

Implementação de uma Plataforma Didática Computacional Aplicada à Análise de Circuitos Elétricos em um Ambiente de Código Aberto - Scientific Laboratory (SCILAB)

Matheus S. Pestana* Danúbia S. Pires*
Orlando D. R. Filho*

* *Departamento de Eletro-Eletrônica, Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Maranhão, MA, (e-mail:
pestana.m123@gmail.com; piresdanubia@ifma.edu.br;
orlando.rocha@ifma.edu.br).*

Abstract: Active Learning is characterized as a teaching-learning technique aimed at solving problems close to the real thing or simulated by specialists in each area of knowledge, with multidisciplinary themes. In addition, when compared to traditional teaching techniques, its effectiveness can be up to twice as effective. In view of this, its use of teaching and learning methods in college classrooms, teaching and research centers in the area of engineering, economics, administration, information technology and medicine has spread throughout the world. As the tools used by engineers and students are numerical in nature, i.e., input data is presented, iterated by platforms at short intervals of time, and its result is presented by an output data function versus time. Such results do not help users to understand the nature of linear circuits, as the resolution of circuits is not contemplated step by step, according to the theorems and methods observed in the literature. In this sense, a didactic platform was built to allow the step-by-step simulation of electrical circuits, using modeling and simulation software to improve the didactic process of the electrical circuit discipline. The results on the use of this didactic platform by engineering students show the efficiency, since it is allowed to observe all the steps of the electric circuits solution.

Resumo: A Aprendizagem Ativa se caracteriza como uma técnica de ensino-aprendizagem voltada para a solução de problemas próximos do real ou simulados por especialistas de cada área de conhecimento, com temas multidisciplinares. Além disso, quando comparada a técnicas tradicionais de ensino, sua eficácia pode ser até duas vezes maior. Diante disso, o seu uso de métodos de ensino aprendizagem em salas de aula de faculdades, centros de ensino e de pesquisa na área de engenharia, economia, administração, tecnologia da informação e medicina se difundiu pelo mundo. Como as ferramentas usadas por engenheiros e estudantes são de natureza numérica, isto é, são apresentados dados de entrada, iterados por plataformas em curtos intervalos de tempo e seu resultado é apresentado por uma função de dados de saída versus tempo. Tais resultados não ajudam os usuários a entender a natureza dos circuitos lineares, pois não é contemplado passo a passo a resolução dos circuitos, de acordo com os teoremas e métodos observados na literatura. Nesse sentido, foi construída uma plataforma didática para permitir a simulação passo a passo dos circuitos elétricos, utilizando software de modelagem e simulação para aprimorar o processo didático da disciplina de circuitos elétricos. Os resultados sobre o uso dessa plataforma didática por estudantes de engenharia mostram a eficiência, uma vez que é permitido observar todas as etapas da solução de circuitos elétricos.

Keywords: Applied Electrical Circuits; Didactic simulation; Computational platform; Active Learning; Simulation.

Palavras-chaves: Circuitos Elétricos Aplicados; Simulação Didática; Plataforma Computacional; Aprendizagem Ativa; Simulação.

1. INTRODUÇÃO

A educação superior brasileira tem passado por uma série de adaptações e transformações, com o objetivo bem específico de promover uma formação acadêmica voltada para o desenvolvimento de experiência colaborativa, metodologias on-line e ensino diferenciado, em especial, na educação 4.0, Gabriel (2017). Esses pilares propiciam ao estudante autonomia e elaboração de conhecimento durante o processo de ensino com a resolução de problemas típicos de suas atividades acadêmicas, fazendo com que o papel dos alunos não seja mais passivo, mas ativo no processo de ensino-aprendizagem, se envolvendo em atividades cada vez mais complexas, possibilitando a tomada de decisões e avaliação de resultados, Nan (2019).

A Aprendizagem Ativa se caracteriza como uma técnica de ensino-aprendizagem voltada para a solução de problemas próximos do real ou simulados por especialistas de cada área de conhecimento, com temas multidisciplinares. A Aprendizagem Baseada em Problemas ou *Problem Based Learning* é desenvolvida em universidades americanas, como pode-se destacar o MIT, Harvard e Stanford, nas quais as relações de sala de aula foram repensadas, adotando uma abordagem pedagógica voltada para a solução de problemas, possibilitando aos estudantes aquisição de conhecimento de forma ampliada, minimizando a ocorrência de uma educação fragmentada, Farias et al. (2015). Com essa abordagem, os estudantes desenvolvem o processamento cognitivo e os conhecimentos prévios são somados às reflexões críticas feitas diante dos problemas propostos. Por meio da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Ministério da Educação (2018), incentiva a utilização de técnicas de Aprendizagem Ativa, com o intuito de desenvolver competências e habilidades na formação dos estudantes, de forma geral, beneficiando o pensamento crítico, a instrução de atividades, engajamento e comprometimento. As metodologias de Aprendizagem Ativa representam uma eficácia duas vezes maior quando comparadas ao modelo de aula tradicional, tais métodos de Aprendizagem Ativa e Aprendizagem Baseada em Problemas são aplicados em diversas áreas de conhecimento, como engenharias, administração, tecnologia da informação, medicina, ciência política e negócios, Kazeruni et al. (2018). O uso de software no ambiente acadêmico permite a construção de conhecimentos em larga escala, promovendo maior interação entre os alunos e os materiais publicados em sala de aula, livros e materiais didáticos.

O presente trabalho tem por objetivo facilitar o processo de ensino-aprendizagem de alunos durante a disciplina de Circuitos Elétricos, reduzindo as dificuldades de alunos na análise e compreensão na resolução de problemas propostos. Seu desenvolvimento em plataforma código aberto facilita a sua utilização e aplicabilidade em centros educacionais, faculdades e universidades, reduzindo a complexidade da disciplina e aumentando a capacidade de trabalhar de forma multidisciplinar por parte dos professores e alunos. Neste contexto, o uso desses recursos é apresentado como

uma alternativa viável para reduzir as dificuldades de compreensão, aumentar a assimilação de conceitos e melhorar a interação entre os alunos e as ferramentas computacionais.

2. PROBLEMÁTICA

Em uma pesquisa na página do *Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*, com a palavra-chave “Circuitos Elétricos”, observa-se um amplo uso do termo em pesquisas realizadas nos anos de 2010 a 2020. Até o presente ano (2020) houveram em torno de 133.109 publicações, incluindo artigos de congressos e revistas especializadas, entre os quais, pode-se citar: em Kulgina et al. (2019), foi desenvolvido um módulo amigável que pode facilitar a análise dos circuitos elétricos utilizando softwares fechados, a fim de ajudar os alunos a entender os cálculos realizados durante a solução de problemas propostos; em Shapovalov et al. (2019), foi apresentado o modo de formação do sistema de equações diferenciais, que descreve um circuito linear com indutâncias variáveis pelo método de tensões nodais; em Sadiku and Alexander (2013), foi descrito uma formulação sistemática para os Teoremas de Kirchhoff para a tensão e a corrente, tais conhecimentos podem ser úteis em sistemas de proteção; em Zeggai and Benhamida (2019) foi observada que a análise de curto-circuito fornece as informações necessárias para determinar se as capacidades de interrupção dos componentes do sistema de energia são adequadas, o suficiente, para proteger um sistema de energia. Diante desses pressupostos, buscou-se o uso de técnicas de computação aplicadas à disciplina de Circuitos Elétricos, uma vez que possui um conteúdo rico em formulações matemáticas e possibilita o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, via softwares livres como o *SciLab*, software de modelagem e simulação empregado em diversas áreas das ciências exatas, como engenharias, petroquímica, meteorologia e indústria automobilística, na busca por solução de cálculos numéricos que possuem certo grau de complexidade utilizando lógica computacional. Os simuladores têm um importante papel na produção de conhecimento, isto é, através deles é possível criar um elo entre a matéria exposta em livros, materiais didáticos e salas de aula com os conhecimentos práticos da área de Engenharia Elétrica.

As ferramentas de simulação de domínio de professores e estudantes de Engenharia Elétrica, como o *Proteus* e *Multisim*, são de natureza numérica, ou seja, o usuário apresenta os dados de entrada, eles são iterados ao circuito e, então, é apresentado um vetor como resposta e um gráfico plotado com a relação dados de saída versus tempo. Tais resultados não ajudam os usuários a compreender a natureza dos circuitos como sistemas lineares. Além disso, muitas plataformas são licenciadas em suas versões mais abrangentes, impossibilitando o aluno de ter o simulador em seus notebooks ou computadores pessoais, somado a isto, não permitem a inserção de outros elementos de análise. Nesse sentido, desenvolveu-se uma ferramenta computacional de simulação que possui o passo a passo na

resolução de problemas típicos da disciplina de Circuitos Elétricos, aplicada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão durante os anos de 2019 e 2020.

3. SIMULAÇÃO DE APLICAÇÕES DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

As técnicas fundamentais usadas na análise de Circuitos Elétricos são as leis de Ohm e Kirchoff, descritas em praticamente todos os livros de Engenharia Elétrica (Boylestad (2012), Dorf and Svododa (2016), Johnson et al. (1994), Nilsson and Riedel (2009) e Sadiku and Alexander (2013)). Como os circuitos elétricos são constituídos por diversos elementos, algumas sistemáticas são necessárias na análise, isto é, após a verificação na literatura base, pode-se desenvolver uma ferramenta computacional de simulação de caráter interativo, corrigindo as limitações dos simuladores existentes em relação à dispersão de dados para o usuário, além de ser desenvolvido em plataforma aberta para modelagem e simulação. Nas subseções serão apresentadas algumas aplicações da plataforma.

3.1 Análise de Circuito Resistivo

Um circuito resistivo ideal é composto de um resistor linear e uma fonte de tensão constante conectados em série, conforme mostrado na figura 1.

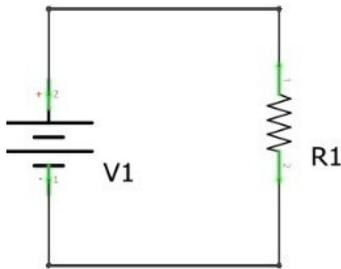


Figura 1. Circuito resistivo. Fonte: Arquivo pessoal.

Aplicando a Lei de Ohm para a resistência elétrica, tem-se o valor da corrente que percorre a malha que compõe o circuito, para isso, utiliza-se a equação (1) e sua manipulação representada pela equação (2).

$$V = R * I \quad (1)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Pode-se generalizar o modelo para n malhas, utilizando a análise de malhas para determinar as correntes que compõem o circuito pelo método matricial, no qual utilizam-se as resistências próprias e mútuas. É definido como resistência própria a soma de resistências que compõem uma malha (na matriz de resistências corresponderá aos elementos da diagonal principal). A resistência mútua está relacionada com a resistência comum entre duas malhas

adjuntas (na matriz de resistências corresponderá aos demais elementos com sinal negativo, obedecendo a equação (1)). Definem-se também as matrizes de tensão e de corrente, Nilsson and Riedel (2009). Para o circuito da figura 2, a modelagem é descrita por meio das equações (3) e (3.1)

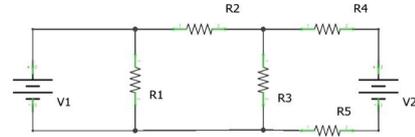


Figura 2. Circuito resistivo com 3 malhas. Fonte: arquivo pessoal.

$$[R] * [I] = [V] \quad (3)$$

$$\begin{vmatrix} R1 & -R1 & 0 \\ -R1 & (R2 + R3) & -R3 \\ 0 & -R3 & (R3 + R4 + R5) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

Utilizando a plataforma de modelagem e simulação *SciLab*, encontra-se a matriz de correntes \mathbf{I} , com os valores das correntes de cada malha do circuito teste. Para tal implementação, utiliza-se o Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Análise de Circuito Resistivo

- 1: Informar o número de malhas do circuito
- 2: Informar os elementos de resistência (própria e mútua)
- 3: Informar as tensões da malha
- 4: Exibir os resultados
- 5: Finalizar a rotina

3.2 Análise de Circuito de Primeira Ordem

Quando associam-se elementos como capacitores e indutores, conforme a figura 3, o circuito passa a apresentar equações diferenciais que descrevem o funcionamento de seus componentes. A partir disso, as relações de corrente e tensão são representadas pelas equações (4) e (5), respectivamente, Nilsson and Riedel (2009)

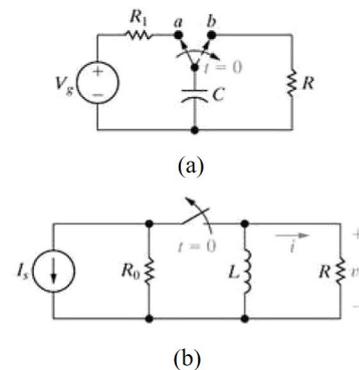


Figura 3. (a) Circuito composto por Resistor e Capacitor (RC) (b) Circuito composto por Resistor e Indutor (RL). Fonte: Nilsson and Riedel (2009)

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (5)$$

onde denomina-se C como capacitância e L como indutância.

Os Circuitos Elétricos de Primeira Ordem apresentam o chaveamento, representado por uma dependência temporal, para tempo de carga e descarga dos elementos indutivos e capacitivos. Diante disso, a resposta do circuito para a excitação da fonte de tensão e corrente para circuito resistivo-capacitivo (RC) e resistivo-indutivo (RL) são dadas pelas equações (6) e (7), respectivamente, Sadiku and Alexander (2013). Para tal implementação, utiliza-se o seguinte algoritmo descrito no Algoritmo 2.

$$v(t) = V_o e^{-RC\tau} \quad (6)$$

$$i(t) = I_o e^{-\frac{R}{L}\tau} \quad (7)$$

onde “tau” é a constante de tempo; V_o e I_o são as tensões e correntes iniciais para os modelos analisados, respectivamente.

Algoritmo 2: Análise de Circuito de Primeira Ordem

- 1: Informar o tipo de circuito analisado: RC ou RL
- 2: Caso 1: Circuito RC
 - 2.1: Informar a tensão inicial do circuito
 - 2.2: Informar o valor de R
 - 2.3: Informar o valor de C
 - 2.4: Calcular a constante de tempo
 - 2.5: Exibir os resultados na tela
- 3: Caso 2: Circuito RL
 - 3.1: Informar a tensão inicial do circuito
 - 3.2: Informar o valor de R
 - 3.3: Informar o valor de L
 - 3.4: Calcular a constante de tempo
 - 3.5: Exibir os resultados
- 4: Finalizar a rotina

3.3 Análise de Circuito de Segunda Ordem

Ao associar resistores, capacitores e indutores, o circuito em análise passa a ser caracterizado por uma equação diferencial de segunda ordem. O circuito, com a presença dos dois elementos de armazenamento de energia, pode assumir duas formas, em paralelo ou em série, representadas pela figura 4, respectivamente. A disposição em que os elementos se encontram no circuito altera a forma de calcular a resposta do sistema a uma excitação inicial, seja por uma fonte tensão ou corrente. Pela característica quadrática da configuração em série e em paralelo, dadas pelas equações (8) e (9), respectivamente.

$$s^2 + s \frac{1}{RC} + \frac{1}{LC} = 0 \quad (8)$$

$$s^2 + s \frac{R}{L} + \frac{1}{LC} = 0 \quad (9)$$

Pela característica quadrática da equação (8) para o caso em série e a equação (9) para o caso em paralelo, pode-

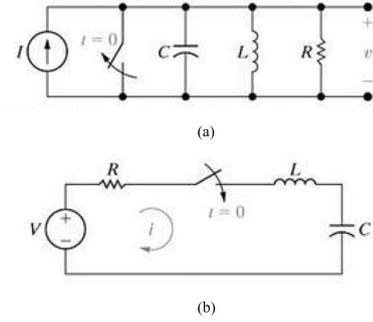


Figura 4. (a) Circuito RLC em paralelo (b) Circuito RLC em série. Fonte: Nilsson and Riedel (2009)

se extrair raízes ou também conhecidas como frequências naturais, expressas pelas equações (10) e (11).

$$s_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0} \quad (10)$$

$$s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0} \quad (11)$$

onde α e ω_0 são as frequências de Neper ou fator de amortecimento e a frequência ressonante, respectivamente. As frequências de Neper para o caso série e paralelo e a frequência ressonante, são expressas pelas equações (12), (13) e (14), respectivamente;

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC} \quad (13)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (14)$$

Os valores numéricos encontrados determinam o tipo de amortecimento à excitação inicial da fonte de tensão ou corrente para o circuito, como podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Casos de amortecimento em função da análise comparativa da frequência.

Caso	Resposta do circuito
$\alpha > \omega_0$	Super amortecida
$\alpha = \omega_0$	Criticamente amortecida
$\alpha < \omega_0$	Sub-amortecida

Para tal implementação, utiliza-se o seguinte algoritmo descrito no Algoritmo 3.

Algoritmo 3: Análise de Circuito de Segunda Ordem

- 1: Informar a disposição dos elementos do circuito analisado
- 2: Informar os valores de tensão ou corrente inicial
- 3: Calcular as frequências de Neper e de ressonância
 - 3.1: Caso 1: $\alpha > \omega_0$ (Super amortecida)
 - 3.1.1: Calcular as raízes da equação característica
 - 3.1.2: Calcular os coeficientes da equação característica

3.1.3: Exibir os resultados

3.2: Caso 2: $\alpha = \omega_0$ (Criticamente amortecida)

3.2.1: Calcular as raízes da equação característica

3.2.2: Calcular os coeficientes da equação característica

3.2.3: Exibir os resultados

3.3: Caso 3: $\alpha < \omega_0$ (Sub-amortecida)

3.3.1: Calcular as raízes da equação característica

3.3.2: Calcular os coeficientes da equação característica

3.3.3: Exibir os resultados

4: Finalizar a rotina

4. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Com base na seção anterior, implementou-se uma plataforma didática para simulação computacional para análise de circuitos elétricos. A modelagem de formulações matemáticas em rotinas computacionais possibilita que os estudantes trabalhem a multidisciplinidade durante o curso. Utilizando os conceitos de Aprendizagem Ativa, cada aplicação que será descrita apresentou um objetivo específico, propiciando o desenvolvimento de habilidades de análise, construção de formulações matemáticas e interpretação de gráficos relacionados a cada tópico apresentado.

4.1 Análise de Circuito Resistivo

A análise de circuito resistivo objetivou identificar quais são os tipos de resistências, próprias e mútuas, a influência do sentido da corrente, além de alocação dos dados e operações matriciais. Através do Algoritmo 1, demonstrado na Subseção III.A, pode-se obter uma rotina computacional, onde por meio das equações (3) e (3.1), o usuário informa apenas as resistências próprias e mútuas que são pertencentes as malhas e as tensões respectivas. Tais elementos compõem o circuito básico, adotando o sentido da corrente como horário, descrita em Nilsson and Riedel (2009) e Sadiku and Alexander (2013), Na Figuras (6 (a), (b) e (c)) e (7) tem-se um exemplo de circuito resistivo utilizado na plataforma didática.

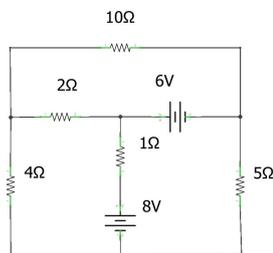


Figura 5. Exemplo proposto de Circuito Resistivo. Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Análise de Circuito de Primeira Ordem

Como demonstrado na Subseção III.B, os circuitos analisados apresentam capacitores e indutores, tais elementos apresentam característica exponencial, especificadas

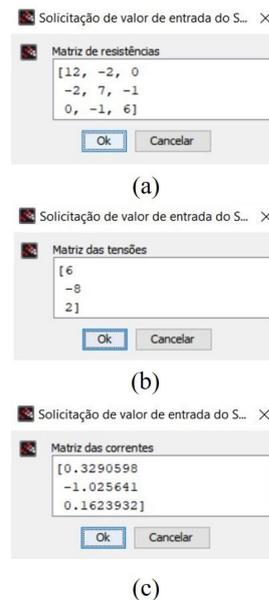


Figura 6. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários. Fonte: Arquivo pessoal.

pelas equações (6) e (7). Como peculiaridade observa-se a dependência temporal para carregamento, analisada em instantes de tempo menor e maior que 0 segundos. Neste circuito, o estudante precisa ter os conhecimentos de equações diferenciais de primeira ordem, sistema de unidades, constantes e notações exponenciais, além das condições iniciais de tensão ou corrente, possibilitando aos alunos revisar assuntos iniciais, por conseguinte, trabalhar a multidisciplinidade entre os conhecimentos e aplicação de conceitos de análise de circuitos elétricos. Para o seguinte arranjo de circuito, pode-se exemplificar com dados (para o caso de circuitos RL e RC em paralelo), rotina computacional e gráficos (figuras (7) e (8(a), (b), (c), (d) e (e))), apresentados a seguir.

Dados experimentais

Caso 1: Circuito RL

Corrente inicial de 0 A; Corrente final de 15 A; $R = 45 \Omega$; $L = 90 \text{ mH}$.

Caso 2: Circuito RC

Tensão inicial de 0 V; Tensão final de 12 V; $R = 45 \Omega$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.

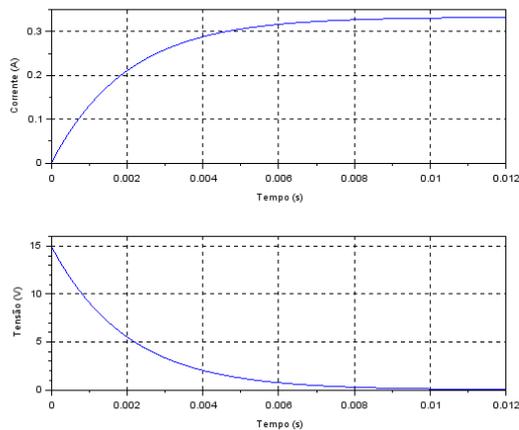
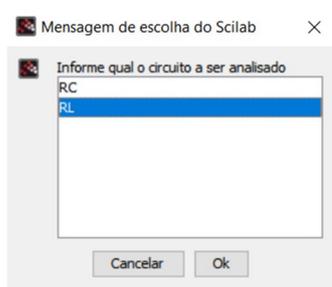
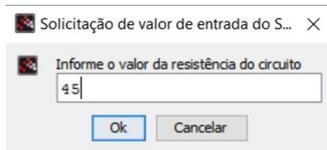


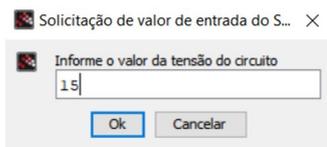
Figura 7. Resultado computacional para o circuito RL.
Fonte: Arquivo pessoal.



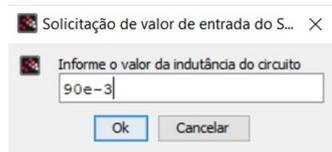
(a)



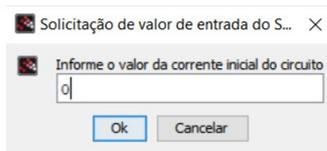
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 8. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários.
Fonte: Arquivo pessoal.

4.3 Análise de Circuito de Segunda Ordem

Por fim, ao analisar o item descrito na Subseção III.C, os circuitos apresentam os três elementos descritos anteriormente a saber, resistores, indutores e capacitores. A característica exponencial é observada através das equações (10) e (11), apresentando uma dependência de dois termos matemáticos, α e ω_0 , frequências de Neper e de ressonância, respectivamente. De acordo com os valores encontrados para ambos os termos, pode-se obter três tipos diferentes de resposta, a saber, Super amortecida, Criticamente Amortecida ou Sub-amortecida. Por meio dos conceitos de Aprendizagem Ativa, na análise de circuito de segunda ordem, o estudante utiliza conceitos de equações diferenciais de segunda ordem, operações matriciais, análise de circuitos mais complexos, com a finalidade de calcular a equação característica em função da corrente ou tensão inicial. Pode-se exemplificar através dos dados apresentados a seguir, a rotina computacional e respectivos gráficos (figuras (9), (10), (11(a), (b), (c), (d) e (e))) e (12 (a), (b), (c), (d) e (e))).

Dados experimentais

Caso 1: Circuito RCL em paralelo
Corrente inicial de 0 A; Tensão inicial de 0 V; Corrente final = 15 A; $R = 480 \Omega$; $L = 90 \text{ H}$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.

Caso 2: Circuito RCL em série
Tensão inicial de 0 V; Corrente inicial de 0 A; Tensão final de 15 V; $R = 750 \Omega$; $L = 25 \text{ H}$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.

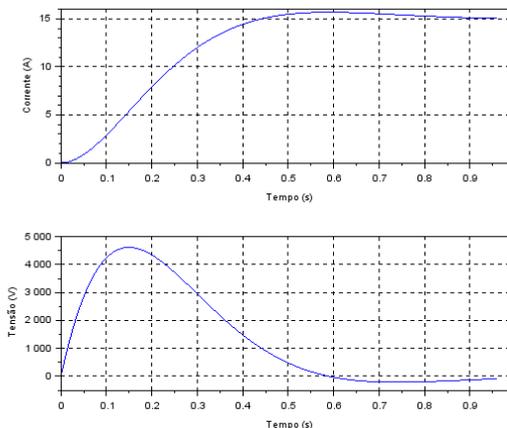


Figura 9. Resultado computacional para o circuito RLC em paralelo. Fonte: Arquivo pessoal.

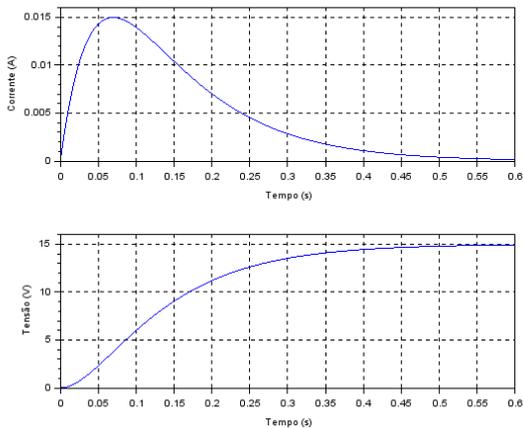
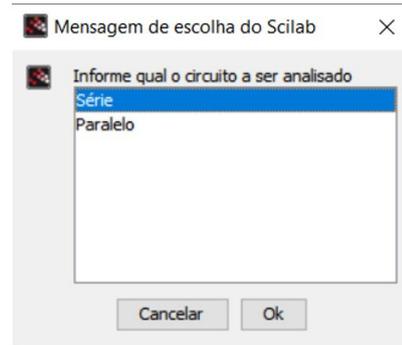


Figura 10. Resultado computacional para o circuito RLC em série. Fonte: Arquivo pessoal.

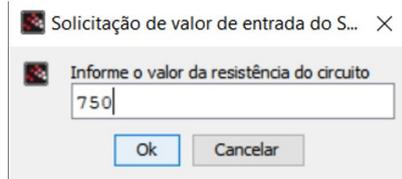
5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento da plataforma didática para simulação computacional, utilizada em análise de circuitos elétricos, propicia o conhecimento, discussão, multidisciplinaridade, aplicação e reflexão sobre o uso de técnicas de Aprendizagem Ativa. Ao ser inserida na disciplina de Circuitos Elétricos do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, a ferramenta computacional permitiu maior autonomia para os estudantes, seja na resolução dos problemas propostos em sala de aula, como também, no aprendizado e na percepção da importância de cada teorema de análise de circuitos, bem como, de cada etapa seguida por cada um destes teoremas, o que contribuiu para o fortalecimento do ensino, em especial, no contexto de aulas remotas e/ou on-lines.

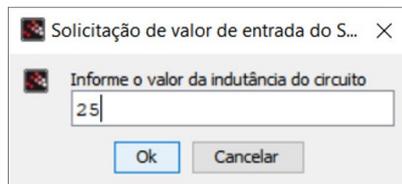
Observou-se que, com a aplicação da aprendizagem baseada em problemas, obteve-se a construção de conhecimentos de forma multidisciplinar, reforço dos conceitos passados em sala de aula, interação entre alunos de forma colaborativa, desenvolvimento de estratégias e melhora significativa no processo de ensino-aprendizagem. A nova concepção pedagógica será aplicada de forma gradual em demais disciplinas, dando continuidade à discussão da temática de Aprendizagem Ativa, incentivando a interação no ambiente acadêmico entre alunos e professores em disciplinas e projetos para cursos superiores nas instituições de ensino e podendo ser posteriormente replicada em outros ambientes, aumentando sua gama de aplicações.



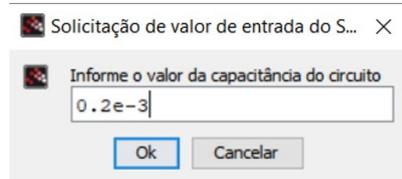
(a)



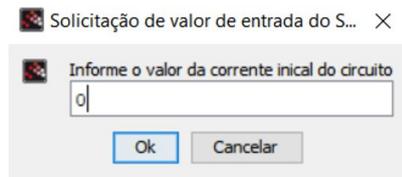
(b)



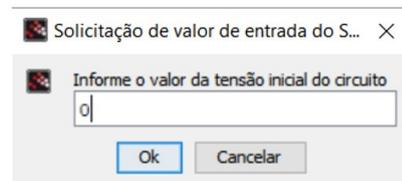
(c)



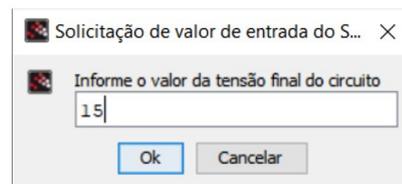
(d)



(e)



(f)



(g)

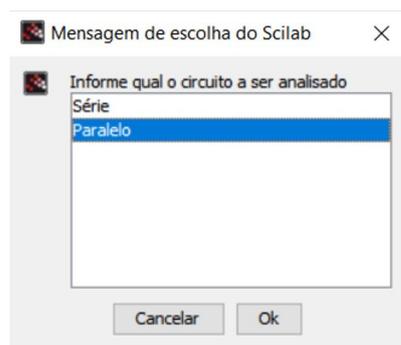
Figura 11. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários. Fonte: Arquivo pessoal.

AGRADECIMENTOS

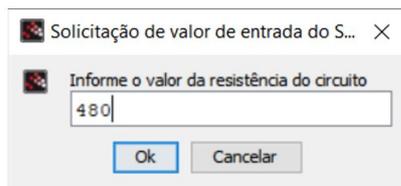
Os autores agradecem ao Programas Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) pelo fomento e apoio financeiro para este estudo.

REFERÊNCIAS

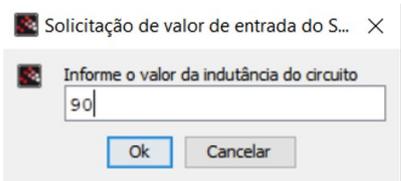
- Boylestad, R. (2012). *Introdução a análise de circuitos*. Pearson Prentice Hall, Rio de Janeiro.
- da Educação, M. (2018). *Lei de diretrizes e bases da educação nacional*. Senado Federal, Brasília.
- Dorf, R. and Svododa, J. (2016). *Introdução aos Circuitos Elétricos*. LTC, Rio de Janeiro.
- Farias, P., Martin, A., and Cristo, C. (2015). Aprendizagem ativa na educação em saúde: Percurso histórico e aplicações. *Rev. bras. Educ. med.*
- Gabriel, M. (2017). *Você, Eu e os Robôs - Pequeno Manual do Mundo Digital: Pequeno manual do mundo digital*. GEN, São Paulo.
- Johnson, D., Hilburn, J., and Johnson, J. (1994). *Fundamentos de análise de circuitos elétricos*. LTC, Rio de Janeiro.
- Kazeruni, N., Laboy, A., and Hess, H. (2018). Designing a hybrid engineering course combining case-based and lecture-based teaching. *IEEE*.
- Kulgina, A., Sharova, D., Vostrikov, A., and Prokofeva, E. (2019). Development of software module for the analysis of electrical circuits. *IEEE - 2019 International Conference On Numerical Simulation Of Optoelectronic Devices (NUSOD)*.
- Nan, B. (2019). *As metodologias ativas e a promoção da automação de estudantes*. Semira Ciênc Soc Hum, BR.
- Nilsson, J. and Riedel, S. (2009). *Circuitos elétricos*. Pearson Prentice Hall, Rio de Janeiro.
- Sadiku, M. and Alexander, C. (2013). *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. AMGH, Porto Alegre.
- Shapovalov, Y., Bachyk, D., Romano, R., and Chaban, K. (2019). Modeling linear electrical circuits with time - variable inductances by the frequency symbolic method. *IEEE - 2019 IEEE 15th International Conference On The Experience Of Designing And Application Of Cad Systems (CADSM)*.
- Zeggai, A. and Benhamida, F. (2019). Nucleic acid content of microscope. *Nature*, 135, 7–9.



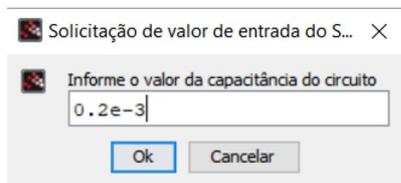
(a)



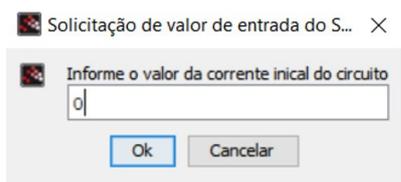
(b)



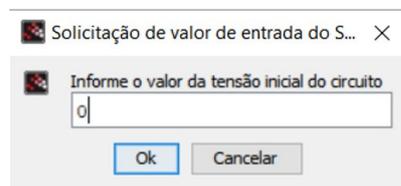
(c)



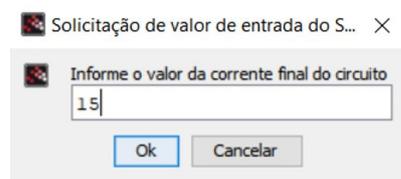
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 12. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários.
Fonte: Arquivo pessoal.