades de montagem dos circuitos elétricos. Dessa forma, o método adotado torna-se um grande diferencial proporcionando um maior entendimento sobre a leitura básica e interpretação dos circuitos.

A fim de verificar os resultados de aprendizagem, foi realizado um teste sobre circuitos elétricos com cinco questões discursivas. As questões buscaram avaliar a apropriação de conceitos e funcionamento dos componentes, bem como a montagem de circuitos. As notas foram classificadas por intervalos e podem ser vistos na figura 11.

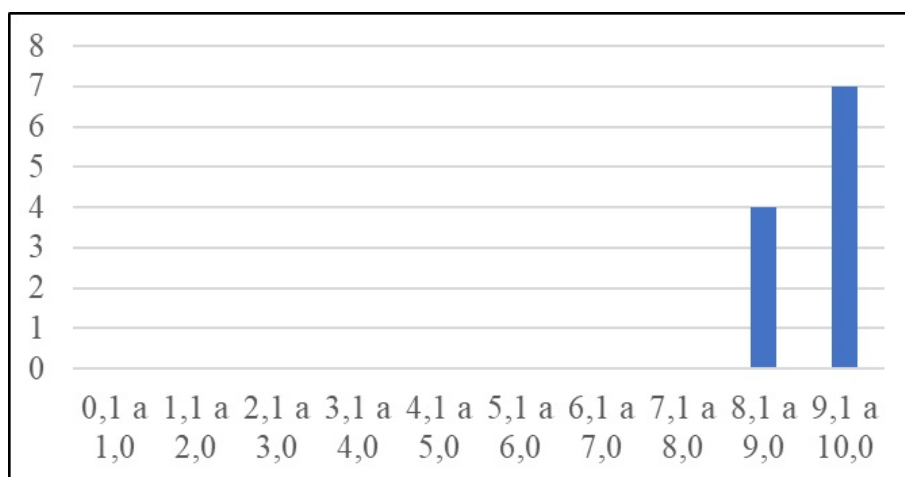


Figura 11
Notas dos alunos
Fonte: Autores (2019).

Na avaliação, foi acrescido uma pergunta de satisfação aos discentes: Como você se considera em relação as simulações? As alternativas eram, totalmente satisfeito, parcialmente satisfeito e totalmente insatisfeito. Os dados podem ser vistos na figura 12.

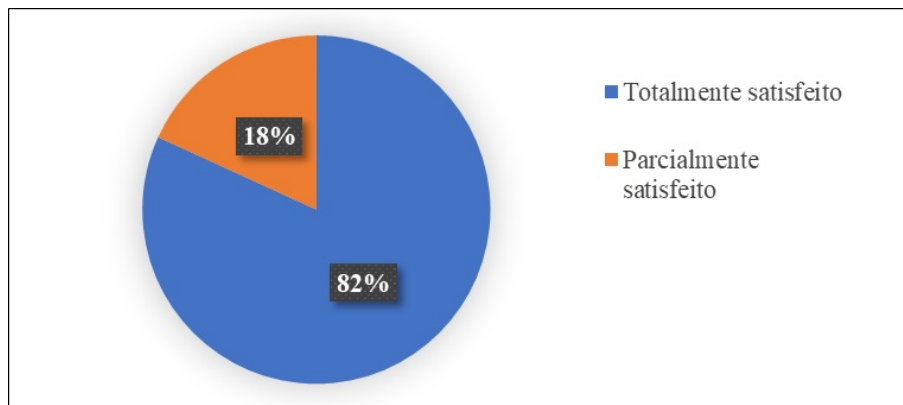


Figura 12
Satisfação com o simulador
Fonte: Autores (2019).

Como pode ser visto, apenas 18% da turma se mostra parcialmente satisfeito. No entanto mais de 80% estão satisfeitos e ninguém está insatisfeito.

A atividade se caracterizou pela participação efetiva do público envolvido mostrando o poder de interação das simulações. Destaca-se ainda que todos participantes se sentem atraídos e ansiosos para a aprendizagem de outros conceitos utilizando objetos de aprendizagem, concordando com Martins et al. (2019) no sentido que boas experiências geram novas expectativas para os próximos conteúdos.

Além disso, a sequência utilizada proporcionou aos jovens, atividades de circuitos elétricos em que os conhecimentos teóricos que foram expostos tiveram interação didática com os conteúdos vistos nas simulações, colaborando com Carvalho (2013) que cita que as sequências de ensino investigativas são planejadas visando proporcionar aos alunos, condições de terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e tendo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores.

4 CONSIDERAÇÕES

Neste trabalho, foi visto uma sequência de ensino de circuitos elétricos, na qual um objeto de aprendizagem é utilizado para auxiliar o processo. A exposição seguiu uma fase de apresentação do conteúdo e em seguida, a aplicação de um simulador. O estudo teve como público alvo um grupo de estudantes de um curso de ciência e tecnologia. Tais estudantes participaram voluntariamente e mostraram-se motivados e satisfeitos com o trabalho. Na fase de atividades de simulação, cada aluno tinha a liberdade de interação com o simulador.

Os resultados apontam que os usos dos objetos de aprendizagem são fortes aliados na aprendizagem, visto que a motivação e interação estiveram presentes em todo o processo. Todos os participantes tiveram um bom nível de satisfação e apresentaram bons resultados na prova escrita de avaliação.

Na avaliação de aprendizagem, um teste buscou avaliar os conhecimentos adquiridos sobre circuitos elétricos e as respostas apontaram para uma boa apropriação de componentes elétricos e o seu funcionamento. Ao fazer a

pergunta se eles achariam interessante o uso de simuladores em outras disciplinas para a ajuda no entendimento da disciplina, 100% dos submetidos responderam que sim, destacando que os simuladores auxiliam bastante a relação aluno-professor nas diversas áreas do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, I. S. **Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral.**2005. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BOSZKO, C.; GÜLLICH, R. I. C. Estratégias de ensino de ciências e a promoção do pensamento crítico em contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 2, n. 1, p.53-71, 30 out. 2018. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/8697/114114716>. Acesso em: 18 ago. 2019.
- CARVALHO, A. M. P. (Org.). **O ensino de Ciências e a proposição de seqüências de ensino investigativas.** São Paulo: CENCAGE Learning, 2013.
- GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.**2003. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- MARTINS, E. A., et al. CRENÇAS DE AUTOEFICÁCIA E ATITUDES DE ALUNOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA: possíveis indicativos de desmotivação para a resolução de questões ?matematizadas? de ciências naturais. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, v. 7, n. 2, p.5-27, jul./dez. 2019. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/8346>. Acesso em 30 ago. 2019.
- OLIVEIRA, C. B.; KALHIL, J. D. B. ASPECTOS METODOLÓGICOS DAS PRODUÇÕES CIENTÍFICAS EM FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES QUE ENSINAM CIÊNCIAS PARA OS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL (2006-2016). **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, v. 7, n. 2, p.44-61, jul./dez. 2019. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/8346>. Acesso em 30 ago. 2019.
- PRIMA, Eka Cahya; PUTRI, Aldia Ridwani; RUSTAMAN, Nuryani. Learning Solar System using PhET Simulation to Improve Students? Understanding and Motivation. **Journal of Science Learning**. **Journal of Science Learning**, v. 1, n. 2, p. 60-70, 2018. Disponível em: <https://ejournal.upi.edu/index.php/jslearning/article/view/9>. Acesso em 29 nov. 2019.
- REIS, E. F.; REHFELDT, M. J. R. SOFTWARE PHET E MATEMÁTICA: POSSIBILIDADE PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DA MULTIPLICAÇÃO. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática (REnCiMa)**, Cuiabá, v. 10, n. 1, p.194-208, 2019. Disponível em: <http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1557>. Acesso em 29 nov. 2019.

Autor notes

- 1 Graduando em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil. Endereço para correspondência: BR-226, Km 405, Pau dos Ferros - RN, Brasil, CEP: 59900-000. E-mail: murilocfeitosa@gmail.com.
- 2 Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor Adjunto na Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil. Endereço para correspondência: BR-226, Km 405, Pau dos Ferros - RN, Brasil, CEP: 59900-000. E-mail: otavioplavor@gmail.com.

Ligação alternative

<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/9014>
(pdf)