



GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO - PARTE 2 - UTILIZAÇÃO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5186

Autores: DANIEL DE ALMEIDA FERNANDES, NATÁLIA DE CARVALHO CORRÊA, MATHEUS DO SACRAMENTO CONSTANTINO

Resumo: As disciplinas de circuitos elétricos de cursos de graduação em engenharia elétrica normalmente são desenvolvidas através de aulas teóricas expositivas dialogadas. Esse método tradicional de ensino não é muito apreciado por uma parte dos discentes, enquanto há muitos deles que apresentam lacunas de conhecimento importantes ao ingressarem no ensino superior. As metodologias ativas e recursos tecnológicos como softwares simuladores são ferramentas eficazes para mitigar os desafios enfrentados pelos discentes desses cursos, porém só até certo ponto, dado que os discentes a cada dia põem menos a "mão na massa", tanto pela insuficiente exposição à prática durante a graduação quanto por falta de iniciativa própria. Por outro lado, problemas de engenharia são desafiadores porque exigem tipicamente, além do domínio de teorias físicas e matemáticas complicadas e de ferramentas computacionais, também diversos conhecimentos práticos de outras áreas do conhecimento, associados à implementação das soluções obtidas primeiro com o auxílio dos softwares. Este trabalho apresenta algumas sugestões de utilização de um gerador de sinais didático, seguro e de baixo custo, proposto para auxiliar no processo de ensino/aprendizagem em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. O gerador de sinais foi apresentado em um artigo anterior a este. Ele foi pensado para ser utilizado durante as aulas teóricas, para enriquecê-las com demonstrações e experimentos práticos envolvendo geradores de tensão independentes ou não vinculados. Ele também permite explorar alguns conceitos matemáticos fundamentais à formação nesses cursos de graduação.

Palavras-chave: Arduino; Circuitos elétricos; Circuitos eletrônicos; Engenharia elétrica; Gerador de sinais; Meio de ensino/aprendizagem

GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO – PARTE 2 – UTILIZAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

As disciplinas de circuitos elétricos de cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade formam um dos pilares absolutamente fundamentais de tais cursos. Entretanto, elas nem sempre são tão bem aproveitadas pelos discentes, por diversas razões, como mencionado em Fernandes; Corrêa; Constantino (2024), impactando negativamente a formação deles. Quando um(a) discente tem baixo aproveitamento nesse conjunto de disciplinas, comumente ocorre um efeito cascata que reduz também o aproveitamento das disciplinas subsequentes do curso, não necessariamente refletido nas notas das avaliações, mas pela insegurança e hesitação em aplicar os conhecimentos que adquiriu. Isso tem impacto negativo tanto na formação quanto na futura atuação profissional desse(a) engenheiro(a). Torna-se, desse modo, indispensável aos docentes reconhecer tais desafios e buscar encontrar soluções que auxiliem os discentes a superar essas dificuldades.

O presente artigo, uma continuação do trabalho de Fernandes; Corrêa; Constantino (2024), tem por objetivo principal apresentar sugestões de utilização do Gerador de Sinais (GS) didático e de baixo custo que foi apresentado no trabalho citado. Ele foi concebido para ser utilizado durante aulas teóricas de cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade e enriquecê-las com demonstrações e experimentos práticos envolvendo geradores de tensão independentes ou não vinculados. Alguns conceitos matemáticos fundamentais a esses cursos de graduação também podem ser explorados.

2 CIRCUITOS ELÉTRICOS

Os livros-textos sobre circuitos elétricos (NILSSON; RIEDEL, 2016; ALEXANDER; SADIKU, 2013; COSTA, 2013; BOYLESTAD, 2012; ORSINI; CONSONNI, 2002) destacam a importância que o conteúdo tem em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. Seu domínio é fundamental para análise e síntese de circuitos elétricos propriamente como para tais finalidades em áreas mais específicas, por exemplo, controle, eletrônica, instalações elétricas, máquinas elétricas, sinais e sistemas, telecomunicações, *etc.* Isto equivale a dizer que é impossível concluir com êxito tais cursos sem antes dominar o conteúdo de circuitos elétricos, porque ele é a base de tudo.

3 IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA

É indiscutível a necessidade de experimentar na prática as teorias vistas em aulas teóricas de cursos de graduação em engenharia¹, principalmente, mas não apenas, na área da eletricidade, cujos conceitos geralmente são complexos e abstratos. Experimentos práticos auxiliam na compreensão e, assim, também na fixação de conceitos teóricos (SILVA *et al.*, 2021; VELHO; COSTA; GOULART, 2019; GRAHAM, 2018; BRANCO *et al.*, 2017; GOMES *et al.*, 2011; GUSTAVSSON *et al.*, 2011), através dos processos de interação sujeito-meio (FERNANDES, 2010). Os processos mentais se desdobram e alcançam, por associação de ideias, também as áreas da matemática abrangidas no estudo dos fenômenos da eletricidade, favorecendo mais ampla compreensão de conceitos avançados,

¹ Naturalmente, isso se estende aos cursos de nível médio técnicos e profissionalizantes também. Cursos profissionalizantes são tipicamente de menor duração e seus alunos não têm a obrigação de estagiar.

por exemplo de cálculo diferencial e integral, entre outros, porque torna-se possível visualizar e correlacionar os resultados obtidos de forma teórica, ou seja, eles são convertidos de objetos completamente abstratos para imagens mentais e/ou reais, segundo a vasta teoria da aprendizagem desenvolvida pelo biólogo, epistemólogo e psicólogo suíço Jean W. F. Piaget (1896–1980). E entre outros trabalhos de teor assemelhado, o de Godoy; Almeida (2017) aponta a dificuldade enfrentada por discentes brasileiros de cursos de engenharia em relação à matemática, o que acarreta taxas preocupantes de desistência dos cursos (REDAÇÃO 360, 2022; BRASIL, 2019a; GODOY; ALMEIDA, 2017). Mas Piaget também destacou em sua obra a necessidade de manter uma postura ativa para aprender, de maneira que experimentar hipóteses e tentar diferentes soluções para superar desafios tornam-se esforços indispensáveis no processo de aprendizagem (FERNANDES, 2010). Eis alguns dos entraves à formação de um maior número de engenheiros no país, outra necessidade indiscutível para acelerar seu desenvolvimento (KOIKE, 2023; SEMESG, 2023; VELHO; COSTA; GOULART, 2019).

A experimentação prática ainda contribui para complementar os conteúdos teóricos, uma vez que o tempo em sala de aula não permite o aprofundamento de todos os assuntos periféricos aos principais assuntos abordados em um curso de graduação. Parte do conteúdo deve necessariamente ser estudado e aprendido pelos discentes por conta própria² (VELHO; COSTA; GOULART, 2019; BRANCO *et al.*, 2017). A este respeito, a resolução CNE/CES 2/2019 preconiza que o discente desenvolva características como “estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora” e “adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática”, além da competência de “aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação” (BRASIL, 2019b, Art. 3º e Art. 4º).

E para além de auxiliar na compreensão e na fixação de conteúdos teóricos de física (eletricidade) e de matemática (cálculo diferencial e integral), tanto quanto de complementá-los, os experimentos práticos ainda contribuem decisivamente para um melhor desenvolvimento cognitivo dos discentes (FERNANDES, 2010). Eles favorecem outrossim o desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais, tais como as capacidades de observação, reflexão e pensamento crítico, criatividade, inferência, análise e resolução de problemas, *etc.* (REDAÇÃO 360, 2022; BRASIL, 2019b; GRAHAM, 2018; PRESTES; RODRIGUES, 2016), bem como o desenvolvimento de habilidades sociais e éticas indispensáveis no âmbito do exercício responsável e ético da engenharia (BRASIL, 2019b; VELHO; COSTA; GOULART, 2019; PRESTES; RODRIGUES, 2016).

Experimentos práticos, por mais simples que sejam, evocam e exemplificam diversos conceitos fundamentais de engenharia simultaneamente, de modo que eles não podem ser substituídos plenamente por simuladores, não importa quão sofisticados sejam os simuladores, pois (ainda) é impossível reproduzir toda a complexidade da natureza através de um programa de computador (SILVA *et al.*, 2021; BRANCO *et al.*, 2017; GUSTAVSSON *et al.*, 2011). Contudo, vale esclarecer que o presente trabalho não pretende diminuir a importância que as simulações computacionais seguramente têm, mas apenas enfatizar a necessidade da prática experimental na formação em cursos de engenharia na área da eletricidade. Discentes desses cursos devem buscar compreender as diferenças que subsistem entre resultados simulados³ e resultados experimentais, pois, na prática,

² O fenômeno é imanente a todos os cursos de nível superior e não somente aos cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade.

³ São baseados em modelos teóricos ideais, tipicamente funcionando sob condições ideais de operação. Os modelos são acrescidos, quando muito, de algumas das não idealidades cujos efeitos sobre os resultados

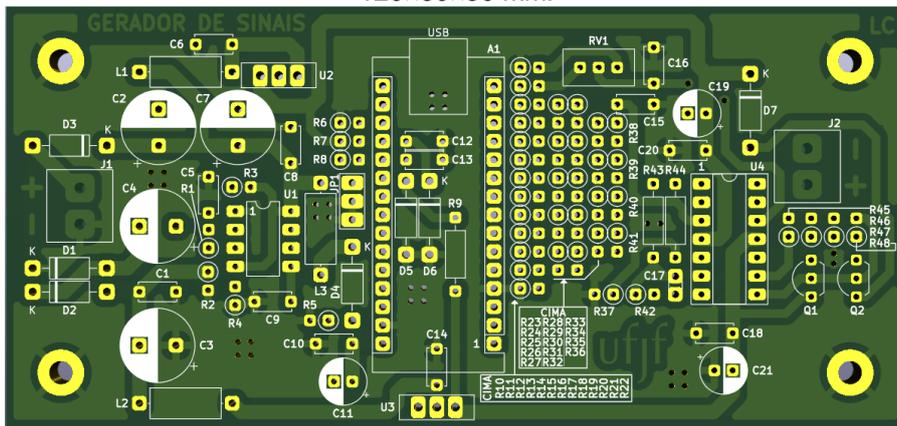
cada componente apresenta suas não idealidades intrínsecas e instrumentos de medição influenciam em algum grau as medições realizadas. Tal competência deve ser desenvolvida ao longo dos cursos de graduação porque será valiosa na lida com problemas mais complexos no futuro exercício profissional. Discussões mais detalhadas a respeito destes temas podem ser encontradas em Silva *et al.* (2021); Brasil (2019b); Graham (2018); Gomes *et al.* (2011); Gustavsson *et al.*, 2011; e em algumas das referências contidas nelas.

4 GERADOR DE SINAIS DIDÁTICO

Como informado na Seção 1, o trabalho de Fernandes; Corrêa; Constantino (2024) apresentou o GS didático em detalhes. O diagrama esquemático do circuito eletrônico e os tipos de sinais elétricos que podem ser gerados foram lá apresentados. Recomenda-se a leitura prévia do trabalho citado para facilitar a compreensão deste, embora as informações mais imediatamente necessárias estejam repetidas aqui.

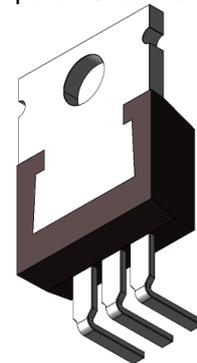
O GS didático consiste em uma Placa de Circuito Impresso (PCI), mostrada na Figura 1, e uma fonte de alimentação (externa) de 15 V, ≥ 5 W. Além disso, para operar, ele necessita apenas de um computador capaz de executar o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (ADI) — *Integrated Development Environment* (IDE), em inglês — do Arduino.

Figura 1 – PCI do GS didático. Dimensões aproximadas da PCI (LxAxP): 120x60x30 mm.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 2 – Detalhe da dobra dos pinos dos CIs U2 e U3 para montagem pelo LS da PCI.



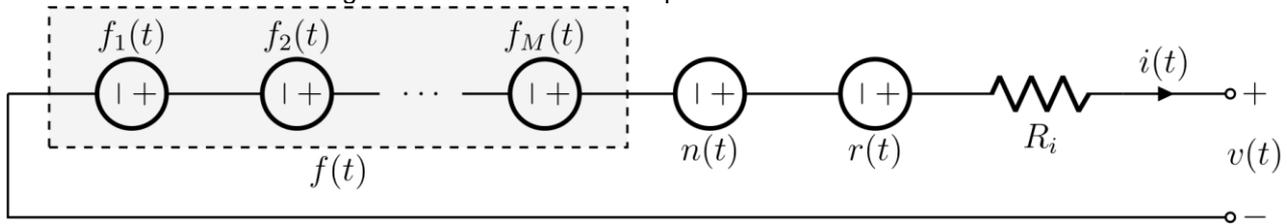
Fonte: Autores, 2024.

Os Circuitos Integrados (CIs) reguladores de tensão U2 e U3 devem ser montados pelo lado de baixo da PCI, denominado Lado da Solda (LS), com seus pinos dobrados 90° para frente, como mostrado na Figura 2. Eles devem ser montados na PCI o mais rente possível da superfície dela, pois seus invólucros isolantes podem tocar os terminais soldados de outros componentes eletrônicos sem causar problemas. Após concluída a soldagem de todos os componentes, ambos os CIs também podem opcionalmente ser fixados mais firmemente à PCI com cola quente. Isso aumentará a segurança contra danos provocados por eventuais quedas e choques físicos.

O circuito equivalente do GS didático é mostrado na Figura 3. Vale ali o teorema da superposição (NILSSON; RIEDEL, 2016; ALEXANDER; SADIKU, 2013; COSTA, 2013; BOYLESTAD, 2012; CHAPARRO, 2011; ORSINI; CONSONNI, 2002), tal que a tensão do gerador equivalente é definida como $e(t) := f(t) + n(t) + r(t)$. A resistência interna do gerador equivalente é $R_i \approx 50 \Omega$.

das simulações são mais pronunciados, mas elas também são idealizadas — outros modelos teóricos ideais —, a fim de aumentar o nível de realidade e tentar aproximar mais os resultados simulados da realidade.

Figura 3 – Circuito elétrico equivalente do GS didático.



Fonte: Autores, 2024.

5 SUGESTÕES DE UTILIZAÇÃO DO GS DIDÁTICO

5.1 Introdução

Esta seção lista inicialmente conceitos fundamentais acerca dos geradores de tensão independentes ou não vinculados. Em seguida, apresenta algumas sugestões de utilização do GS didático, sem pretensão de esgotar as possibilidades de utilizá-lo. Ele pode ser utilizado em muitas disciplinas diferentes para exemplificar na prática os conceitos de interesse na ocasião. Conceitos podem ser verificados durante uma aula teórica, tendo o GS didático como ferramenta de apoio à apresentação da teoria pelo(a) professor(a).

Alguns componentes eletrônicos comuns, uma pilha de 1,5 V do tipo AA, AAA, etc., uma matriz de contatos — *Prot-o-board* ou *breadboard*, em inglês —, um osciloscópio, um multímetro e alguns pedaços de cabinho flexível de seção transversal de cerca de 0,33 mm² (22 AWG) são necessários à realização dos experimentos sugeridos.

Sugere-se também estabelecer imediatamente uma comparação com os resultados fornecidos por algum simulador. Neste caso, sugere-se utilizar o aplicativo “*Circuit Simulator Applet*” (<https://www.falstad.com/circuit/>), executável diretamente por um navegador de internet, sem a necessidade de instalação no computador, embora isso também possa ser feito, caso desejado, mas qualquer outro simulador também pode ser utilizado.

5.2 Gerador de tensão independente ou não vinculado

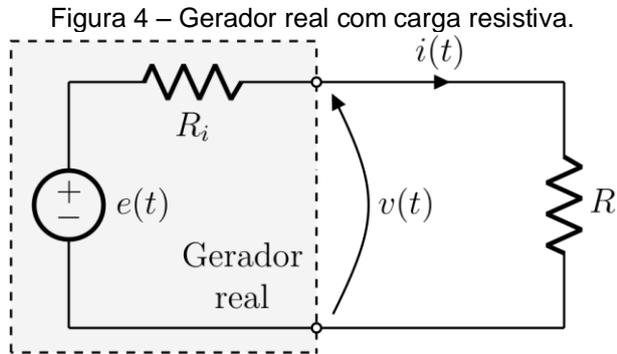
Um gerador de tensão ideal: **i)** impõe a tensão entre seus terminais a qualquer carga conectada em paralelo com ele, exceto se ela for um curto-circuito; nesse caso, não se pode conectá-los; **ii)** fornece qualquer corrente que a carga drene; a corrente será sempre finita, dada a condição *sine qua non* da carga nunca ser um curto-circuito; **iii)** pode trabalhar tanto como um dipolo gerador de energia, fornecendo corrente, quanto como um dipolo receptor de energia, drenando corrente; e **iv)** quando a tensão entre seus terminais é nula, torna-se um curto-circuito ideal.

Um gerador de tensão real consiste em um gerador de tensão ideal associado em série com uma resistência elétrica, conhecida como resistência interna do gerador. Portanto, um gerador de tensão real: **i)** apresenta redução da tensão entre seus terminais proporcional à corrente drenada pela carga; e **ii)** dissipa toda sua energia na forma de calor, gerado internamente, quando tem como carga um curto-circuito. Tal condição pode constituir sérios riscos de explosão e de incêndio, diga-se, e deve ser evitada a todo custo.

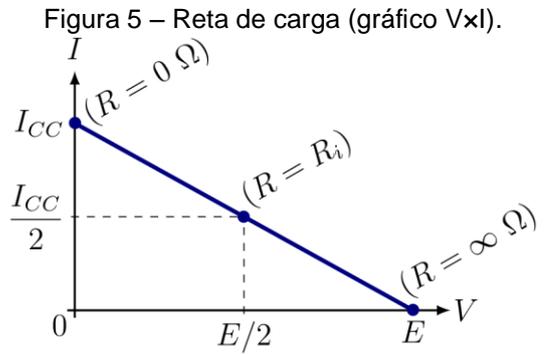
Um gerador de tensão é denominado independente, também chamado de não vinculado, quando a tensão entre seus terminais não depende de qualquer corrente e nem de qualquer outra tensão do circuito do qual faz parte. Detalhes podem ser encontrados, por exemplo, em qualquer das referências citadas na Seção 2.

A Figura 4 mostra um circuito no qual um gerador de tensão não vinculado real alimenta uma carga resistiva pura. Sem perda de generalidade, se a tensão $e(t)$ for constante, ou seja, se $e(t) = E$ [V], então pode-se traçar a reta de carga mostrada na Figura 5, onde I_{CC} [A] é a corrente máxima ou de curto-circuito. A tensão nos terminais do gerador é

reduzida desde seu valor máximo, quando a resistência de carga é infinita, até zero, quando a resistência de carga é nula. Outro ponto notável sobre a reta de carga ocorre onde a resistência de carga é idêntica à resistência interna do gerador.



Fonte: Autores, 2024.



Fonte: Autores, 2024.

5.3 Sugestões de utilização do GS didático na prática

Experimento 1: Conceitos fundamentais sobre geradores de tensão – parte 1

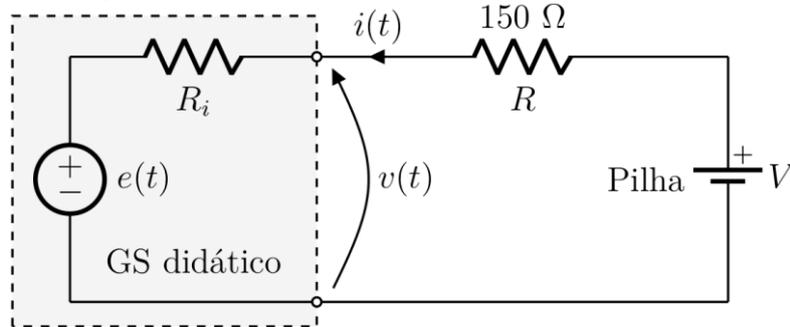
O experimento explora alguns dos conceitos fundamentais mencionados na Subseção 5.2: diferença entre os conceitos fundamentais CC e CA, entre outros, considerando diversos tipos de sinais elétricos. Eles devem ser verificados através da observação da tela do osciloscópio e do escrutínio sobre as formas de onda observadas. Sugere-se seguir o seguinte roteiro:

- 1) Zerar a saída do GS didático ($e(t) = E \approx 0 \text{ V}$) através do envio de um dos caracteres, “z”, “Z” ou “0”, pelas Interfaces de Usuário (IUs) disponíveis (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024);
- 2) Conectar um dos canais do osciloscópio diretamente na saída do GS (conector J2 da PCI; ver Figuras 1 e 3), respeitando a polaridade;
- 3) Ativar todas as formas de onda mais comuns, uma a uma, através de sínteses diretas (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024, Quadro 1);
- 4) Construir o mesmo circuito no simulador, ou seja, um gerador de tensão ideal associado em série com uma resistência de 50Ω , onde cada uma das formas de onda ativadas no passo 3) deve ser reproduzida pelo simulador;
- 5) Observar atentamente e comparar as seguintes características de cada uma das formas de onda, tanto das geradas pelo GS quanto das simuladas: **i)** amplitude, **ii)** frequência, **iii)** função característica, **iv)** taxa de variação no tempo, **v)** presença de descontinuidades e **vi)** CA ou CC;
- 6) Repetir todos os passos anteriores, porém com deslocamentos de nível do sinal de saída, ou seja, tanto positivo ($n(t) \approx 1 \text{ V}$) quanto negativo ($n(t) \approx -1 \text{ V}$);
- 7) Para cada uma das formas de onda ativadas, bem como para cada deslocamento de nível, observar atentamente o sinal de saída e interpretá-lo à luz do circuito elétrico equivalente mostrado na Figura 3;
- 8) Repetir todos os passos anteriores, porém, no passo 3), ativar as formas de onda sintetizadas através de sínteses aditivas;
- 9) Se desejado, pode-se incluir neste roteiro também as formas de onda “peculiares” (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024, Quadro 1), e até o ruído elétrico ($r(t) \neq 0 \text{ V}$). Neste caso, a única dificuldade com que se depara é executar o passo 4), porque a implementação de alguns dos geradores de tensão ideais no simulador pode ser bastante trabalhosa, dependendo do caso. Assim, pode-se pular o passo 4), se necessário para poupar tempo.

Experimento 2: Conceitos fundamentais sobre geradores de tensão – parte 2

O experimento explora outros conceitos fundamentais mencionados na Subseção 5.2: gerador de tensão como curto-circuito e como carga. Eles podem ser verificados a partir do circuito mostrado na Figura 6. Sugere-se o roteiro experimental abaixo:

Figura 6 – Circuito elétrico referente ao Experimento 2.



Fonte: Autores, 2024.

- 1) Zerar a saída do GS didático ($e(t) = E \approx 0 \text{ V}$);
- 2) Medir a tensão real V da pilha de 1,5 V desconectada. **Atenção: se a tensão for menor que 1,3 V, NÃO utilizar a pilha, porque isso pode ser perigoso;**
- 3) Medir a resistência real R do resistor de 150Ω ;
- 4) Calcular a corrente que deve circular pela malha, considerando também a presença da resistência interna do GS ($R_i \approx 50 \Omega$);
- 5) Montar o circuito mostrado na Figura 6;
- 6) Medir e anotar a intensidade e o sentido da corrente que circula na malha;
- 7) Inverter os polos da pilha e repetir o passo 6);
- 8) Comparar os valores medidos nos passos 6) e 7) com aquele calculado no passo 4) e responder as seguintes perguntas: **i)** Os valores são correspondentes? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores obtidos? **iii)** Houve alteração no sentido de circulação da corrente? Explicar o porquê disso.
- 9) Voltar ao circuito mostrado na Figura 6;
- 10) Ativar a forma de onda constante positiva na saída do GS ($e(t) = E \approx 1 \text{ V}$);
- 11) Medir e anotar a intensidade e o sentido da corrente que circula na malha;
- 12) Ativar a forma de onda constante negativa na saída do GS ($e(t) = E \approx -1 \text{ V}$) e repetir o passo 11);
- 13) Construir o circuito no simulador utilizando os valores medidos na prática. A tensão V deve ser aquela medida no passo 2), enquanto a resistência R deve ser aquela medida no passo 3);
- 14) Obter as correntes simuladas para cada valor da tensão de saída do GS;
- 15) Comparar os valores medidos na prática com aqueles obtidos através de simulações e responder as seguintes perguntas: **i)** Os valores são correspondentes? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores obtidos? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas?
- 16) Ativar uma a uma as demais formas de onda mais comuns (dente de serra, dente de serra invertida, quadrada, senoidal e triangular);
- 17) Com o auxílio do osciloscópio, medir e anotar a tensão instantânea sobre a resistência R para cada uma das formas de onda ativadas no passo 16);
- 18) Calcular as correntes instantâneas que circulam na malha, dividindo as tensões instantâneas sobre a resistência R , anotadas no passo 17), pelo valor real da resistência, medido no passo 3);

- 19) Construir o circuito no simulador utilizando os valores medidos na prática, isto é, formas de onda ativadas no passo 16), resistência interna do GS e resistência medida no passo 3);
- 20) Obter as correntes simuladas para cada forma de onda ativada no passo 16);
- 21) Comparar os valores medidos na prática com aqueles obtidos através de simulações e responder as seguintes perguntas: **i)** Os valores são correspondentes? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas?

Experimento 3: Conceitos fundamentais sobre geradores de tensão – parte 3

O experimento explora mais conceitos fundamentais mencionados na Subseção 5.2. O objetivo é traçar uma reta de carga como aquela mostrada na Figura 5. Isso pode ser conseguido através do circuito mostrado na Figura 4. Sugere-se o seguinte roteiro:

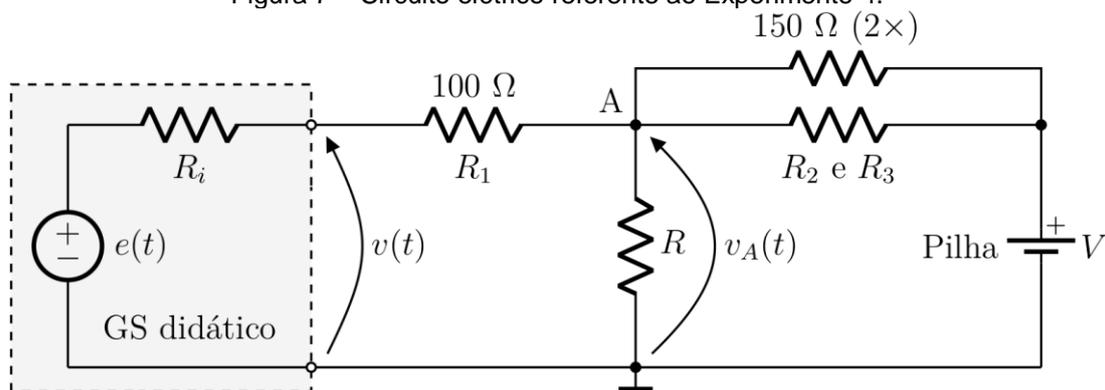
- 1) Zerar a saída do GS didático ($e(t) = E \approx 0$ V);
- 2) Ativar a forma de onda constante positiva na saída do GS ($e(t) = E \approx 1$ V);
- 3) Medir a tensão de saída do GS sem carga e marcar sobre o eixo das abscissas o ponto correspondente a $R \approx \infty \Omega$, atribuindo-lhe o valor medido;
- 4) Com a função amperímetro do multímetro selecionada, medir a corrente fornecida com a saída do GS em curto-circuito, realizado pelo amperímetro mesmo, e marcar sobre o eixo das ordenadas o ponto correspondente a $R \approx 0 \Omega$, atribuindo-lhe o valor medido;
- 5) Variar o valor da resistência de carga R algumas vezes — escolher **i)** 3 valores nominais menores que 50Ω , por exemplo, 1Ω , 22Ω e 39Ω , **ii)** 3 valores nominais maiores que 50Ω , por exemplo, 56Ω , 100Ω e 150Ω , **iii)** 3 valores nominais muito maiores que 50Ω , por exemplo, $1 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ k}\Omega$ e $100 \text{ k}\Omega$, e **iv)** o valor nominal 50Ω (associação de um par resistores de 100Ω em paralelo) — e, para cada uma, medir o valor da resistência real de carga e a tensão e a corrente de saída do GS. Em posse de todos os valores, marcá-los no gráfico;
- 6) Traçar uma reta de carga que passe o mais próximo possível de todos os pontos marcados no gráfico $V \times I$. Caso isso possa ser feito com o auxílio de um computador, utilizar o método de otimização de Mínimos Quadrados (MQ) para traçar a reta de carga;
- 7) Construir o circuito no simulador utilizando os valores medidos na prática. A tensão E deve ser aquela medida no passo 3). A resistência interna do gerador deve ser igual ao resultado da divisão da tensão E pela corrente de curto-circuito I_{CC} , medida no passo 4). A resistência de carga R deve assumir todos os valores medidos no passo 5), além dos valores extremos correspondentes ao curto-circuito (0Ω) e ao circuito aberto ($\infty \Omega$);
- 8) Ler as tensões e correntes de saída simuladas para cada valor da resistência de carga e compará-las com aquelas obtidas na prática e utilizadas para traçar a reta de carga (passo 6));
- 9) Comparar os valores medidos na prática com aqueles obtidos através de simulações e responder as seguintes perguntas: **i)** Os valores são correspondentes? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas? **iv)** O que determina a inclinação da reta de carga? **v)** Caso $R_i = 0 \Omega$, qual seria a inclinação da reta de carga e que consequências isso acarretaria?
- 10) Repetir todos os passos anteriores, porém, no passo 2), ativar a forma de onda constante negativa na saída do GS ($e(t) = E \approx -1$ V) e responder a pergunta: Como as novas retas de carga se comparam com as obtidas antes?

- 11) Em posse de todos os valores obtidos no passo 5), que permitiram traçar a reta de carga solicitada no passo 6), calcular as potências elétricas tanto fornecida pelo gerador equivalente $e(t)$ quanto consumida pela resistência de carga R ;
- 12) A partir das potências elétricas calculadas no passo anterior, determinar o ponto de máxima transferência de potência do gerador equivalente para a resistência de carga e responder as seguintes perguntas: **i)** O ponto determinado coincide com o ponto médio da reta de carga? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os pontos? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas? **iv)** Que conclusões se pode tirar a respeito do ponto de máxima transferência de potência e qual a utilidade prática disso?

Experimento 4: Circuito equivalente de Thévenin

O experimento explora um conceito fundamental da teoria de circuitos elétricos lineares: o circuito equivalente de Thévenin. Tal circuito equivalente possibilita, entre outras coisas importantes, traçar a reta de carga de um circuito mais complexo para analisá-lo. Por exemplo, pode-se então substituir, apenas para efeito de análise, o circuito elétrico linear mostrado na Figura 7 por um circuito equivalente de Thévenin, que consiste em um gerador de tensão ideal associado em série com uma resistência, conforme se apresenta o gerador real mostrado na Figura 4. Sugere-se então o roteiro experimental a seguir:

Figura 7 – Circuito elétrico referente ao Experimento 4.



Fonte: Autores, 2024.

- 1) Zerar a saída do GS didático ($e(t) = E \approx 0 \text{ V}$);
- 2) Medir a tensão real V da pilha de 1,5 V desconectada. Dar preferência a uma pilha cuja tensão seja o mais próximo possível do valor nominal de 1,5 V;
- 3) Medir as resistências reais de todos os resistores necessários à realização do experimento, considerando também a resistência interna do GS ($R_i \approx 50 \text{ } \Omega$);
- 4) Montar o circuito mostrado na Figura 7, manter a tensão do GS nula ($e(t) = E \approx 0 \text{ V}$) e variar o valor da resistência R como feito no passo 5) do Experimento 3, isto é, utilizar os mesmos valores nominais lá sugeridos e, para cada um, medir a tensão sobre R e a corrente que a atravessa. Em posse dos valores, marcá-los em um gráfico $V \times I$ para traçar a reta de carga. Caso isso possa ser feito com o auxílio de um computador, utilizar o método de MQ para traçá-la;
- 5) Montar o circuito mostrado na Figura 4, ativar a forma de onda constante positiva na saída do GS ($e(t) = E \approx 1 \text{ V}$) e variar o valor da resistência R como feito no passo anterior. Para cada valor de R , medir a tensão sobre essa resistência e a corrente que a atravessa. Em posse dos valores, marcá-los noutro gráfico $V \times I$ para traçar uma outra reta de carga. Mais uma vez, caso seja possível, utilizar o método de MQ para traçar a reta de carga;

- 6) Comparar as duas retas de carga e responder as seguintes perguntas: **i)** Elas são iguais? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas? **iv)** Pode-se afirmar que os circuitos que deram origem às retas de carga são equivalentes? **v)** Qual dos dois circuitos é mais fácil de analisar, o da Figura 4 ou o da Figura 7?
- 7) Repetir os passos 4) a 6), porém, desta vez, no passo 4), inverter os polos da pilha e, no passo 5), ativar a forma de onda constante negativa na saída do GS ($e(t) = E \approx -1 \text{ V}$);
- 8) Se desejado, pode-se incluir no roteiro simular ambos os circuitos (Figuras 4 e 7) utilizando os valores medidos na prática. A tensão V deve ser aquela medida no passo 2), enquanto os valores das resistências devem ser aqueles medidos no passo 3) deste experimento e no passo 5) do Experimento 3. Ler as tensões e correntes simuladas para cada valor da resistência R e compará-las com aquelas obtidas na prática, solicitadas nos passos 4) e 5).

Experimento 5: Séries de Fourier

Este experimento permite explorar conceitos matemáticos fundamentais relacionados aos sinais elétricos, neste caso, tensões elétricas. Sugere-se o seguinte roteiro:

- 1) Zerar a saída do GS didático ($e(t) = E \approx 0 \text{ V}$);
- 2) Conectar um dos canais do osciloscópio diretamente na saída do GS;
- 3) Ativar todas as formas de onda mais comuns, uma a uma, através de sínteses aditivas (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024, Quadro 1) e, para cada uma, variar o número de termos da respectiva Série de Fourier (SF) truncada e observar as diferenças de morfologia, amplitude e conteúdo harmônico, além da ocorrência ou não do fenômeno de Gibbs (CHAPARRO, 2011). O número de termos k nas SFs truncadas é limitado, tal que $1 \leq k \leq 9$ (FERNANDES; CORRÊA; CONSTANTINO, 2024). O valor de k pode ser redefinido pelo envio de um dos caracteres de “1” a “9” através de uma das IUs disponíveis, enquanto qualquer uma das quatro formas de onda que são geradas através de sínteses aditivas estiver ativada;
- 4) Ativar as formas de onda correspondentes àquelas geradas no passo 3), porém através de sínteses diretas, e observar as diferenças de morfologia, amplitude e conteúdo harmônico, além da ocorrência ou não do fenômeno de Gibbs;
- 5) Construir no simulador um circuito equivalente ao mostrado na Figura 3, levando em consideração a amplitude de cada termo das SFs truncadas, de acordo com as Equações (3), (5), (7) e (10) apresentadas no trabalho de Fernandes; Corrêa; Constantino (2024), e observar as diferenças de morfologia, amplitude e conteúdo harmônico, além da ocorrência ou não do fenômeno de Gibbs;
- 6) Comparar os valores obtidos na prática (passos 3) e 4)) com aqueles obtidos através de simulações (passo 5)) e responder as seguintes perguntas: **i)** Os valores são correspondentes? **ii)** Há diferenças grandes ou pequenas entre os valores? **iii)** Quais são as causas mais prováveis das diferenças encontradas? **iv)** E quanto ao fenômeno de Gibbs, o que foi observado?
- 7) À luz das reflexões já realizadas no passo anterior, aprofundar a reflexão sobre os coeficientes das SFs trigonométricas utilizadas no passo 5);
- 8) Repetir todos os passos anteriores, porém com deslocamentos de nível do sinal de saída, ou seja, tanto positivo ($n(t) \approx 1 \text{ V}$) quanto negativo ($n(t) \approx -1 \text{ V}$);
- 9) Se desejado, pode-se incluir neste roteiro a obtenção dos coeficientes das SFs utilizadas nos passos 5) e 7), a ser realizada previamente pelos discentes.

6 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou sugestões de utilização na prática do GS didático e de baixo custo proposto em Fernandes; Corrêa; Constantino (2024) para auxiliar no processo de ensino/aprendizagem em cursos de graduação em engenharia na área da eletricidade. O GS também permite explorar alguns conceitos matemáticos fundamentais à formação dos discentes desses cursos. As aulas teóricas podem ser enriquecidas com demonstrações práticas das teorias apresentadas. Sabe-se o quanto a parte experimental contribui para a formação técnica sólida dos discentes.

O GS foi construído recentemente e o projeto acaba de ser validado. No entanto, ele ainda precisa passar por testes em salas de aula para verificação da adequação e eficácia para os fins educacionais a que se destina. Até o momento, não se dispõe de dados suficientemente ricos sobre seu impacto na aprendizagem. Nas oportunidades em que foi utilizado durante aulas teóricas, a aceitação pelos discentes foi bastante satisfatória, despertando a atenção da maioria deles. Ouviu-se deles expressões como “agora eu consegui enxergar”, “agora eu consigo ver”, “agora [a teoria apresentada] fez sentido para mim”, *etc.* Coleta de dados e avaliações futuras são cruciais para que possam ser tiradas conclusões sobre o potencial deste recurso didático.

Trabalhos futuros devem objetivar o desenvolvimento de novos roteiros de experimentos práticos que explorem mais o potencial educacional que o GS didático oferece. Alguns exemplos são: **i)** demonstração da 1ª lei de Ohm utilizando tensões CC e CA de diferentes formas de onda e diversos valores de resistências; **ii)** demonstração de divisores de tensão utilizando tensões CC e CA de diversas formas de onda; **iii)** demonstração de divisores de corrente utilizando tensões CC e CA de diversas formas de onda; **iv)** demonstração de retificadores de meia onda e de onda completa utilizando diversas formas de onda; **v)** demonstração de detectores de pico e de passagem por zero utilizando diversas formas de onda; **vi)** demonstração de respostas de redes elétricas lineares de 1ª e 2ª ordens — RC, RL, LC e RLC, tanto do tipo passa-baixas quanto do tipo passa-altas — utilizando tensões CC e CA de diversas formas de onda; **vii)** mostrar e discutir as aplicações de sinais “peculiares” como o sinc e o exame ECG; **viii)** explorar todas as ideias anteriores valorizando também a possibilidade de utilizar e discutir os efeitos da presença do sinal de ruído elétrico ($r(t) \neq 0$ V) no sinal de saída do GS didático; **ix)** *etc.*

Os arquivos do tipo Gerber — confecção da PCI — e o código do Arduino Nano estão disponíveis para compartilhamento mediante solicitação aos autores via *e-mail*.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2012.

BRANCO, Matheus V.; COELHO, Letícia A.; ALVES, Gustavo; SCHLICHTING, Luis. Aspectos de diferenciação entre laboratórios remotos e simuladores. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 2017, Joinville. **Anais**. Joinville.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES nº 1, de 23 de janeiro de 2019a. Diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 abr. 2019. Seção 1, p. 109.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Res. CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019b. Institui as diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 abr. 2019. Seção 1, p. 43.

CHAPARRO, Luis F. **Signals and systems using MATLAB®**. Burlington, EUA: Academic Press, 2011.

COSTA, Vander M. da. **Circuitos elétricos lineares: enfoques teórico e prático**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2013.

FERNANDES, Daniel de A.; CORRÊA, Natália de C.; CONSTANTINO, Matheus do S. Gerador de sinais didático – parte 1 – introdução. In: 52º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 2024, Vitória. **Anais**. Vitória.

FERNANDES, Elisângela. **O sujeito epistêmico de Piaget**. Nova escola, 2010. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1922/o-sujeito-epistemico-de-piaget>. Acesso em: 16 mai. 2024.

GODOY, Elenilton V.; ALMEIDA, Eustáquio de. A evasão nos cursos de engenharia e a sua relação com a matemática: uma análise a partir do COBENGE. **Educação Matemática Debate (EMD)**, Montes Claros, v. 1, n. 3, pp. 339–361, 2017.

GOMES, Francisco J.; BALDIOTI, Hugo R.; GAMA, Vinícius A.; QUEIROZ, Flávio P. Módulo laboratorial de baixo custo, baseado em FOSS, para educação em engenharia de controle de processos industriais. In: IX Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CLAGTEE), 2011, Mar del Plata, Argentina. **Anais**. Argentina, pp. 1–7.

GRAHAM, Ruth. **The global state of the art in engineering education**. Relatório técnico. School of Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, EUA, 2018. Disponível em: <https://www.rhgraham.org/resources/Global-state-of-the-art-in-engineering-education---March-2018.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.

GUSTAVSSON, Ingvar; ALVES, Gustavo R.; COSTA, Ricardo J.; NILSSON, Kristian; ZACKRISSON, Johan; HERNÁNDEZ-JAYO, Unai; GARCÍA-ZUBIA, Javier. The VISIR open lab platform 5.0: an architecture for a federation of remote laboratories. In: 8th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2011, Brasov, Romênia. **Anais**. Romênia, pp. 284–288.

KOIKE, Beth. **Cai quase pela metade a busca por cursos de engenharia**. Valor Econômico, 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2023/01/30/cai-quase-pela-metade-a-busca-por-cursos-de-engenharia.ghtml>. Acesso em: 16 mai. 2024.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Circuitos elétricos**. 10^a ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2016.

ORSINI, Luiz de Q.; CONSONNI, Denise. **Curso de circuitos elétricos – Volumes 1 e 2**. 2^a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2002.

PRESTES, Ethielle; RODRIGUES, Luciana M. Levantamento sobre a importância de aulas práticas para o ensino superior de engenharia. In: 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA (SIEPE), 2016, Bagé. **Anais**. Bagé, v. 8, n. 1.

REDAÇÃO 360. **Por que os alunos de engenharia desistem dos seus cursos?** Engenharia 360, 2022. Disponível em: <https://engenharia360.com/sobre-as-desistencias-nos-cursos-de-engenharia/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SEMESG. **Baixa qualificação nas engenharias pode impactar o crescimento do país.** Sindicato das Entidades Mantenedoras de Estabelecimentos de Educação Superior de Goiás (SEMESG), 2023. Disponível em: <https://www.semesg.org.br/eficiente/sites/semesg.org.br/pt-br/site.php?secao=noticias>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SILVA, Mariana M.; FIDALGO, André V.; MARQUES, Arcelina; ALVES, Gustavo R.; SALAH, Razwan M.; JACOB, Frederico L. A comprehensive VISIR bibliographical reference. In: 2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC), 2021, Madri, Espanha. **Anais**. Espanha, pp. 468–475.

VELHO, Léa Maria L. S.; COSTA, Janaina O. P. da; GOULART, Fernanda L. Gargalos na formação em engenharia no Brasil: uma perspectiva dos engenheiros. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 35, pp. 1–18, 2019.

DIDACTIC SIGNAL GENERATOR – PART II – USAGE

Abstract: *Courses in electrical circuits of undergraduate programmes in electrical engineering normally have theoretical classes. This traditional teaching method is not very popular among some students, and many of them have significant knowledge gaps when reaching higher education. Active methodologies and technological resources such as computer simulators are effective tools to mitigate the challenges faced by students in such programmes, but only to a certain extent, given that students become less and less “hands on” every day, either due to insufficient exposure to practice during the undergraduate programmes or due to lack of own initiative. On the other hand, engineering problems are challenging since they typically require, in addition to mastery of complicated physical and mathematical theories and computational tools, also a range of practical knowledge from other areas of knowledge, associated with the implementation of solutions first obtained with the help of softwares. This work presents some usage suggestions regarding a didactic, safe and low-cost signal generator, proposed to assist in the teaching/learning process of such undergraduate programmes. The signal generator was presented in a previous paper. It was designed to be used in classrooms, to enrich theoretical classes with demonstrations and practical experiments involving independent or uncontrolled voltage sources. It also allows one to explore some mathematical concepts fundamental to training in those undergraduate programmes.*

Keywords: *Arduino, Electrical circuits, Electrical engineering, Electronic circuits, Signal generator, Teaching/learning resources*

