

TERMÔMETRO ANALÓGICO COM SAÍDA PADRÃO INDUSTRIAL 4–20mA PARA FINS EDUCACIONAIS NA ENGENHARIA ELÉTRICA

Gustavo A. Filgueiras – gustavo.filgueiras@engenharia.ufjf.br

Leonardo H. de Oliveira – leonardo.henrique@engenharia.ufjf.br

Daniel de A. Fernandes – daniel.fernandes@ufjf.edu.br

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Departamento de Energia Elétrica

Rua José Lourenço Kelmer, S/N – Martelos – 36.036-330 – Juiz de Fora – MG

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um termômetro eletrônico que serve para múltiplas finalidades no âmbito da educação em Engenharia Elétrica Portátil e seguro, ele pode ser manipulado por docentes e discentes durante demonstrações e experimentos práticos, a serem realizados especialmente durante aulas teóricas expositivas, que aproximem teoria e prática. O circuito é simples, robusto e de baixíssimo custo. O meio de ensino/aprendizagem aqui reportado foi pensado para apoiar o ensino, além de motivar a aprendizagem, de disciplinas formativas básicas ligadas à análise de circuitos elétricos e à eletrônica analógica, mas não se restringe a elas. Pode-se, assim, valorizar o protagonismo dos alunos, propiciando-lhes uma aprendizagem mais ativa, aproximando sua formação da realidade profissional. O principal objetivo deste projeto é contribuir (i) para preencher uma lacuna que ocorre frequentemente na formação dos engenheiros eletricitistas, caracterizada pela escassa ou insuficiente exposição à prática durante a graduação, e (ii) para familiarizar esses graduandos com os instrumentos de medição elétrica e os componentes elétricos mais comuns desde os períodos iniciais da graduação.

Palavras-chave: Atividade prática. Circuitos elétricos. Eletrônica analógica. Engenharia elétrica. Meio de ensino/aprendizagem.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta o projeto de um termômetro eletrônico idealizado para figurar como um recurso didático que atende a múltiplos propósitos educacionais no âmbito da Engenharia Elétrica. Portátil e seguro, ele pode ser facilmente transportado para a sala de aula e manipulado por docentes e discentes durante demonstrações e experimentos práticos variados que possibilitem reduzir a distância entre a teoria e a prática. Trata-se de um circuito analógico singelo que se utiliza de uma propriedade intrínseca da junção PN de silício, empregada como elemento transdutor, para medir temperaturas na faixa de 0 a 100°C (SEDRA; SMITH, 2007). Seu estágio de saída, um *loop* de corrente de 4 a 20mA, segue o padrão de transmissão analógica para instrumentação e comunicação industriais (BOLTON, 2015). O circuito é repleto de sentido prático, robusto e de baixíssimo custo.

O meio de ensino/aprendizagem aqui reportado foi desenvolvido, sobretudo, com o fito de motivar e apoiar o ensino de disciplinas formativas básicas ligadas à análise de circuitos elétricos e à eletrônica analógica. O projeto tem como um dos principais objetivos despertar a atenção e o interesse dos bacharelados em Engenharia Elétrica, além de motivá-los a

engajarem-se no estudo mais aprofundado daquelas disciplinas. O projeto alia conceitos oriundos da boa prática profissional com características voltadas especificamente aos propósitos educacionais almejados. Destacam-se, entre outros pontos, (i) a exemplificação de conceitos fundamentais — malha e nó elétricos, gerador de corrente, gerador vinculado ou dependente, junção PN, Transistor Bipolar de Junção (TBJ), Amplificador Operacional (Amp. Op.), etc. (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007; ORSINI; CONSONNI, 2002) —, contribuindo para preencher uma lacuna que ocorre frequentemente na formação dos engenheiros eletricitas, caracterizada pela escassa ou insuficiente exposição à prática durante a graduação, e (ii) a promoção da familiarização desses graduandos com instrumentos de medição elétrica e alguns componentes eletroeletrônicos mais comuns desde os períodos iniciais da graduação. Cabe ressaltar que “atividades, desde o início do curso, que promovam a integração e a interdisciplinaridade em coerência com o eixo de desenvolvimento curricular, buscando integrar as dimensões técnicas, científicas, econômicas, sociais, ambientais e éticas”, são recomendadas pela Comissão ABENGE (2018, p. 16) e corroboradas pela Comissão conjunta ABENGE–MEI/CNI (2018, p. 12).

Motivar e apoiar o ensino, promovendo a integração e a interdisciplinaridade, fazem-se preeminentes neste momento em que taxa nacional de evasão na engenharia é estimada entre 40% e 50%, principalmente, ainda que não somente, graças à dificuldade que os alunos sentem ao cursarem as disciplinas iniciais voltadas à matemática e à física (Comissão ABENGE, 2018; Seleção Engenharia, 2016). Outra causa de evasão, ainda pior, é a falta de aptidão para as ciências exatas não detectada previamente como consequência das falhas na educação de base que, via de regra, privam os alunos de depararem-se com problemas mais elaborados e complexos, os quais exigem raciocínio lógico e maior aptidão matemática para sua solução. Nassif (2013) afirma que “todo engenheiro necessita de uma sólida formação em algumas ciências exatas, da matemática à física. Tem que dispor do instrumental matemático necessário para identificar e resolver problemas.” Logo, dada a base, é positivo aproximar a formação do engenheiro da realidade, como pretende contribuir nessa direção o projeto aqui reportado. Graham (2018) assinala que as Instituições de Ensino Superior (IESs) identificadas tanto como “líderes atuais” quanto como “líderes emergentes” no ensino de engenharia — majoritariamente universidades bem estabelecidas dos EUA e da Europa dedicadas à pesquisa — primam por boas práticas educacionais, que incluem, entre outras, o empreendedorismo voltado para a tecnologia (*technology-driven entrepreneurship*), o aprendizado ativo baseado em projetos (*active project-based learning*) e o foco no rigor dos fundamentos de engenharia. As análises de um estudo de caso então sugerem que as IESs cujos *status* são de “líderes emergentes” se beneficiam, entre outros fatores positivos, de novas ferramentas que apoiam o processo educacional.

O artigo é organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve a motivação para a realização do projeto; a Seção 3 descreve o circuito eletrônico do termômetro, incluindo seus aspectos construtivos mais relevantes; a Seção 4 apresenta uma sugestão de utilização deste recurso didático baseada na experiência vivenciada na IES à qual os autores estão vinculados; comentários conclusivos são tecidos na Seção 5; por fim, são listadas em seguida as referências utilizadas na elaboração do artigo.

2 MOTIVAÇÃO

A disciplina intitulada “Circuitos Lineares I”, essencial e obrigatória para todas as habilitações da Engenharia Elétrica da nossa IES, é uma disciplina básica que abrange tanto os conceitos fundamentais da eletricidade quanto diversas técnicas de análise de circuitos elétricos lineares. Os conceitos e técnicas de análise, embora elementares, são abstratos e

revelam-se intangíveis para uma grande parte dos discentes, tipicamente jovens desprovidos de experiências práticas e vivências profissionais relacionadas à área de eletricidade. A maioria absoluta deles depara-se pela primeira vez com esses conceitos e técnicas ao cursar a referida disciplina. Acrescente-se a isso a dificuldade em utilizar o instrumental matemático necessário ao tratamento dos problemas inerentes à análise desses circuitos elétricos (Comissão ABENGE, 2018; GRAHAM, 2018; Seleção Engenharia, 2016; NASSIF, 2013). Desta forma, a disciplina representa um grande desafio aos docentes incumbidos da tarefa de assistir e facilitar a aprendizagem dos conceitos e técnicas de análise pelos discentes. Ao mesmo tempo, os docentes percebem a curiosidade revelada pelos discentes quando defrontados com questões mais práticas que despertam o interesse deles (Comissão ABENGE, 2018; GRAHAM, 2018).

Conceitos essenciais no estudo da eletricidade — corrente, tensão, potência e energia, entre outros —, as leis de Ohm e de Kirchhoff, e os teoremas de Thévenin e de Norton, entre outros (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; ORSINI; CONSONNI, 2002) não são bem sedimentados durante o curso da disciplina, e um número alto de alunos falha ao tentar aplicá-los à resolução de problemas práticos razoavelmente simples. Esse fenômeno repete-se também entre os alunos que são aprovados na disciplina com médias próximas à mínima exigida pela IES para sua aprovação, felizmente com menor incidência. As técnicas de análise de circuitos (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; ORSINI; CONSONNI, 2002), especialmente a obtenção dos circuitos equivalentes de Thévenin e de Norton, revelam-se insuficientemente dominadas por muitos alunos, novamente manifestando-se ainda naqueles que são aprovados com médias baixas. É importante evidenciar que os prejuízos na formação desses alunos, advindos dessa nefasta deficiência, crescente desde o início do estudo da Engenharia Elétrica, acumulam-se no decurso da graduação, agravando-se à medida em que novos conteúdos não podem ser melhor assimilados como consequência da precária assimilação dos conteúdos precedentes que os embasam, corroborando a constatação feita por Comissão ABENGE (2018) e Pacheco e Conselho do IEDI (2010).

Pela exposição prévia, acredita-se que seja possível contribuir para que os discentes possam superar os desafios enfrentados por eles ao cursar tanto a disciplina “Circuitos Lineares I” quanto as outras disciplinas mencionadas, através de uma abordagem diferenciada durante as aulas teóricas expositivas, abordagem essa que inclui mesclas de demonstrações de cunho prático durante as exposições teóricas. Ela se apoia no uso do circuito eletrônico do termômetro que possibilita (i) ao docente exemplificar e demonstrar na prática a validade e a utilidade das teorias apresentadas, e (ii) aos discentes relacionar essas teorias com elementos palpáveis que facilitem sua compreensão, assegurando um processo de aprendizagem mais ativo onde se valoriza o protagonismo do aluno.

3 TERMÔMETRO

O projeto do termômetro é pormenorizado nesta seção. Houve a preocupação com especificar somente componentes de uso geral, normalmente disponíveis nas universidades e lojas de componentes eletrônicos populares urbanas. A única possível exceção é o Circuito Integrado (CI) diodo zener modelo LM385-1.2, que pode ser facilmente adquirido através da *internet*, ou substituído por outros componentes. Detalhes sobre este assunto são fornecidos a seguir em momento mais conveniente.

3.1 Circuito eletrônico

A “Figura 1” mostra o circuito completo do termômetro. Pode-se notar que cada subcircuito dele, isto é, cada agrupamento de componentes eletrônicos, é identificado segundo a função que desempenha. A divisão em blocos funcionais visa facilitar o estudo e a compreensão do circuito. Recomenda-se que o leitor busque familiarizar-se com os componentes e suas especificações técnicas através do estudo das folhas de dados (*datasheets*) disponibilizadas gratuitamente na *internet* pelos fabricantes.

O único subcircuito constituído por um par de TBJs tipo NPN modelo BC547C implementa uma fonte de tensão de referência de elevada precisão cuja tensão nominal é $+V_R = 1,235V$. Mais especificamente, o par de TBJs implementa uma fonte de corrente que polariza o diodo zener LM385-1.2. A propósito, o zener pode ser substituído, se necessário, por exemplo, por um par de diodos de sinal modelo 1N4148, associados em série, polarizado diretamente. Para tanto, basta reduzir sensivelmente o valor da resistência de $1M\Omega$ e ajustar, isto é, reduzir, o valor da resistência equivalente a 500Ω para que o par de diodos associados em série apresente queda de tensão próxima ao valor nominal $+V_R$.

O elemento sensor empregado/sugerido é um diodo de sinal modelo 1N4148. A junção PN de um diodo de silício, quando este conduz uma corrente constante, apresenta uma taxa de cerca de $2mV/^\circ C$ de redução da queda de tensão sobre a junção em função da elevação da temperatura dessa junção (SEDRA; SMITH, 2007). Esta característica intrínseca, interessante de explorar nas aulas devido ao seu forte apelo prático, constitui o princípio de funcionamento desse transdutor temperatura–tensão elétrica. O diodo sensor conduz uma corrente constante de cerca de $1mA$. Essa corrente polariza o diodo sem causar-lhe aquecimento significativo, de modo a propiciar que sua queda de tensão seja afetada “exclusivamente” pela temperatura à qual é submetido. A corrente de $1mA$ é fornecida por uma fonte de corrente implementada através de um Amp. Op. e um transistor BC547C.

A queda de tensão sobre o diodo sensor v_d é então “capturada” e referenciada à massa (GND; *ground*) por um amplificador diferencial (*differential amplifier*) (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007) implementado através de mais um Amp. Op.

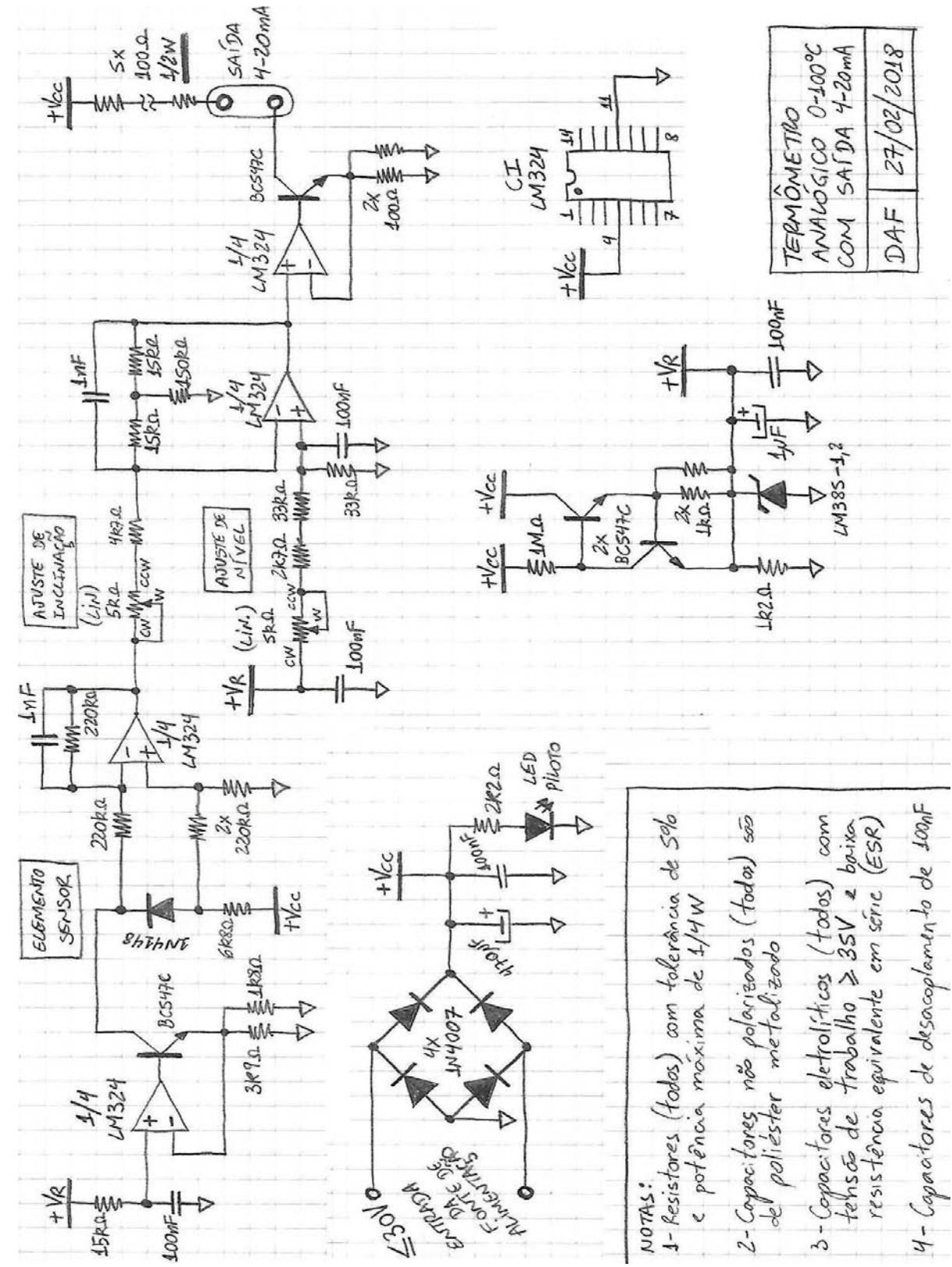
As tensões v_d (sensor) e $+V_R$ (referência) são aplicadas ao amplificador diferencial realimentado por rede “T”. A função deste amplificador é adequar os coeficientes angular — inclinação — e linear — nível — da reta correspondente à sua tensão de saída v_T à faixa de tensões de v_d que, por sua vez, varia proporcionalmente à faixa mensurável de temperaturas $0-100^\circ C$. O amplificador gera $200mV$ quando a junção do diodo sensor está a $0^\circ C$ ($v_d \approx 670mV$) e gera $1V$ quando a junção do diodo sensor está a $100^\circ C$ ($v_d \approx 490mV$). Detalhes relativos à calibração são fornecidos na Subseção 3.2.

O estágio de saída segue o padrão industrial de transmissão analógica para instrumentação e comunicação. É implementado através do último Amp. Op. encapsulado no CI modelo LM324, cujo invólucro encerra ao todo quatro Amp. Ops., e de um transistor BC547C. Este subcircuito impõe a circulação de correntes na faixa de $4-20mA$ através de um *loop* convenientemente estabelecido entre o termômetro e um circuito de carga. Trata-se de uma fonte de corrente controlada pela tensão v_T , ou seja, um gerador vinculado cuja transcondutância é $g_s = 1/50 = 20mA/V$. O estágio de saída é protegido contra curto-circuitos de duração indeterminada com sua própria fonte de alimentação, através da associação série de cinco resistores idênticos de 100Ω e dissipação máxima de $0,5W$.

A fonte de alimentação recebe diretamente tanto tensões CC de até $30V$ quanto tensões CA de até $30V_{pp}$, retifica-as em onda completa e filtra-as para reduzir a ondulação na frequência de $120Hz$ sobre o valor médio da tensão (*ripple*) — ocorre somente sob alimentação CA —, gerando a tensão de alimentação do circuito interno $+V_{CC}$. O LED piloto

indica quando o circuito está alimentado.

Figura 1 – Circuito eletrônico completo do termômetro .



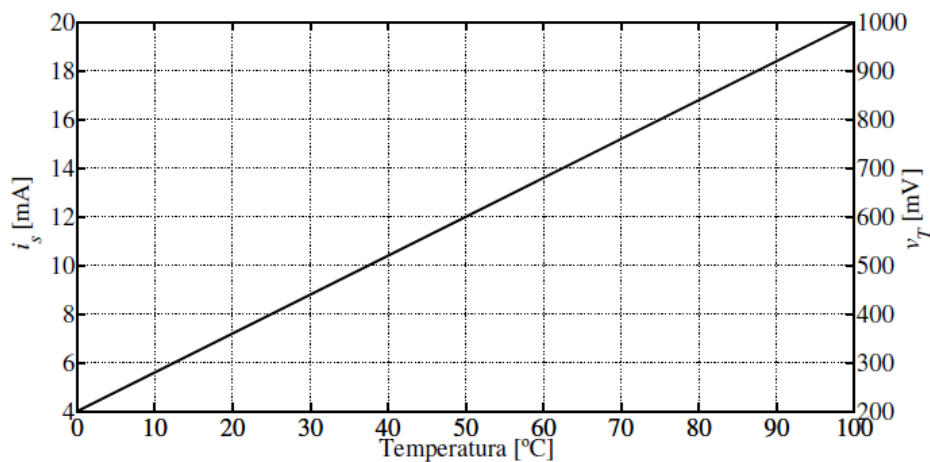
3.2 Calibração

O procedimento de calibração objetiva obter o resultado ilustrado na “Figura 2”.

1. Utilizar um miliamperímetro CC para estabelecer o *loop* de corrente de saída;
2. Abaixar a temperatura no sensor para 0°C e ajustar o *trimpot* denominado “ajuste de inclinação” (ver “Figura 1”) até obter 4mA circulando pelo *loop* de corrente;
3. Elevar a temperatura no sensor para 100°C e ajustar o *trimpot* denominado “ajuste de nível” (ver “Figura 1” novamente) até obter 20mA circulando pelo *loop* de corrente;
4. Repetir os passos 2 e 3 sucessivamente, quantas vezes se fizer necessário, até que o comportamento do termômetro convirja para aquele mostrado na “Figura 2”;
5. Travar os parafusos de ajuste de ambos os *trimpots*.

Se faz necessário durante o processo iterativo de calibração aguardar que a temperatura da junção do diodo se iguale àquela do ambiente, isto é, que haja a estabilização da “medição” de temperatura pelo diodo, antes de impor-lhe nova variação térmica.

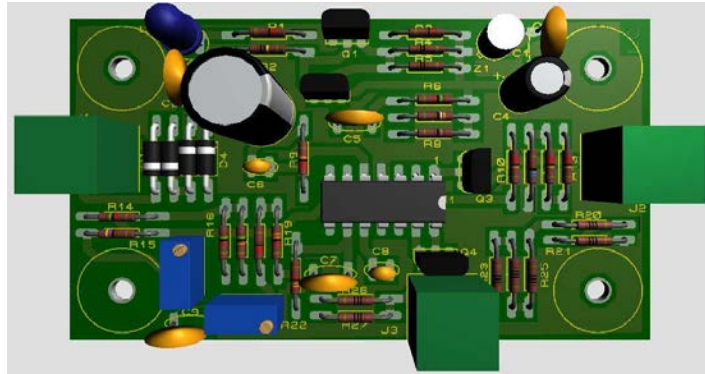
Figura 2 – Curva estática da relação entrada-saída. Ver detalhes na Subseção 3.1.



3.3 Placa de circuito impresso

A Placa de Circuito Impresso (PCI) dupla face mostrada na “Figura 3” foi desenvolvida para acomodar todo o circuito, conferindo-lhe maior confiabilidade e robustez. Suas dimensões aproximadas são 85mm × 50mm. Seu desenvolvimento contempla, entre outros aspectos importantes, (i) a disposição estratégica dos blocos funcionais do circuito, e (ii) a existência de um plano de referência — nó de referência — extenso e envolvente.

Figura 3 – PCI desenvolvida com aplicativo Proteus Design Suite.



4 SUGESTÕES DE UTILIZAÇÃO DO MEIO DE ENSINO/APRENDIZAGEM

Pode-se utilizar o termômetro para exemplificar e discutir muitos conceitos essenciais próprios de cada ramo diferente de estudo da eletricidade. Entre muitas outras sugestões possíveis encontram-se:

1. Conceitos de nó, ramo e malha; definições e leis de associação de bipolos e quadripolos lineares; leis de Kirchhoff; definição de tripolos, ex.: TBJs, e sua relação com os quadripolos;
2. Principais diferenças existentes entre os modelos ideais utilizados em análise e aquilo que se observa na prática; leis de Ohm;
3. Medidas elétricas e utilização segura e adequada de instrumentos de medição, ex.: osciloscópio e multímetro como voltímetro, amperímetro e ohmímetro;
4. Geradores dependentes, ou vinculados; geradores independentes, ex.: $+V_{CC}$ e $+V_R$;
5. Componentes eletrônicos lineares e não lineares, ex.: Amp. Ops., diodos semicondutores e as características construtivas que distinguem suas aplicações, e TBJs e suas regiões de trabalho;
6. Características físicas da PCI e dos componentes nela montados; disposição justificada dos componentes na superfície da PCI, ex.: blocos funcionais, fluxo de sinais, potências dissipadas, acesso a pontos estratégicos da PCI, alimentação elétrica, etc.; técnicas de confecção de PCIs;
7. Conceitos práticos fundamentais de projeto, ex.: aspectos funcional e mecânico, testes, calibração e validação, segurança, atendimento a normas técnicas não, etc.

Na sequência são apresentados dois exemplos de como se pode modelar o circuito esquematizado na “Figura 1”, um com menor e outro com maior nível de detalhamento, com o propósito de simplificar sua análise. Esta é uma estratégia útil também para evidenciar aos discentes a importância das técnicas de análise estudadas, bem como comprovar a validade das idealizações/simplificações realizadas.

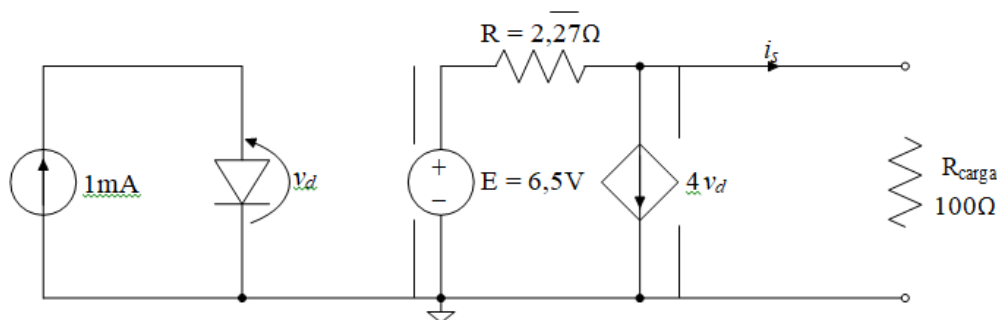
4.1 Modelagem sintética do circuito completo mostrado na “Figura 1”

A “Figura 4” mostra um dos circuitos que modelam sinteticamente o circuito completo mostrado na “Figura 1”, porém alimentando uma carga de 100Ω , ausente naquele caso. Opções equivalentes de modelagem requerem transformações do gerador de tensão e/ou do gerador vinculado. Os valores que constam na “Figura 4” foram determinados para $v_d \in [0,49; 0,67]$ [V], correspondendo inversamente ao intervalo de temperaturas $[0; 100]$ [°C]. A corrente de saída i_s [A] é dada pela equação

$$i_s = \left(\frac{R}{R + R_{carga}} \right) \left(\frac{E}{R} - 4v_d \right) = 0,0635 - 0,08v_d \quad (1)$$

Pode-se também obter uma versão estritamente linear do circuito eletrônico mostrado na “Figura 4”, se o diodo for substituído pelo “resistor variável” R_{var} do tipo NTC, onde $R_{var} \in [490; 670]$ [Ω]. A sigla NTC significa Negative Temperature Coefficient, isto é, um resistor cuja resistência elétrica diminui com a elevação de sua temperatura. A versão linear se faz útil ao se trabalhar o circuito em cursos como o de “Circuitos Lineares I”.

Figura 4 – Modelagem sintética do circuito completo da “Figura 1” com carga.



4.2 Modelagem mais detalhada do circuito completo mostrado na “Figura 1”

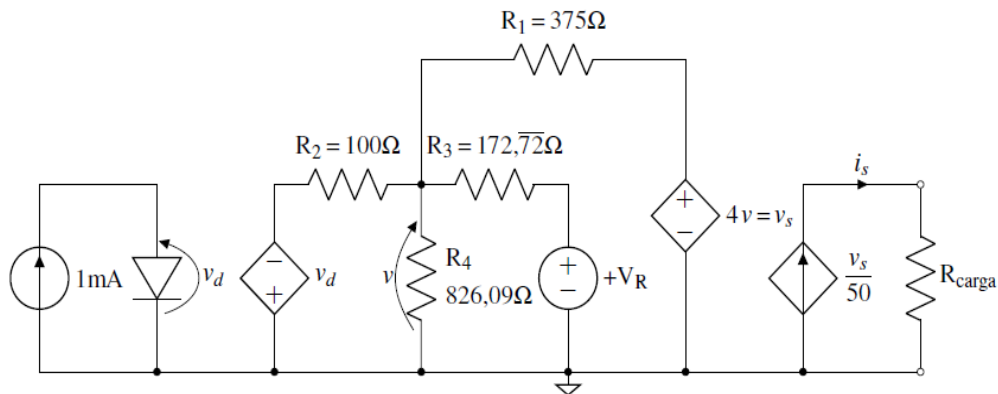
A “Figura 5” mostra um exemplo de circuito que modela mais detalhadamente o circuito completo mostrado na “Figura 1”, também alimentando uma carga de resistência finita. Opções equivalentes de modelagem requerem transformações do gerador de tensão e/ou de um ou mais dos geradores vinculados. Os valores que constam na “Figura 5” foram determinados novamente para $v_d \in [0,49; 0,67]$ [V]. A corrente de saída i_s [A] pode ser determinada através da seguinte equação, onde $+V_R = 1,235V$,

$$f_{VCO} = 0,08 \left(\frac{+V_R R_1 R_2 R_4 - R_1 R_3 R_4 v_d}{R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4 - 3R_2 R_3 R_4} \right) \cong 0,0635 - 0,08v_d \quad (2)$$

Pode-se obter uma versão estritamente linear do circuito eletrônico mostrado na “Figura 5” exatamente como foi descrito na subsubseção anterior.

É um exercício proveitoso relacionar a descrição do circuito completo fornecida na Subseção 3.1 com o circuito mostrado na “Figura 5”.

Figura 5 – Modelagem mais detalhada do circuito completo da “Figura 1” com carga



5 CONCLUSÕES

O artigo apresentou o projeto de um oscilador eletrônico controlado simples, robusto e de baixíssimo custo. Ele se destina a ser um meio de ensino/aprendizagem polivalente no âmbito da educação em Engenharia Elétrica, permitindo a realização de demonstrações e experimentos práticos diversos que ajudam a aproximar teoria e prática. O projeto tem cunho didático somente, sem a pretensão de satisfazer às tipicamente rígidas especificações dos dispositivos de aplicação industrial.

Tanto o circuito eletrônico quanto a PCI admitem muitas modificações sobre as propostas inicialmente feitas aqui, o que enseja valorizar o protagonismo dos alunos, propiciando-lhes uma aprendizagem mais ativa, aproximando sua formação da realidade profissional. A PCI particularmente pode ser totalmente remodelada para atender especificações técnicas distintas daquelas aqui consideradas.

Mais importante do que o circuito em si é a inclusão efetiva de alunos interessados no processo de desenvolvimento e construção de de circuitos, dispositivos, etc., porque isto lhes desperta a curiosidade, subsidia e facilita a aquisição e a retenção de novos conhecimentos e habilidades e, ainda, inicia o treinamento para o mercado de trabalho, seja como engenheiro projetista e inovador, como engenheiro empreendedor e gestor, ou como engenheiro educador na área de engenharia.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte recebido de toda a equipe técnica do Laboratório de Eletrônica (LABEL) da IES durante o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. **Fundamentos de circuitos eléctricos** (5a. McGraw Hill Mexico, 2013).

BOLTON, William. **Instrumentation and control systems**. Newnes, 2015.

Comissão ABENGE. **Inovação na educação em engenharia: proposta de diretrizes para o curso de engenharia**. Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE). Brasília, DF, 2018.



Comissão conjunta ABENGE–MEI/CNI. **Inovação na educação em engenharia: proposta de diretrizes para o curso de engenharia.** Proposta conjunta ABENGE–MEI/CNI. Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE) e Mobilização Empresarial pela Inovação/Confederação Nacional da Indústria (MEI/CNI). Brasília, DF, 2018.

GRAHAM, R. **The global state of the art in engineering education.** Cambridge, EUA, 2018.

NASSIF, Luis. **O desafio de formar engenheiros no Brasil.** 2013. Carta Capital – Sociedade – Coluna Econômica. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/o-desafio-de-formar-engenheiros-no-brasil>.

NILSSON, James William; RIEDEL, Susan. **Circuitos elétricos.** 8a. ed. São Paulo, SP: Prentice Hall do Brasil Ltda., 2009.

ORSINI, Luiz de Queiroz; CONSONNI, Denise. **Curso de circuitos elétricos.** Editora Edgar Blücher Ltda, 2002.

PACHECO, Carlos A. **A formação de engenheiros no Brasil: desafio ao crescimento e à inovação.** São Paulo: Iedi, 2010.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth Carless. **Microeletrônica.** Pearson Prentice Hall, 2007.

Seleção Engenharia. **Os maiores desafios na carreira de um engenheiro.** 2016. Disp. em: <https://selecaoengenharia.com.br/blog/os-maiores-desafios-na-carreira-de-um-engenheiro/>.

ANALOGUE THERMOMETER WITH INDUSTRY STANDARD 4–20mA CURRENT LOOP FOR EDUCATIONAL PURPOSES IN ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract: *This paper presents the design of an electronic thermometer that serves multiple purposes in the scope of education in electrical engineering. Portable and safe, it can be handled by both lecturers and students during demonstrations and practical experiments which strengthen the link between theory and practice. The circuit utilizes a PN junction of silicon as the transducer to measure temperatures in the range 0–100°C. Its output stage consists in a industrial analogue transmission standard 4–20mA current loop. The circuit is simple, robust and very low cost. The teaching/learning aid reported herein is intended to both support the teaching and motivate the learning of basic undergraduate courses such as ‘Fundamentals of electrical circuits’ and ‘Analogue electronics’, but not restricted to them. The main objective of this project is to contribute (i) to fill a gap, i.e. low or insufficient exposure to practice, in the undergraduate courses, and (ii) to make students familiar with more common electrical measuring devices and parts since the earliest terms.*

Keywords: *Analogue electronics. Electrical circuits. Electrical engineering. Practice. Teaching/learning aid.*