



DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO DE FONTE DE ALIMENTAÇÃO MULTISSAÍDAS COM IMPRESSÃO 3D PARA APOIO AO ENSINO PRÁTICO DE LABORATÓRIOS EM ELETRÔNICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6164

Autores: ISABELY SAMARA SIMÃO DE MATOS, VINÍCIUS JOSÉ WANDERLEY VIEIRA, GABRIEL DE OLIVEIRA RAMALHO, HÉLDER ROLIM FLORENTINO, SUZETE ÉLIDA NÓBREGA CORREIA, LUCAS MEDEIROS CARNEIRO COSTA

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo original de fonte de alimentação didática de baixo custo para o ensino de Engenharia Elétrica. Este protótipo também se destaca por integrar uma estrutura impressa em 3D, permitindo fácil personalização e fabricação econômica do sistema, algo não encontrado em outros projetos. A fonte de alimentação oferece saída de +12 V fixa, -12 V fixa, tensão variável (1,25-12 V) e um gerador de onda quadrada ajustável (100 Hz a 6,5 kHz). As principais partes são: transformador com tap central, retificadores em ponte, capacitores para filtragem de ripple, reguladores de tensão (4 × LM7812, LM7912, LM7805, LM317) e o oscilador LM555 em modo astável.

Palavras-chave: Fonte de alimentação de baixo custo, Impressão 3D, Educação em Engenharia Elétrica

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO DE FONTE DE ALIMENTAÇÃO MULTISSAÍDAS COM IMPRESSÃO 3D PARA APOIO AO ENSINO PRÁTICO DE LABORATÓRIOS EM ELETRÔNICA

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a educação em Engenharia tem sido impactada pelas constantes inovações tecnológicas e pela necessidade de alinhar os conteúdos teóricos com experiências práticas significativas. Alguns estudos (BRIDI *et al.*, 2013; DELGADO; TREJO, 2010) apontam que a aprendizagem efetiva ocorre quando os estudantes têm a oportunidade de aplicar os conceitos vistos em sala de aula em situações reais, especialmente em disciplinas como a eletrônica, onde os processos elétricos ganham vida através de experimentos laboratoriais.

Contudo, a junção entre teoria e prática enfrenta barreiras, especialmente em instituições onde os recursos financeiros são limitados. Segundo Quintino *et al.* (2017), o elevado custo dos equipamentos didáticos, muitas vezes oriundos de fontes de alimentação de bancada comerciais, restringe o acesso dos alunos a práticas experimentais, comprometendo, portanto, a consolidação do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades técnicas necessárias para a formação profissional.

Em laboratórios de eletrônica, a fonte de alimentação de bancada desempenha um papel crucial, pois possibilita a conversão da tensão alternada (CA) proveniente da rede elétrica para diferentes níveis de tensão contínua (CC), essenciais para o funcionamento de protótipos e experimentos. No entanto, fontes de alimentação que oferecem múltiplas saídas — especialmente aquelas capazes de fornecer tensões simétricas e ajustáveis — requerem circuitos internos complexos e componentes de alta precisão, o que resulta em um aumento considerável no custo do equipamento (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013). Esse fator restringe não apenas a quantidade de unidades disponíveis, mas também limita a possibilidade de utilização simultânea por um número maior de alunos, o que pode comprometer o desenvolvimento das atividades práticas e a aprendizagem.

Diante desse contexto, torna-se urgente buscar alternativas que aliem a necessidade de práticas experimentais de boa qualidade com a realidade orçamentária das instituições de ensino. Neste sentido, esta proposta visa a construção de uma fonte de alimentação de bancada didática e de múltiplas saídas de fácil reprodução, com o foco de auxiliar na aprendizagem e formação dos estudantes de Engenharia Elétrica.

Segundo Silva *et al.* (2021), projetos que utilizam tecnologias acessíveis, como a impressão 3D, contribuem não apenas para a redução de custos, mas também estimulam a interdisciplinaridade e a inovação pedagógica nos cursos de engenharia. A utilização de metodologias é recomendada por autores como Moran (2015), em que defende o envolvimento de estudantes em atividades práticas e da resolução de problemas reais, potencializa a aprendizagem e desenvolve competências importantes para autonomia, criatividade e trabalho em equipe.

Nesse sentido, a impressão 3D tem se consolidado como uma alternativa de solução educacional personalizada. De acordo com Souza e Ferreira (2020), sua aplicação no contexto da educação permite a produção rápida de protótipos, e adequação a diferentes tipos de necessidades pedagógicas e a redução de custos operacionais, favorecendo a sustentabilidade de projetos educacionais em instituições públicas.

Uma vez notados os benefícios proporcionados pela impressão 3D no âmbito educacional, torna-se evidente a importância de destinar os investimentos a esse tipo de tecnologia

por parte das instituições públicas de ensino superior. As faculdades federais podem se beneficiar significativamente ao implementar impressoras 3D nos laboratórios, tornando viável a reprodução de dispositivos didáticos personalizados, os quais poderão ser utilizados para o desenvolvimento de projetos nas mais diversas áreas englobadas pela Engenharia.

Sendo assim, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de fonte de alimentação que integra saídas fixas e ajustáveis, oferecendo tensões positivas e negativas, além de incorporar um gerador de sinal quadrado simples. Essa abordagem visa uma aplicação pedagógica inclusiva, proporcionando aos estudantes a oportunidade de interagir diretamente com processos práticos essenciais no estudo da eletrônica e disciplinas correlatas abordadas durante o curso Engenharia Elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fontes de alimentação

Uma fonte de alimentação de bancada é responsável pelo fornecimento de energia elétrica a um circuito elétrico de modo seguro e eficaz. São diversos os modelos de fonte de bancada encontrados, inclusive, com diversos valores, pois quanto mais funcionalidades ou níveis de saída a fonte possuir, mais robusta e valiosa ela se torna. Outrossim, a escolha de uma fonte linear se dá a partir das suas especificações, visto que a preferência por uma construção mais completa e com menor emissão de ruído as torna ideais para alimentar circuitos analógicos sensíveis (KEYSIGHT TECHNOLOGIES, 2021).

Isso torna a fonte linear especialmente adequada ao ambiente educacional, pois permite que os estudantes visualizem cada etapa do processo de conversão de energia elétrica presente no desenvolvimento desse tipo de projeto (TEKTRONIX, 2023).

O funcionamento básico de uma fonte de alimentação ocorre inicialmente com um transformador que reduz a tensão da rede elétrica para um nível de interesse. Em seguida, essa tensão é convertida de alternada (CA) para contínua (CC) através de uma ponte retificadora completa em conjunto a capacitores de filtro de *ripple* (ondulação), suavizando o sinal DC resultante. Por fim, um regulador de tensão linear estabiliza o valor de tensão, garantindo uma tensão constante mesmo com variações de carga (DIRECT INDUSTRY, 2022; UFRN, 2020).

Na Figura 1 são mostradas as principais etapas de funcionamento de uma fonte de alimentação linear.

Figura 1 – Diagrama de blocos dos estágios de uma fonte de alimentação linear.



Fonte: Elaboração própria (2025).

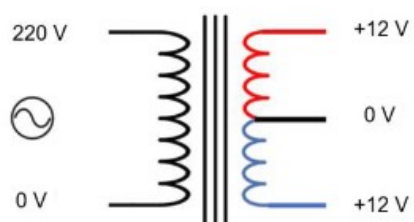
2.2 Transformador

O funcionamento do transformador baseia-se no princípio da indução eletromagnética, conforme descrito pelas leis de Faraday e Lenz. Quando uma corrente alternada percorre o enrolamento primário, gera um campo magnético variável que induz uma tensão no enrolamento secundário, proporcional à razão entre o número de espiras dos enrolamentos (UMANS, 2014). Além disso, ele também proporciona um isolamento galvânico entre entrada e saída do circuito, dando mais segurança aos usuários e dispositivos conectados (JORDÃO, 2002).

A utilização de transformadores em fontes lineares oferece aos estudantes uma compreensão prática e visual dos conceitos de transformação de energia, facilitando a fundamentação da eletrônica de potência (IFSC, 2009). Integrando os transformadores em *kits* pedagógicos, cria-se um ambiente que será possível estimular uma reflexão maior sobre os conceitos do projeto de sistemas elétricos.

Tendo em vista isso, no projeto desenvolvido optou-se por um transformador com derivação (*tap*) central no secundário, para que seja possível obter tensões simétricas positivas e negativas em relação a esse ponto, que funciona como a referência (ou terra) do circuito, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Representação de um transformador com *tap* central.



Fonte: Elaboração própria (2025).

2.3 Retificação e filtragem

Os retificadores são componentes eletrônicos essenciais para a conversão de tensão alternada (CA) em tensão contínua (CC), sendo amplamente utilizados nas fontes lineares de bancada. Esses dispositivos são formados por um ou mais diodos, os quais permitem a condução da corrente elétrica em apenas um sentido, resultando em um sinal retificado. Os retificadores mais comuns são classificados em retificadores de meia-onda e retificadores de onda completa. O retificador de meia-onda aproveita apenas um semiciclo da onda alternada, gerando uma forma de onda com grandes oscilações e baixa eficiência. Em contrapartida, o retificador de onda completa utiliza ambos os semiciclos da tensão alternada, produzindo uma saída contínua mais uniforme e eficiente para alimentar circuitos eletrônicos sensíveis (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

No desenvolvimento desta fonte, foi utilizado o retificador de onda completa com configuração em ponte, também conhecido como ponte retificadora, composta por quatro diodos dispostos estrategicamente para garantir que tanto o semiciclo positivo quanto o negativo da tensão CA sejam aproveitados, fornecendo uma tensão de saída sempre positiva. Tal configuração é amplamente adotada em fontes lineares devido à maior eficiência e à baixa ondulação da tensão fornecida após filtragem (MALVINO; BATES, 2019).

Entretanto, após a etapa de retificação, a tensão contínua obtida ainda apresenta variações significativas denominadas de ondulações ou *ripple*. Para minimizar essas oscilações e garantir uma tensão contínua mais estável e uniforme, são utilizados capacitores eletrolíticos em paralelo com a ponte, desempenhando, portanto, a função de filtro. Esses capacitores armazenam energia durante os picos da tensão retificada, liberando-a durante os intervalos de baixa tensão e reduzindo assim o *ripple* da saída (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013). A eficiência da filtragem depende diretamente da capacitância escolhida: quanto maior a capacitância do capacitor utilizado, menor será a ondulação residual e mais próximo do ideal será o comportamento da fonte (MALVINO; BATES, 2019).

2.4 Regulador de tensão

Após passar pela etapa de filtragem pelos capacitores, a tensão obtida ainda apresenta pequenas oscilações que poderiam comprometer o desempenho dos circuitos eletrônicos. Nesse sentido, os reguladores de tensão assumem papel fundamental, em que asseguram

uma tensão constante na saída, além de compensarem automaticamente variações na tensão de entrada ou nas demandas de corrente por parte da carga, proporcionando segurança e estabilidade (REIS *et al.*, 2011).

No protótipo deste trabalho foram escolhidos reguladores integrados bastante conhecidos e acessíveis, tais como os circuitos LM7812, LM7912 e LM7805, que garantem saídas fixas e estáveis de +12V, -12V e +5V, respectivamente. Além disso, foi utilizado também o LM317, que permite ao estudante ajustar a tensão de saída de forma simples, por meio de um potenciômetro externo, agregando flexibilidade às práticas de laboratório e oferecendo uma experiência didática mais interativa e dinâmica (TEXAS INSTRUMENTS, 2024; UNISONIC TECHNOLOGIES, 2024; ON SEMICONDUCTOR, 2024).

2.5 Gerador de sinal onda quadrada

Além das tensões estabilizadas, o projeto contempla um recurso adicional importante para o ambiente didático: um gerador de sinais de onda quadrada. Este circuito foi desenvolvido utilizando temporizador LM555, configurado no modo astável, o que permite gerar continuamente sinais com frequências ajustáveis. O valor da frequência é facilmente regulado por meio de um potenciômetro externo, permitindo aos estudantes ajustar os sinais produzidos para frequências entre 100 Hz e 6,5 kHz. Essa função adicional permite que a fonte ganhe versatilidade pedagógica, podendo ser utilizada em diversificadas aplicações práticas, tais como análises de comportamento de circuitos, testes de componentes eletrônicos e simulação de sinais em experimentos didáticos, enriquecendo o processo de aprendizagem em laboratório (TEXAS INSTRUMENTS, 2024).

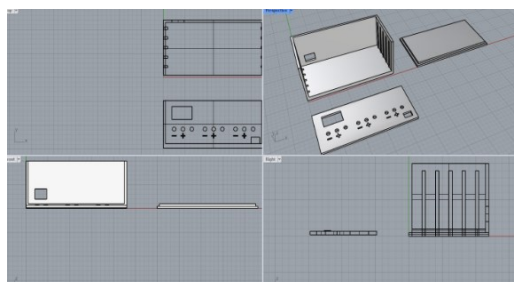
2.6 Prototipagem 3D

Na modelagem tridimensional do gabinete da fonte de alimentação proposta, utilizou-se o *software Rhinoceros 3D* (Rhino 3D), uma ferramenta de desenho assistido por computador (CAD) amplamente empregada em áreas como arquitetura, engenharia e design industrial. Sua interface intuitiva e a precisão no desenvolvimento de modelos tridimensionais detalhados (SCULPTEO, s.d.).

A prototipagem rápida por meio de impressão 3D oferece uma solução eficiente e econômica para a criação de estruturas personalizadas em projetos acadêmicos, permitindo aos estudantes visualizar e testar fisicamente os conceitos projetados digitalmente antes da fabricação definitiva (VOLPATO, 2017). Além disso, a flexibilidade da impressão 3D possibilita ajustes rápidos nos modelos projetados, o que é especialmente benéfico em ambientes acadêmicos, onde o aprendizado é facilitado pela experimentação prática e pelo aperfeiçoamento contínuo dos projetos desenvolvidos (CHUA *et al.*, 2017).

Com isso, foi possível modelar integralmente a estrutura externa da fonte de alimentação, adaptando-a especificamente para acomodar os componentes eletrônicos utilizados, garantindo funcionalidade, segurança e estética apropriada para utilização em laboratórios didáticos, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura da fonte 3D.

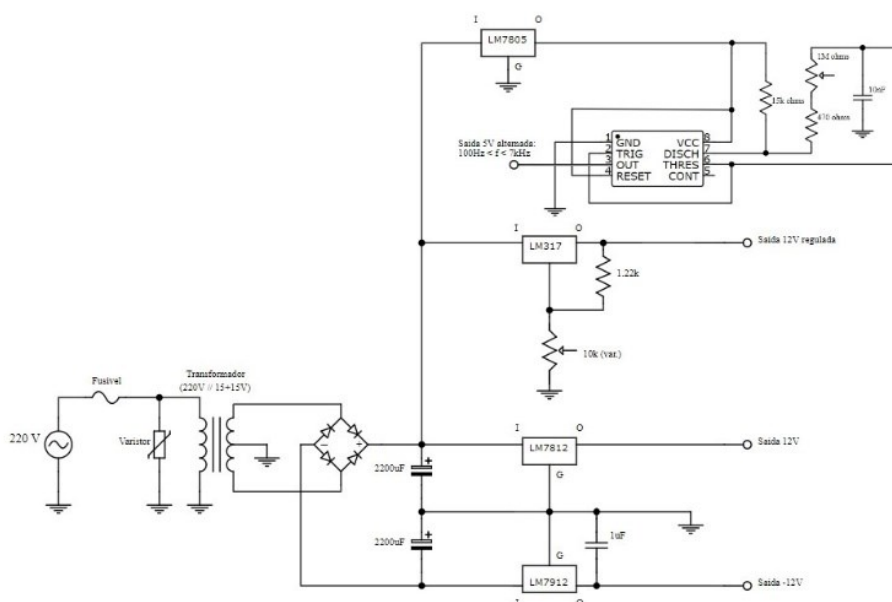


Fonte: Elaboração própria (2025).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 4 é apresentado o diagrama esquemático completo do circuito desenvolvido para a fonte de alimentação. O modelo utiliza inicialmente um transformador de (220 V/ 15+15 V, 1A) com *tap central*, responsável por reduzir a tensão alternada da rede de 220 V para 15 V, adequando-a para a reprodução dos estágios seguintes. Após isso, foi implementada uma ponte retificadora, responsável por converter a tensão de saída alternada (CA) do transformador em uma tensão contínua pulsante (CC), junto a ponte utilizou dois capacitores de 2200 μ F para redução da ondulação residual (*ripple*), garantindo uma margem CC com ótima estabilidade para alimentar os reguladores de tensão. O primeiro regulador, o LM7805, foi utilizado para alimentação do circuito do LM555 que fornece uma saída de onda quadrada de frequência entre 100 Hz e 6,5 kHz. O segundo regulador, o LM317, foi utilizado para fornecer uma tensão com saída variável entre 1,25 V a 12,3 V. Os dois últimos reguladores LM7812 e LM7912 foram utilizados para fornecer saídas fixas de +12 V e -12 V, respectivamente.

Figura 4 – Diagrama elétrico da fonte multissaídas.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A tensão de fornecimento real (V_f) para os circuitos foi calculada com base na tensão RMS do transformador, utilizando a Equação (1).

$$V_f = V_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

Com $V_{rms} = 15$ V aplicados, obteve-se uma tensão de pico de aproximadamente de 21,21 V. A partir desse valor foi possível calcular os valores dos componentes a jusante do transformador.

Os capacitores de filtragem de *ripple* são calculados conforme a Equação (2):

$$C_r = \frac{I_{carga}}{V_{ond} \cdot 2 \cdot f} \quad (2)$$

sendo C_r a capacitância calculada, I_{carga} a corrente nominal do transformador, V_{ond} a tensão de ondulação calculada a seguir, e a frequência da rede elétrica (60 Hz).

A tensão de ondulação é dada pela Equação (3):

$$V_{ond} = V_f - 2 \cdot V_d - V_{reg} \Rightarrow V_{ond} = 21,21 - 1,4 - 14,5 \Rightarrow V_{ond} = 5,31 \text{ V} \quad (3)$$

em que V_d é o valor considerado da queda de tensão de dois diodos (1,4 V) e V_{reg} é a tensão de funcionamento dos reguladores (14,5 V).

Com isso, chega-se na Equação (4), em que se obteve o valor dos capacitores de filtro de *ripple*:

$$C_r = \frac{I_{carga}}{V_{ond} \cdot 2 \cdot f} \Rightarrow C = \frac{1}{5,31 \cdot 2 \cdot 60} \Rightarrow C \approx 1.569 \mu\text{F} \quad (4)$$

Para manter uma margem de segurança e praticidade de aquisição comercial, foram utilizados dois capacitores de 2.200 μF , em cada trilho.

O CI LM7812 foi utilizado para fornecer +12 V regulados, seguindo o circuito padrão proposto em seu *datasheet*. Já o LM7912 forneceu os -12 V regulados, seguindo também o padrão do seu circuito adequado pelo fabricante. Para a saída variável, foi empregado o CI LM317, cujo dimensionamento baseou-se na Equação (5):

$$V_{out} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj} \cdot R_2 \quad (5)$$

O circuito oscilador baseado no CI LM555 foi implementado no modo estável, com o objetivo de gerar uma onda quadrada contínua, cuja frequência pode ser ajustada entre aproximadamente 100 Hz e 6,5 kHz. Essa saída oscilante é útil para testes e aplicações que requerem sinais periódicos de controle. Para alimentar o LM555 com uma tensão estável de 5 V, foi utilizado o regulador de tensão LM7805, que recebe a tensão contínua filtrada da fonte principal. Essa configuração garante que o oscilador opere de forma consistente, independentemente das variações nas outras saídas da fonte.

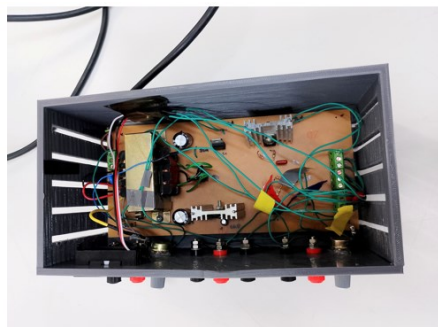
A frequência de oscilação em modo estável, foi obtida a partir da Equação (6):

$$f = \frac{1,44}{(R_3 + 2 \cdot (R_4 + R_x)) \cdot C} \quad (6)$$

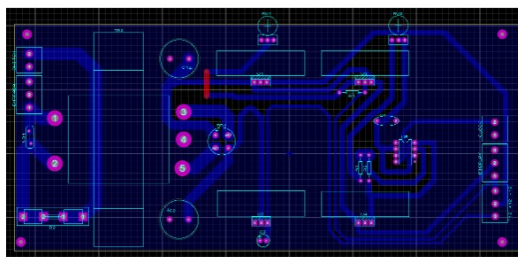
Para obter a faixa de operação de frequência desejada, foram utilizados componentes, identificados por R_3 , R_4 , R_x e C , que permitem um ajuste da frequência do sinal de saída, dada a variação da resistência R_4 , representada por um potenciômetro. Quando R_4 está no valor máximo, a frequência de oscilação atinge aproximadamente 100 Hz. Já para R_4 no valor mínimo, a frequência chega a 6,5 kHz.

A Figura 5(a) mostra os componentes e as conexões internas do protótipo, em que foram montados a partir do uso de uma placa de circuito impresso (PCB), cujo esquema é visto na Figura 5(b).

Figura 5 – (a) Interior da fonte de tensão na caixa. (b) Design da PCB montado.



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 6 ilustra o protótipo finalizado e com diferentes perspectivas.

Figura 6 – (a) Vista diagonal da fonte. (b) Vista lateral da fonte.



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 1 são apresentados os materiais utilizados e seus respectivos valores para a construção da fonte.

Tabela 1 – Custos e quantidade de materiais utilizados.

Descrição	Quantidade	Custo (R\$)
Borne banana	7	2,10
Cabo de força	2	Reciclado
Capacitor de poliéster 10 nF / 250 V	1	Reciclado
Capacitor eletrolítico 1 μ F / 50 V	1	Reciclado
Capacitor eletrolítico 2200 μ F / 25 V	2	Reciclado
CI NE555	1	Reciclado
Dissipador de calor	3	Reciclado
Display	1	25,00
Fusível 250 mA	1	3,00
Knobe	2	Reciclado
Potenciômetro 10 k Ω	1	Reciclado
Potenciômetro 1 M Ω	1	Reciclado
Ponte retificadora	1	Reciclado
Regulador de tensão ajustável LM317	1	Reciclado
Regulador de tensão LM7805	1	Reciclado
Regulador de tensão LM7812	1	5,00
Regulador de tensão LM7912	1	5,00
Resistor 470 Ω 1/4 W	1	Reciclado

Tabela 1 – Custos e quantidade de materiais utilizados (continuação).

Descrição	Quantidade	Custo (R\$)
Resistor 1,2 kΩ 1/4 W	1	Reciclado
Resistor 15 kΩ 1/4 W	1	Reciclado
Transformador 220/15 V 1 A	1	60,00
Varistor 250 V	1	0,40
Valor total		113,45

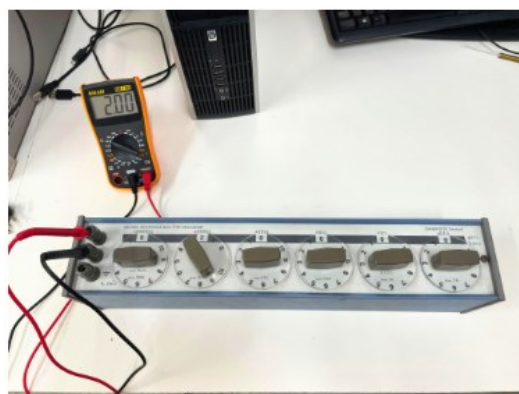
Fonte: Elaboração própria (2025).

O principal objetivo relacionado ao fornecimento de energia a partir de uma fonte de alimentação é qualificar, além de quantificar, a quantidade de potência a ser injetada por essa fonte. O cálculo da potência é realizado com base na carga conectada entre os terminais de saída da fonte e no valor de tensão de saída ou a partir da corrente de saída. A medição de corrente pode ser feita com um multímetro simples conectado em série ao circuito. A potência, então, pode ser determinada conforme a Equação (7):

$$P = R \cdot i^2 \quad (7)$$

Foi utilizada uma década resistiva para fins de representação da carga que demandará potência à fonte (Figura 7). A grande vantagem de fazer uso de uma década resistiva é que ela consegue suportar valores de corrente maiores que apenas fazendo uso de resistores comuns, significando que podemos perceber a potência disponibilizada sem afetar a carga conectada, além de serem muito precisas quanto à representação da resistência equivalente entre os seus terminais de saída.

Figura 7 – Década resistiva utilizada para testes.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Foram admitidos diferentes valores de resistência, com o fim de se determinar o quanto de corrente está sendo fornecida pela fonte de alimentação construída. Os valores de resistência para teste seguem sendo: 2 kΩ, 1 kΩ, 800 Ω, 500 Ω, 300 Ω, 200 Ω, 150 Ω, 100 Ω, 80 Ω e 60 Ω. Assim, quanto menor for o valor de resistência, maior será a corrente fornecida e maior será a potência dissipada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados testes com objetivo de determinar se a fonte construída consegue suportar a potência requisitada pela carga conectada. Em particular, os testes foram realizados com resistores de valores variados, representando diferentes tipos de cargas resistivas

(60 Ω a 2000 Ω). O resultado das medições é mostrado pela Tabela 2. Além disso, em paralelo aos testes com a década resistiva, foi realizada a medição da forma de onda da saída do gerador de sinal quadrado, cujos resultados são observados pelas Figuras 8(a) e 8(b).

Tabela 1 – Tabela com resultados obtidos por teste de bancada.

Resistência	Corrente estimada	Saída 12 V	Saída -12 V	Saída ~ 12 V
2000 Ω	6 mA	11,98 V	-11,98 V	12,33 e 1,53 V
1000 Ω	12 mA	11,98 V	-11,98 V	12,33 e 1,52 V
800 Ω	15 mA	11,98 V	-11,98 V	12,32 e 1,52 V
500 Ω	24 mA	11,98 V	-11,98 V	12,31 e 1,51 V
300 Ω	40 mA	11,98 V	-11,97 V	12,31 e 1,51 V
200 Ω	60 mA	11,98 V	-11,97 V	12,31 e 1,51 V
150 Ω	80 mA	11,98 V	-11,96 V	12,3 e 1,50 V
100 Ω	120 mA	11,98 V	-11,96 V	12,3 e 1,50 V
80 Ω	150 mA	11,98 V	-11,96 V	12,29 e 1,49 V
60 Ω	200 mA	11,98 V	-11,96 V	12,28 e 1,48 V

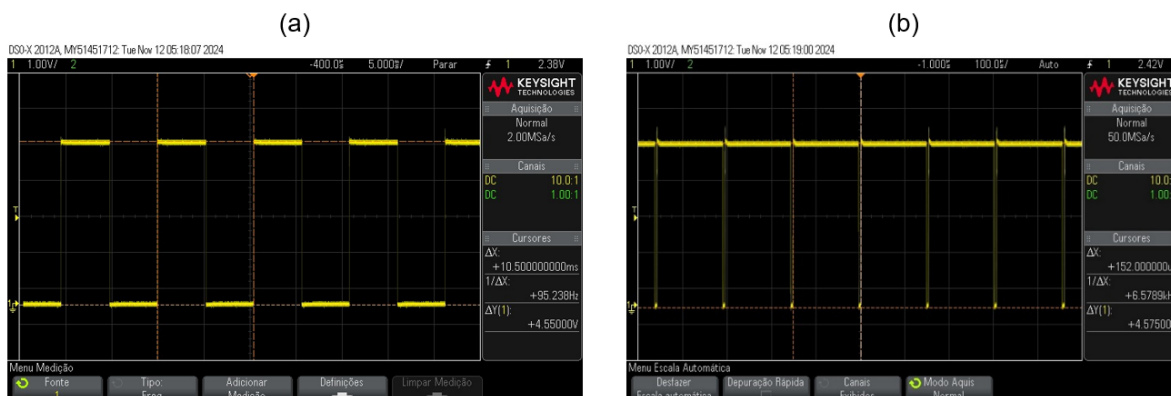
Fonte: Elaboração própria (2025).

As saídas de +12 V e -12 V mostraram-se estáveis, mantendo-se em torno de 11,97–11,98 V mesmo quando passamos de um resistor de 2 k Ω para um de apenas 200 Ω . Na prática, a corrente variou de cerca de 6 mA para 60 mA, mas a tensão praticamente não oscilou — e tudo isso sem sinais de superaquecimento ou instabilidade. Esse comportamento reforça como o regulador faz seu trabalho com precisão, garantindo uma alimentação consistente independentemente da carga.

Na saída variável, que ajustamos de 1,25 V a 12 V girando o potenciômetro, o protótipo respondeu a cada mudança, com pequenas flutuações que permanecem dentro dos limites esperados. Mesmo quando aplicamos cargas abaixo de 60 Ω — situação em que a corrente aumenta consideravelmente — a tensão se manteve constante, mostrando que o circuito lida bem com demandas mais altas sem perder estabilidade nas saídas disponíveis.

Por fim, no teste do gerador de onda quadrada, vimos que a frequência mínima, com o potenciômetro na resistência máxima, ficou em cerca de 95,2 Hz (Figura 8(a)), com amplitude pico a pico em torno de 4,55 V e transições bem definidas. Ao reduzir a resistência ao mínimo, atingimos aproximadamente 6,58 kHz (Figura 8(b)), mantendo a forma de onda intacta. Nota-se, porém, que o *duty cycle* aumenta em frequências mais altas — um efeito natural da carga e descarga do capacitor — mas que não compromete a qualidade do sinal.

Figura 8 – (a) Medição para frequência mínima. (b) Medição para frequência máxima.



Fonte: Elaboração própria (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de protótipo didático de uma de alimentação com múltiplas saídas, com o objetivo de fornecer uma ferramenta acessível e eficaz para práticas laboratoriais. A implementação do projeto envolveu o uso de um transformador com *tap* central para redução da tensão elétrica da rede, seguido por uma ponte retificadora e capacitores de filtragem para manter uma estabilidade na tensão. Por fim, utilizou -se reguladores de tensão para fornecer as saídas fixas de +12 V, -12 V, +5 V e uma saída variável ajustável de 1,25 V a 12 V.

Além disso, houve a integração de um circuito oscilador, utilizando o CI LM555, para geração de sinais de onda quadrada com frequência ajustável de 100 Hz a 6,5 kHz.

Os testes realizados demonstraram que a fonte manteve a estabilidade em suas tensões de saída mesmo sob uma variação de carga, evidenciando a eficácia dos reguladores, outro teste realizado foi em relação ao LM555 em relação a sua frequência, foi evidenciado que, à medida que a frequência aumentava, o *duty cycle* do sinal também aumentava, resultando em pulsos mais longos em nível alto e mais curtos em nível baixo.

A construção do protótipo envolveu conhecimentos interdisciplinares, abrangendo conceitos de eletrônica, circuitos elétricos e instrumentação, proporcionando aos discentes uma experiência prática enriquecedora. O baixo custo dos componentes utilizados torna o projeto viável para implementação em ambientes educacionais com recursos limitados.

Como perspectivas para aprimoramentos futuros do protótipo, são mostradas as seguintes sugestões:

- I. Integração de um amperímetro digital para medição da corrente de saída;
- II. Implementação de um gerador de funções com as formas de onda senoidal e triangular;
- III. Uso de dissipadores, visando aplicação sob cargas elevadas; e
- IV. Instalação de um *cooler* (ventoinha), de modo a aumentar a durabilidade e a confiabilidade do protótipo durante as práticas com uso longo do protótipo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, do Campus João Pessoa, e ao PETEE-IFPB (Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba), pelo apoio técnico e financeiro.

REFÊRENCIAS

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. ed. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2013.

BRIDI, E. *et al.* Oficina de Arduino como ferramenta interdisciplinar no curso de Engenharia Elétrica da UFMT: a experiência do PET-Elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA – COBENGE, 41., 2013, Gramado. **Anais**. Gramado: ABENGE, 2013.

CHUA, C. K.; LEONG, K. F.; LIM, C. S. **Impressão 3D e manufatura aditiva: princípios e aplicações**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2017.

DELGADO, C. D. U.; TREJO, E. D. R. **Educational experiments in power electronics and control theory: DC switched power supplies**. International Journal of Electrical Engineering Education, v. 47, n. 4, p. 430–447, 2010.

DIRECT INDUSTRY. **How to choose a benchtop power supply.** Disponível em: <https://guide.directindustry.com/choosing-the-right-benchtop-power-supply/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina. **Transformadores elétricos.** Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/4/47/Aru-2009-A1_-_traformadores.pdf. Acesso em: 18 abr. 2025.

JORDÃO, R. G. **Transformadores.** São Paulo: Blucher, 2002.

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. **DC power supply basics.** Disponível em: <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-02637/application-notes/5991-7971.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletrônica.** 8. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill Education, 2019.

MORAN, J. M. **Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda.** Campinas: Papirus, 2015.

ON SEMICONDUCTOR. **LM317 adjustable output, positive voltage regulator.** Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/611120/ONSEMI/LM317.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

QUINTINO, L. R. *et al.* Kit didático de baixo custo para práticas interdisciplinares em cursos de Engenharia Eletrônica. **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 34, p. 124–130, 2017.

REIS, A. P. *et al.* **Circuitos eletrônicos: princípios e aplicações.** São Paulo: Pearson, 2011.

SCULPTEO. **Rhinoceros – Definition.** Disponível em: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/rhinoceros-definition/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SILVA, J.; PEREIRA, A.; OLIVEIRA, C. Desenvolvimento de recursos didáticos de baixo custo para o ensino de engenharia. **Revista Brasileira de Educação em Engenharia**, v. 37, n. 2, p. 123–135, 2021.

SOUZA, D. G.; FERREIRA, R. M. A impressão 3D como alternativa para personalização de soluções educacionais em instituições públicas. **Revista Brasileira de Tecnologias Aplicadas**, v. 9, n. 3, p. 45–54, 2020.

TEKTRONIX. **Power supply fundamentals.** Disponível em: <https://www.tek.com/en/learning/primer/power-supply-fundamentals>. Acesso em: 18 abr. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM555 timer.** Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/791941/TI1/LM555.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM7805 fixed voltage regulator.** Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM7812 fixed voltage regulator.** Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/838008/TI1/LM7812.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Material didático – fontes de alimentação.** Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/disciplina/electronica1/fontes-alimentacao.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley.** 7. ed., Porto Alegre: AMGH, 2014.

UNISONIC TECHNOLOGIES. **LM7912 negative voltage regulator.** Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/33411/UTC/LM7912.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2017.

DEVELOPMENT OF A 3D-PRINTED MULTI-OUTPUT POWER SUPPLY EDUCATIONAL KIT TO SUPPORT PRATICAL ELECTRONICS LABORATORY INSTRUCTION

Abstract: *This paper exposes the development of an original low-cost didactic laboratory power supply prototype for Electrical Engineering education. This prototype also stands alone in terms of its integration of a 3D printed enclosure, allowing for ease of customization and cost-effective system fabrication not seen in other designs. The power supply provides both a fixed +12 V, a fixed -12 V, a variable (1.25-12 V), and an adjustable square wave generator (100 Hz to 6.5 kHz) output. Main parts are: center-tapped transformer, bridge rectifiers, capacitors for ripple filtering, voltage regulators 4 x LM7812, LM7912, LM7805, LM317 and LM555 oscilator in astable mode.*

Keywords: *Low-cost power supply; 3D printing; Electrical Engineering education.*

