



## **APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS COMO RECURSO EDUCACIONAL DE APRENDIZAGEM PRÁTICA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE**

Misael Silva Souza – [misael\\_ssouza@outlook.com](mailto:misael_ssouza@outlook.com)

Rafaela Scaciota Simões da Silva – [rafaela.silva@sistemapiep.org.br](mailto:rafaela.silva@sistemapiep.org.br)

Renato Sellaro Dorighello – [renato.dorighello@sistemapiep.org.br](mailto:renato.dorighello@sistemapiep.org.br)

Edson Leonardo dos Santos – [edson.santos@sistemapiep.org.br](mailto:edson.santos@sistemapiep.org.br)

Faculdades da Indústria - Sistema Fiep

Rua Senador Accioly Filho, 298 - Cidade Industrial de Curitiba

81310-000 – Curitiba – PR

Carlos Alexandre Gouvea da Silva – [carlos.gouvea@ufpr.br](mailto:carlos.gouvea@ufpr.br)

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Engenharia Elétrica

Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 - Jardim das Américas

81530-001 – Curitiba – PR

**Resumo:** *Novas metodologias de ensino/aprendizagem estão sendo exploradas para fazer com que os discentes consigam visualizar e compreender os conceitos teóricos vistos em sala de aula. Sendo assim, neste artigo apresentamos como recurso educacional a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) que pode ser utilizado para a identificação de sistemas de controle de forma prática. Além disso, foi utilizado a plataforma Arduino para a aquisição de dados de um circuito eletrônico juntamente com o ambiente de simulação computacional MATLAB® para o tratamento dos dados. Através de um experimento prático, utilizou-se um circuito Resistor-Capacitor (RC) ligado em série para fazer a análise dos dados e verificar o resultado do modelo matemático obtido. Baseado na medida estatística representada pelo coeficiente de determinação foi possível validar o modelo teórico e prático que representa o sistema de controle, alcançando assim os objetivos de aprendizagem propostos.*

**Palavras-chave:** *Metodologia Educacional. Identificação de Sistemas de Controle. Método dos Mínimos Quadrados.*

### **1 INTRODUÇÃO**

O rendimento acadêmico dos alunos em disciplinas técnicas relacionadas às ciências exatas tem sido amplamente discutido nas instituições de ensino. Com a necessidade de ilustrar aplicações de conceitos teóricos, o docente de ensino superior é instigado a utilizar diferentes técnicas para conseguir compartilhar o conhecimento com seus alunos. Entretanto, os estudos relacionados às ciências exatas trazem consigo uma dificuldade de aprendizado para o aluno. Esta dificuldade está relacionada ao olhar mais abstrato em relação ao conceito que está sendo apresentado. Uma vez que, com o avanço das aplicações matemáticas e suas tecnologias, os tópicos trabalhados em sala não são facilmente compreendidos pelos alunos, pois fogem de sua realidade cotidiana (LEANDRO, 1998; CANAVARRO, 1999).

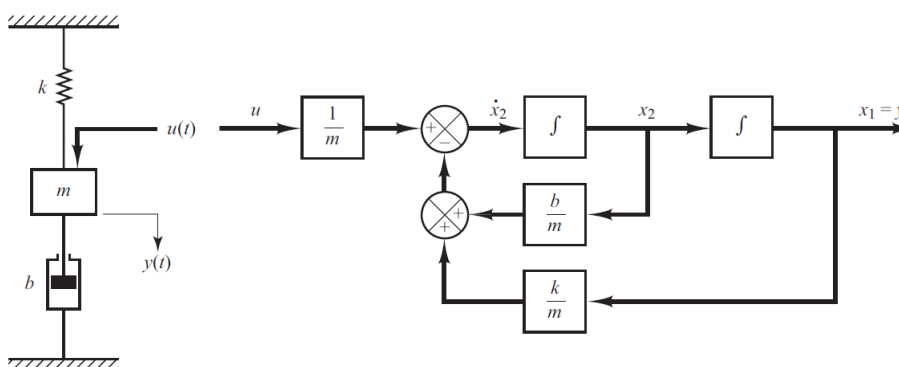
Um dos pontos abordados na diretriz curricular nacional dos cursos de graduação em Engenharia são as competências e o perfil do egresso de um estudante. Neste perfil, algumas

características são apontadas, como por exemplo: pesquisar, interpretar, formular, analisar e atuar de forma crítica perante os problemas de Engenharia (MEC, 2019). Partindo destas características é possível afirmar que o estudante, ao longo de sua formação superior deverá ser desafiado a resolver problemas. Portanto, diferentes abordagens práticas podem ajudar o aluno a compreender melhor os conceitos teóricos relacionados as disciplinas técnicas.

A identificação de sistemas é uma teoria que visa estudar e construir modelos matemáticos de sistemas reais a partir de dados experimentais. Sua importância é justificada pelo fato de que este modelo matemático do sistema possa ser a diferença entre um projeto bem sucedido ou apenas uma ferramenta sem uso prático (ORENSTEIN, 2013). Entende-se como um sistema a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir uma funcionalidade prática, sendo estes sistemas encontrados em diversas áreas de Engenharia (OGATA, 2010). Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos também chamados de plantas, que são construídos com o objetivo de se obter uma saída com desempenho desejado em função de uma entrada especificada (NISE, 2012).

Na Figura 1 têm-se a exemplificação de um sistema mecânico composto por uma mola ( $k$ ), uma massa ( $m$ ) e um amortecedor ( $b$ ), bem como a sua representação em diagrama de blocos que é utilizado para analisar os componentes do sistema.

Figura 1 – Demonstração de um sistema mecânico e sua representação em diagrama de blocos.



Fonte: adaptado de (OGATA, 2010).

Quanto mais complexo for o sistema, mais necessárias fazem-se as técnicas de identificação (AGUIERRE, 2004). Como porta de entrada ao estudo da estimação de modelos matemáticos para sistemas reais, apresenta-se aos alunos de graduação as técnicas que podem ser mais amplamente utilizadas e com aplicações práticas sendo mais didáticas e de melhor compreensão (ALMEIDA, 2015).

Neste artigo, como metodologia de ensino/aprendizagem apresentamos a aplicação de um experimento prático com simulação computacional de sistemas, bem como o desenvolvimento de um modelo matemático que reproduza seu comportamento funcional. Com o objetivo de apresentar aos alunos o embasamento teórico e matemático de forma mensurável, foi proposto a utilização da plataforma Arduino para aquisição de dados provenientes de um circuito eletrônico montado na prática. O experimento pode ser utilizado em sala de aula visando como exemplo a área de Sistemas de Controle, para o melhor entendimento dos conceitos abordados na disciplina. Para o estudo de caso em questão, utilizou-se um circuito do tipo Resistor-Capacitor (RC) ligado em série, aplicável a diversos sistemas eletrônicos (BURIAN-JUNIOR; LYRA, 2006),



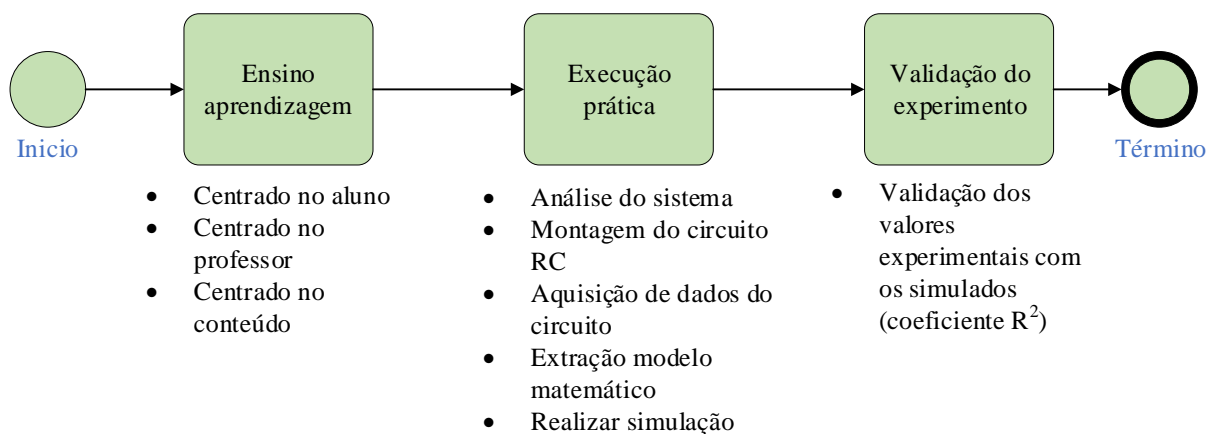
conteúdo este presente na grade dos cursos relacionados as áreas de Engenharia Elétrica. A modelagem deste circuito foi realizada através o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Ao montar o circuito físico, fazer as medições de dados, desenvolver um modelo matemático e realizar simulações, traz-se ao estudante uma visão mais prática para compreender a aplicabilidade do material de estudo. Além disso, utilizando a métrica estatística do coeficiente de determinação, os resultados mostram que o método proposto é validado por meio da análise de erros quando comparado aos dados reais do sistema.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. Além desta seção introdutória, a seção 2 apresenta a metodologia utilizada para a identificação de sistemas. Os fundamentos teóricos relacionados ao estudo de caso são apresentados na seção 3. A seção 4 apresenta os resultados obtidos através do experimento teórico e prático. E por fim, a seção 5 conclui o artigo.

## 2 METODOLOGIA

A preparação, execução e verificação da atividade proposta neste artigo é apresentada na Figura 2. A primeira etapa compreende as diferentes formas de ensino aprendizagem, no qual a fase de aquisição do conhecimento sobre determinado assunto é realizado através de diferentes formas: centrado no aluno, onde ele aprende usando diferentes meios como ouvir, ver, memorizar, visualizar e entender logicamente; centrado no professor, onde o mesmo ensina usando diferentes abordagens como visual, verbal, presencial ou online; e por último orientado ao conteúdo, onde alunos e professores precisam ter um foco conjunto com base no conteúdo ensinado (ABANADOR et al., 2014; EMALIANA, 2017).

Figura 2 – Fluxo de realização da atividade como recurso educacional.



Fonte: Os autores.

Com o objetivo de promover práticas educacionais para melhorar a compreensão das teorias aplicadas em sala de aula, inicialmente é apresentado para o aluno como extrair a equação diferencial de um circuito eletrônico, bem como determinar a função de transferência que modela este circuito. Este processo ocorre em sala de aula com a apresentação deste conteúdo pelo professor através de recursos didáticos disponíveis. Nesta etapa, o estudante absorve o conteúdo podendo ou não realizar questionamento ou solicitar maiores esclarecimentos. Após este procedimento teórico, então é possível realizar a simulação computacional para validar a identificação do sistema através do equacionamento matemático.

Na segunda etapa, dá-se início a obtenção de um conjunto de dados através do circuito em análise montado na prática, das quais possa se extrair a maior quantidade de informações e/ou padrões relacionadas com o comportamento de funcionamento do sistema. Tendo o conjunto de dados, então é possível determinar o modelo matemático que será utilizado para a identificação do sistema prático. Na sequência, é realizado a simulação computacional do modelo prático.

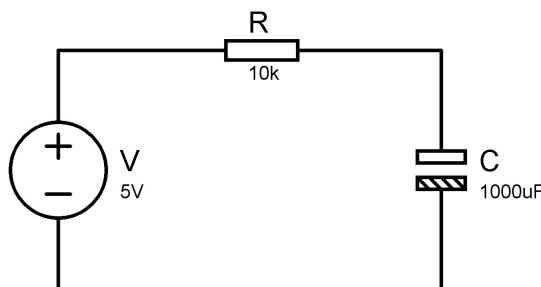
Por fim, na última etapa avalia-se o grau de aproximação do modelo obtido na prática que representa o sistema com relação aos dados observados. Através de técnicas como a estimação do coeficiente de determinação  $R^2$  é comparado a valores obtidos experimentalmente e simulados.

### 3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1 Circuito Resistor-Capacitor (RC)

A Figura 3 apresenta o diagrama esquemático do circuito RC em série proposto para a aquisição dos dados do sistema. A função de um resistor é limitar a corrente elétrica no circuito (BOYLESTAD, 2004). Um resistor de 10 k $\Omega$  de 1/4 W foi utilizado no circuito. O capacitor pode ter entre seus terminais uma tensão qualquer, mesmo não sendo atravessado por uma corrente. No entanto, quando atravessado por uma corrente constante não-nula, a tensão entre os terminais varia e, portanto, é possível armazenar energia (BURIAN-JUNIOR; LYRA, 2006). Um capacitor polarizado do tipo eletrolítico de 1000  $\mu$ F foi utilizado no circuito.

Figura 3 – Diagrama esquemático do circuito Resistor-Capacitor (RC) em série.



Fonte: Os autores.

O circuito RC é classificado como circuito de primeira ordem, que por sua vez é caracterizado por uma equação diferencial de primeira ordem (CHARLES; SADIKU, 1999). A equação diferencial que representa o circuito RC é dada por:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{RC} = 0, \quad (1)$$

em que  $\partial v$  é a taxa de variação da tensão no capacitor,  $\partial t$  é a taxa de variação do tempo,  $v$  é a tensão em Volts,  $R$  é a resistência em Ohms e  $C$  é a capacitância em Farad. Portanto, o comportamento da tensão em função do tempo relacionada a curva de carga do capacitor pode ser definido por:

$$v(t) = V_{(0)} (1 - e^{-t/RC}), \quad (2)$$

onde  $V_{(0)}$  representa o valor de tensão da fonte de alimentação no instante de tempo = 0. A função de transferência representada por uma equação diferencial linear invariante no sistema é





definida como a relação entre a transformada de Laplace de saída e a transformada de Laplace de entrada, admitindo-se todas as condições iniciais nulas (OGATA, 2010). Desta forma, a função de transferência que representa o valor da tensão sobre o capacitor do circuito RC é dada por:

$$V_c(s) = \frac{1}{RCs + 1} V(s), \quad (3)$$

onde  $V(s)$  representa o valor de tensão da fonte de alimentação.

### 3.2 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

O MMQ tem sua origem no estudo dos valores mínimos e máximos de funções reais. Mais precisamente, na determinação do(s) ponto(s) mínimo(s) de uma função que representa o desvio estimado na busca pelo ajuste (ALMEIDA, 2015). O método de identificação de sistemas dá-se através de uma linearização de dados de prova, de tal forma que devem ser encontrados os coeficientes lineares de uma reta, como mostra a Equação (4).

$$g(x) = ax + b, \quad (4)$$

onde  $g(x)$  representa a variável dependente,  $x$  a variável independente, e por fim,  $a$  e  $b$  definidos como coeficiente angular e linear, respectivamente.

Durante a aplicação do método, estima-se uma reta que melhor se ajuste à curva original. Tal aproximação é dada através de derivadas parciais a fim de obter os pontos mínimos globais. Visto que a função de cálculo de erros é posta em módulo, torna-se impossível a aplicação da derivada, uma vez que toda função modular tem um ponto de mínimo não diferenciável (JARLETTI, 2018). Desta forma, é realizado um arranjo demonstrado na Equação (5) para tornar-se possível a aplicação do método.

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - g(x_i))^2, \quad (5)$$

em que  $S$  representa a soma dos quadrados das distâncias, na vertical, de cada ponto  $(x_i, y_i)$  da curva,  $n$  é o número de observações,  $y_i$  são os valores observados na exemplificação numérica e  $x_i$  representa a evolução do tempo medido em segundos. Uma vez determinado que o MMQ tem como objetivo encontrar uma curva que reproduza os dados de prova com erro minimizado, faz-se necessário então encontrar os valores dos coeficientes de  $a$  e  $b$  já contidos na Equação (4). Determiná-los é possível fazendo-se o uso da regra de Cramer, dado pelas Equações (6) e (7) (AGUIERRE, 2004).

$$a = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i y_i) \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (7)$$

Após determinados os coeficientes, pode-se então substituir os valores de  $x$  na Equação (4), desta forma tendo uma função linearizada estimada que melhor se aproxime aos dados de prova. Para o estudo em questão, ao observar a curva de resposta de um circuito RC, pode-se dizer que uma função linear não irá corresponder ao que deseja-se representar e, portanto, é necessário um ajuste na equação do método, como demonstra a Equação (8).

$$g(x) = a \ln(x) + b. \quad (8)$$

Trivialmente, o modelo que mais se aproxima ao experimento é a função do tipo logarítmica (CHARLES; SADIKU, 1999), onde os coeficientes encontrados nas Equações (6) e (7) devem ser substituídos na Equação (8).

### 3.3 Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )

O  $R^2$  é uma métrica estatística que representa a dimensão da variação total dos dados em torno da média dos valores da variável dependente (WEATHERNBURN, 1972). Este coeficiente é sempre positivo e pertence ao intervalo  $[0, 1]$ . Sendo assim, quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente, então é possível afirmar que melhor é a qualidade do ajuste. O cálculo de  $R^2$  é demonstrado na Equação (9).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (9)$$

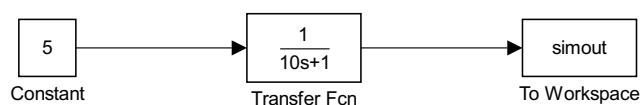
onde  $\hat{y}_i$  é o valor estimado de  $y_i$  e  $\bar{y}$  é a média das observações.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Modelo Teórico

A primeira parte do experimento consiste em obter a função de transferência da Equação (3), que representa o circuito RC em série apresentado anteriormente na Figura 3. É importante notar que a partir da função de transferência que representa o circuito eletrônico é possível extrair a curva de resposta do sistema sem a necessidade da montagem física. Para tanto, utiliza-se da ferramenta *Simulink* do MATLAB®. Uma representação da simulação computacional é dada pela Figura 4.

Figura 4 – Diagramas em blocos para a aquisição de dados via plataforma Simulink do MATLAB®.

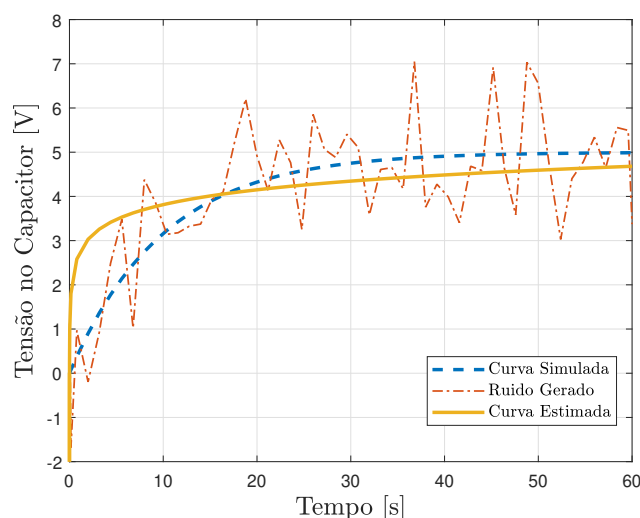


Fonte: Os autores.

A Figura 5 apresenta a curva típica de carregamento de um capacitor. Esta curva de resposta foi obtida na simulação computacional através da função de transferência apresentada na Equação (3). Além disso, com o objetivo de avaliar a robustez do método estimado, foi adicionado ruído ao sinal de resposta. Em particular, também conhecido como ruído térmico ou ruído de Johnson, do qual em circuitos eletrônicos, este ruído possui um processo estocástico decorrelacionado de distribuição estatística gaussiana ou uniforme. O ruído térmico distribui-se no espectro em todos os comprimentos de onda, o que provoca uma densidade espectral plana (NETO, 2017). Em termos de simulação do sistema pode-se utilizar a função AWGN (do inglês: *Add White Gaussian Noise*) para adicionar um ruído ao sinal de resposta.

A curva tracejada indica o nível de tensão armazenada no capacitor ao longo do tempo. É evidente também notar que a curva apresenta um aspecto bem “limpo” e sem presença de

Figura 5 – Curva de carregamento do capacitor com dados teóricos.



Fonte: Os autores.

ruídos externos. Para que o modelo fique mais condizente com a realidade, através da função AWGN foi adicionado um ruído, a fim de provocar uma perturbação no sistema. A geração do ruído pode ser observada na curva traço-ponto. Por fim, o modelo simulado pode ser estimado através do MMQ, levando em consideração a utilização das Equações (6) e (7) ao qual devem ser substituídos na Equação (8). Desta forma, obtemos a curva em linha contínua representando o modelo estimado mais próximo possível. A equação estimada para o modelo teórico pode ser observada na Equação (10).

$$y_{(x)} = 0,6509 \ln(x) + 2,771. \quad (10)$$

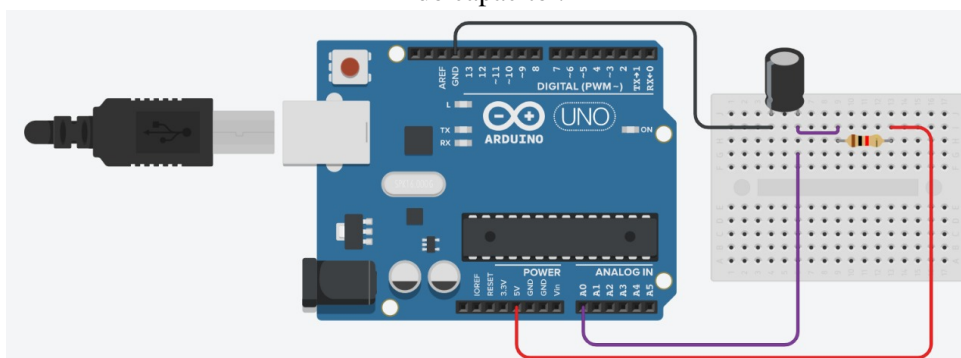
#### 4.2 Modelo Prático

A segunda parte do experimento tem como objetivo obter dados reais de circuito para a identificação do sistema. A Figura 6 representa o circuito prático que foi montado com componentes reais para a aquisição dos dados. Observa-se que foi utilizado a plataforma Arduino para extrair o nível de tensão instantâneo sobre o capacitor do circuito proposto. Além disso, o microcontrolador foi conectado ao MATLAB® para o tratamento posterior desses dados.

A Figura 7 apresenta a curva de carregamento do capacitor, da qual a resposta pode ser visualizada na curva tracejada indicando o crescimento no nível de tensão armazenado no capacitor ao longo do tempo. Observa-se que durante a extração de dados não houve visualmente a presença de grandes ruídos, que podem ser levados em consideração a baixa complexidade do circuito. Admite-se então adicionar um ruído através da função AWGN que pode ser vista por meio da curva traço-ponto. Para estimar um modelo que se ajuste melhor à extração foi utilizado novamente o MMQ, primeiramente obtendo os coeficientes  $a$  e  $b$  com uso das Equações (6) e (7), e depois substituindo na Equação (8). O resultado estimado pode ser visualizado na curva contínua, mostrando-se uma aproximação com a curva real. A equação estimada após obtenção dos dados reais pode ser observada na Equação (11).

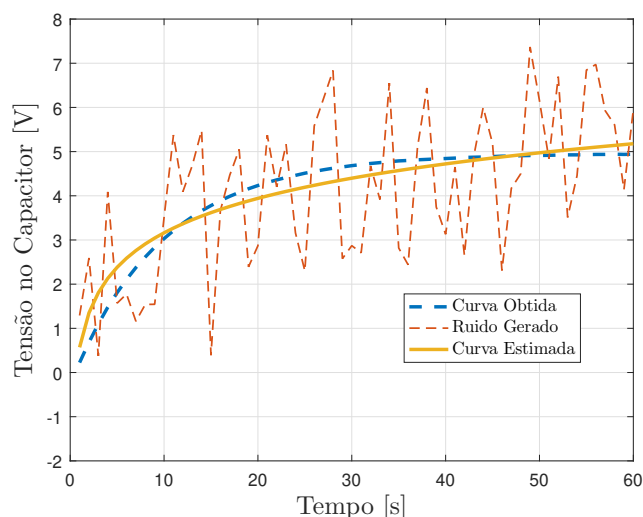
$$y_{(x)} = 0,9091 \ln(x) + 1,5866. \quad (11)$$

Figura 6 – Representação da montagem prática do circuito para coletar os dados da curva de carga do capacitor.



Fonte: Os autores.

Figura 7 – Curva de carregamento do capacitor com dados práticos.



Fonte: Os autores.

### 4.3 Análise de Erros

Para validar o modelo matemático obtido nas Equações (10) e (11) foi utilizado coeficiente de determinação. Lembrando que quanto mais próximo de 1 for o  $R^2$ , então melhor é a aproximação do comportamento real do sistema. A Tabela 1 apresenta o resultado desta aproximação para os modelos do experimento teórico e prático referente a curva de carga do capacitor associado ao circuito proposto. Como podemos observar, os valores de  $R^2$  estão próximos de 1, indicando que os modelos matemáticos apresentam um resultado satisfatório na aproximação de sistemas reais. Vale observar que mesmo com a inserção de ruído na simulação computacional, os resultados mostram que os modelos obtidos podem ser considerados válidos para obter a identificação do sistema.

Tabela 1 – Erros associados aos modelos matemáticos.

Coeficiente de Determinação	$R^2$
Resultado para a curva simulada através do modelo teórico	0,9278
Resultado para a curva obtida através do modelo prático	0,9465

Fonte: Os autores.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo apresentamos a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) como recurso educacional para a identificação de sistemas de controle. Nosso objetivo foi mostrar uma alternativa como metodologia de ensino/aprendizagem que pode ser aplicado em sala de aula para ajudar os discentes na compreensão de conceitos teóricos associados as disciplinas técnicas. Por meio de um experimento prático com componentes eletrônicos e simulação computacional foi possível mostrar aos discentes conceitos de diferentes áreas como a matemática, eletrônica e processamento de sinais, obtendo assim uma interdisciplinaridade de diferentes conteúdos.

Através do MMQ foi possível ilustrar como é possível trabalhar os modelos matemáticos para representar sistemas reais presentes no cotidiano dos discentes. Neste sentido, nós mostramos duas abordagens para apresentar o modelo do sistema eletrônico em análise, sendo a primeira através da função de transferência do circuito Resistor-Capacitor (RC) ligado em série e a segunda através das características de funcionamento real deste circuito. Desta forma foi possível confrontar os resultados para a validação dos modelos obtidos. Utilizando como métrica o coeficiente de determinação, os resultados mostraram que o índice obtido no caso real para o modelo prático atingiu mais de 94% de assertividade, melhor inclusive do que o índice da simulação para o modelo teórico, no qual demonstrou um pouco mais do que 92% de assertividade. Evidentemente que a metodologia proposta é comumente trabalhado em outras áreas além dos cursos de Engenharia, para o qual o percentual de assertividade deve ser analisado caso a caso a fim de poder tornar válido ao seu experimento particular.

Para estudos futuros sugere-se a inclusão novos componentes ao circuito eletrônico, tais como indutores e amplificadores operacionais por exemplo, a fim de analisar sua resposta diante de novos comportamentos de funcionamento, além de verificar a eficácia de novos modelos matemáticos.

### *Agradecimentos*

Gostaríamos de agradecer as Faculdades da Indústria - Sistema Fiep, Campus CIC, pelo apoio na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABANADOR, J. R. et al. **Teaching Methods and Learning Preferences in the Engineering Department of an Asian University**. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, v. 3, n. 1, p. 1–15, 2014.

AGUIERRE, L. **Introdução à identificação de sistemas—Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. UFMG, 2004.

ALMEIDA, R. N. **O Método dos Mínimos Quadrados: Estudo e Aplicações para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), 2015.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 10ª ed.: Pearson, 2004.

BURIAN-JUNIOR, Y.; LYRA, C. C. **Circuitos Elétricos**. 1ª ed.: Pearson, 2006.

CANAVARRO, J. M. **Ciência e Sociedade**. 1ª ed.: Quarteto, 1999.

CHARLES, K. A.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5ª ed.: AMGH, 1999.

EMALIANA, I. **Teacher-Centered or Student-Centered Learning Approach to Promote Learning?** *Jurnal Sosial Humaniora*, v. 10, n. 2, p. 59–70, 2017.

JARLETTI, C. **Cálculo Numérico**. 1ª ed.: Intersaberes, 2018.

LEANDRO, A. M. C. K. **O Ensino de Ciências no Brasil: um breve resgate histórico. Ciência, ética e cultura na educação**. UNISINOS, p. 25–67, 1998.

MEC. *Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia*. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12991>. Acesso em: 05 mai. 2020.

NETO, E. R. **Gerador de Sinal Ruído Correlacionado: Modelagem, Simulação e Proposta de Inovação Tecnológica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília (UnB), 2017.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 6ª ed.: LTC, 2012.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª ed.: Pearson, 2010.

ORENSTEIN, L. P. **Procedimento para Identificação de Sistemas Dinâmicos em Ambiente Industrial**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2013.

WEATHERNBURN, C. E. **A First Course in Mathematical Statistics**. Addison-Wesley Educational Publishers Inc, 1972.

## **APPLICATION OF THE MINIMUM SQUARES METHOD AS A PRACTICAL LEARNING EDUCATIONAL RESOURCE FOR THE IDENTIFICATION OF CONTROL SYSTEMS**

**Abstract:** *New teaching/learning methodologies are being explored to make students able to visualize and understand the theoretical concepts seen in the classroom. Therefore, in this article we present as an educational resource the application of the Minimum Squares Method that can be used to identify control systems in a practical way. In addition, the Arduino platform was used to acquire data from an electronic circuit together with the computer simulation environment MATLAB® for data processing. Through a practical experiment, a Resistor-Capacitor (RC) circuit connected in series was used to analyze the data and verify the result of the mathematical model obtained. Based on the statistical measure represented by the determination coefficient, it was possible to validate the theoretical and practical model that represents the control system, thus achieving the proposed learning objectives.*

**Keywords:** *Educational Methodology. Control Systems Identification. Minimum Squares Method.*