

**PROJETO, MONTAGEM E TESTES DE UMA CARGA  
ELETRÔNICA ATIVA PARA TESTES DE EQUIPAMENTOS DE  
CONVERSORES CHAVEADOS DE POTÊNCIA**

Leandro José Rocha

Rafael Oliveira

Leandro Sousa Vilefort

Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Modalidade: Pesquisa

Formato: Artigo Completo

**Resumo:**

Este trabalho detalha o desenvolvimento de um protótipo de carga eletrônica ativa para testes de conversores chaveados de potência. O circuito é baseado em um amplificador operacional (AO) configurado como fonte de corrente controlada por tensão, utilizando um MOSFET na malha de realimentação. Com uma faixa de controle de corrente de 0 a 10 A, a corrente drenada do equipamento de teste é mantida constante, independentemente das variações na tensão de entrada, desde que estejam dentro dos limites operacionais estabelecidos. O conversor proposto será utilizado para validar o desempenho e a estabilidade dos conversores em diferentes condições de operação, permitindo traçar curvas de desempenho e eficiência. Durante o desenvolvimento, foram realizadas simulações e experimentos, cujos resultados demonstraram a linearidade entre a tensão de controle e a corrente na carga. O circuito esquemático e o roteamento da placa serão apresentados, assim como as limitações do projeto, incluindo a dissipação térmica e a necessidade de ventilação forçada para aumentar os limites de operação. Discussões sobre possíveis melhorias e aplicações futuras também serão abordadas. Este estudo contribui para a compreensão e aprimoramento de cargas eletrônicas ativas, oferecendo uma alternativa às cargas passivas tradicionais, que apresentam desvantagens em termos de espaço e possibilidades de controle.

**Palavras-chave:** Carga ativa; fonte de corrente; controle de corrente; conversores CC-CC.

## **1 – INTRODUÇÃO**

Nos processos de desenvolvimento e fabricação de conversores eletrônicos de potência, são realizados longos testes para obter resultados experimentais em diferentes condições de operação, visando validar desempenho, estabilidade e traçar curvas de operação e eficiência. Além disso, também são realizados testes operando sob condições nominais por várias horas ou dias, com o intuito de detectar falhas prematuras, conhecidos como testes de *Burn-in*. Para simular essas condições de carga, geralmente são utilizadas

cargas dissipativas, como bancos de resistores. Essas cargas ocupam um grande espaço físico e geram bastante calor, especialmente quando a potência total dos equipamentos em teste é mais elevada.

No entanto, ao variar linearmente o valor da resistência de carga, mantida tensão de saída constante, a corrente e a potência na carga apresentam variações não lineares. Para contornar essa questão, o uso de cargas ativas surge como uma alternativa viável, uma vez que, ao ajustar a corrente de forma linear, a potência na carga também varia linearmente, facilitando a coleta de dados para o traçado de curvas de operação do conversor.

Carga Eletrônica Ativa (CEA) é um equipamento eletrônico capaz de se comportar de forma equivalente a uma carga passiva, em termos de amplitude, formato e defasagem da corrente drenada do equipamento que está sob ensaio. O termo “ativo” significa que possui um sistema de controle que o permite emular tal condição de carga, em regime permanente (HEERDT, 2013).

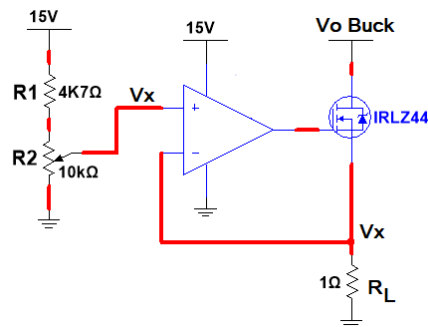
As CEAs podem ser encontradas na literatura com uma grande variedade de nomeações, tais como: Carga Eletrônica Ativa (*Active Electronic Load*) (SHE et al., 2008), (RAO; CHANDORKAR, 2008); Carga Ativa de Potência (*Active Power Load*); Carga Programável (*Programmable Load*) (NH RESEARCH, 2010); Simulador de Carga (*Load Simulator, Active Load Simulator*) (GUAN-CHYUN; JUNG-CHIEN, 1993); Emulador de Carga (*Load Emulator*); Reciclador de Energia (*Energy Recycler*) (TSAI, 2000) (MING-TSUNG; TSAI, 2000); Reciclador de Potência (*Power Recycler, Power Recycling*); Carga Regenerativa (*Regenerative Load*) (JU-WON et al., 2007); Resistor sem Perdas (*Loss-Free Resistor*) (VAZQUEZ et al., 1998); Carga Dinâmica (*Dynamic Load*) e Simulador Eletrônico Dinâmico de Carga (*Dynamic Electronic Load Simulator*) (MENG-YUEH et al., 1997).

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a análise de uma carga eletrônica ativa não regenerativa, baseada em um circuito de fonte de corrente contínua controlada por tensão. O circuito proposto utiliza um potenciômetro, um amplificador operacional e um MOSFET, além de componentes passivos, como resistores e capacitores. Excursionando-se o potenciômetro, a corrente que é drenada do equipamento em teste é controlada e mantém-se constante mesmo quando a tensão de saída do equipamento em teste é alterada.

No circuito será empregado um amplificador operacional (AO) configurado como fonte de corrente controlada por tensão. O controle de tensão é ajustado por um divisor

de tensão com potenciômetro, conectado à entrada não inversora do AO. Além disso, o MOSFET é inserido na malha de realimentação negativa do AO, de modo a equilibrar a diferença de potencial entre a tensão de saída do conversor de potência e a resistência de carga. Dessa forma, a resistência de carga passa a replicar a diferença de potencial elétrico do divisor de tensão, garantindo que a corrente na carga siga a tensão na entrada não inversora do AO. A Figura 1 ilustra o circuito esquemático do conversor proposto.

**Figura 1 – Circuito proposto.**



*Fonte: Autoria própria.*

Além de validar a eficiência do circuito, este estudo aborda as limitações da carga ativa, como a dissipação térmica em correntes mais altas, sugere possíveis melhorias para otimizar seu desempenho e demonstra a aplicação dessa ferramenta no projeto e teste de conversores CC-CC e outras fontes de tensão contínua, que é o foco principal do projeto.

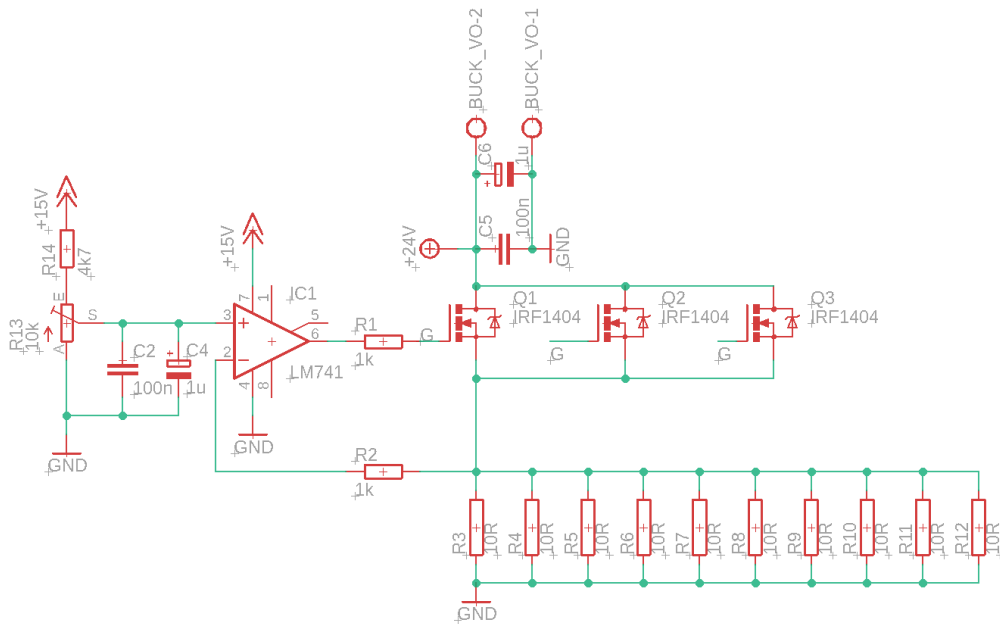
## 2 – DESENVOLVIMENTO

A Figura 2 ilustra o circuito esquemático implementado no Eagle CadSoft®.

O circuito apresentando necessita de uma alimentação de 15 Vcc aplicada no resistor R14 para funcionar, que pode ser fornecida por uma fonte de bancada. Também é possível estabelecer essa tensão a partir da própria fonte de tensão contínua em teste ao implementar um regulador shunt com diodos Zener, grampeando a tensão que chega ao potenciômetro. O ponto de alimentação de 24Vcc é o ponto onde se conecta o equipamento eletrônico em teste. Será possível variar a corrente drenada desse equipamento sem alterar a tensão que ele fornece, para diferentes níveis de tensões aplicadas nesse ponto.

A carga do circuito é composta pelas dez resistências em paralelo (R3 a. R12 = Ro) que estão conectadas ao GND.

**Figura 2 – Esquemático do circuito proposto.**



*Fonte: Autoria própria.*

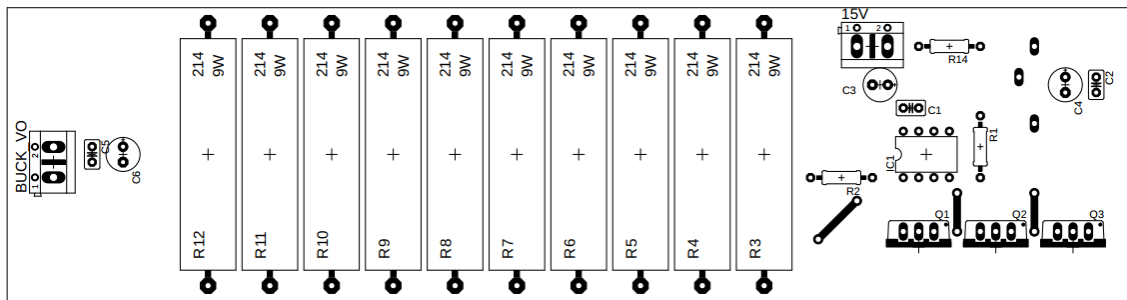
O potenciômetro do circuito ajusta a tensão da entrada não-inversora do amplificador operacional, chamada  $V_{pot}$ . O amplificador operacional está em uma configuração de realimentação negativa que, pela propriedade do curto-circuito virtual nas suas entradas, faz com que a tensão na entrada não-inversora ( $V_{pot}$ ) apareça sobre a carga. Pode-se considerar que a queda de tensão em R2 seja desprezível devido à baixa corrente. Portanto, como existe uma tensão sobre uma resistência fixa, a corrente estará sendo imposta na saída do circuito. O valor dessa corrente é calculado por:

$$I_{carga} = V_{pot} / R_{carga}. \quad (2)$$

Os MOSFETs possuem o papel de conduzir a corrente  $I_{carga}$  e drená-la da alimentação do equipamento em teste. Eles devem conseguir suprir a necessidade de condução de corrente da aplicação. Para isso, foi colocado três MOSFETs em paralelo, a fim de aumentar a capacidade de condução e diminuir a temperatura na chave, também possibilitando a aplicação de um dissipador de calor de maior dimensão. Esse é um detalhe importante pois uma corrente constante passando por MOSFET na região ôhmica dissipará uma potência térmica considerável. No circuito esquemático o modelo dos MOSFETs utilizado inicialmente foi o IRL1404, porém, como a tensão de threshold ( $V_{gs}$ ) é de 2 a 4V, ele foi substituído pelo IRLZ440N, com  $V_{gs}$  de 1 a 2V, praticamente a metade. Isso permite uma melhor operação para baixas correntes de carga.

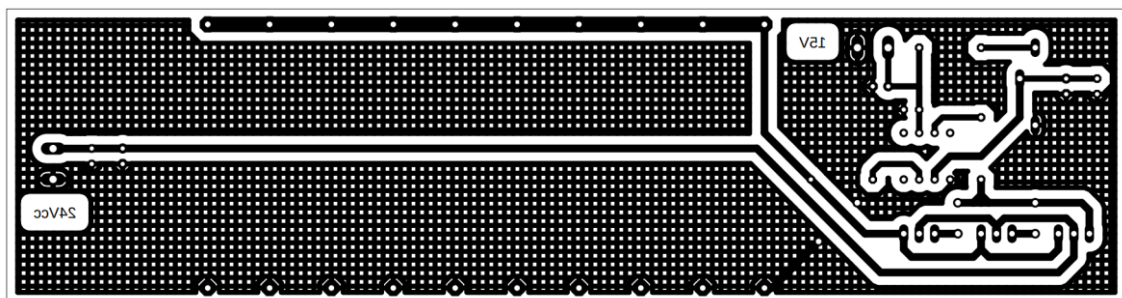
A configuração da Placa de Circuito Impresso (PCI) e sua construção é apresentada a seguir:

**Figura 3 – Roteamento da placa (vista superior).**



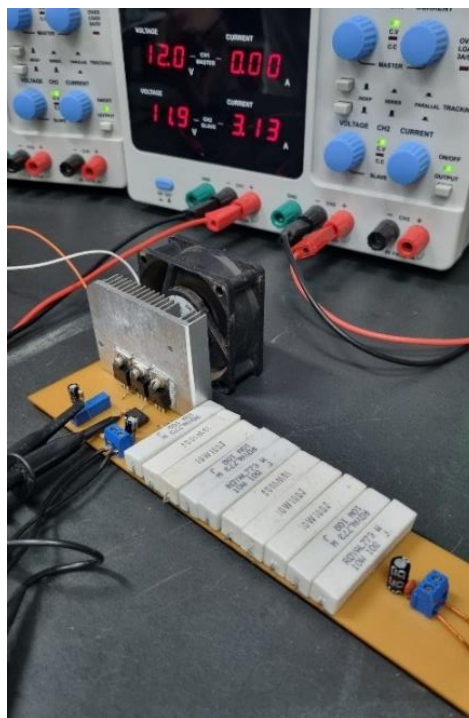
*Fonte: Autoria própria.*

**Figura 4 – Roteamento da placa (vista inferior).**



*Fonte: Autoria própria.*

**Figura 5 – Montagem do circuito.**



*Fonte: Autoria própria.*

### 3 – METODOLOGIA

#### Equipamentos utilizados:

- Fonte de corrente controlada por tensão:
  - Amplificador operacional: LM741;
  - Chave MOSFET: IRF1404 e IRLZ44N (3 unidades de cada);
  - Resistências: Para a carga há dez resistências de  $10\Omega$  e 10W, obtendo  $1\Omega$  e 100W com associação em paralelo. Além dessas, no circuito tem-se  $R1 = 1k$ ,  $R2 = 1k$ ,  $R14 = 4k7$ ;
  - Potenciômetro:  $10k\Omega$  (Trimpot);
  - Capacitores: Dois capacitores eletrolíticos de 100nF e dois cerâmicos de  $10\mu F$ ;
  - Dissipador de calor;
- Duas fontes de bancada com dois canais;
- Osciloscópio;
- Termovisor digital infravermelho.

#### Procedimentos:

Conecta-se um canal da fonte de bancada com 15V no ponto indicado na placa e outro canal com 12V no ponto indicado como “24V” na placa, este canal representa o equipamento em teste. O motivo de não se conectar 24V inicialmente é que o circuito pode apresentar aquecimento para este nível de tensão. Para este caso, devido a aumentos de temperatura nas chaves MOSFET durante o experimento, a tensão do equipamento em teste estará será 12V. Quanto maior for essa tensão, maior a tensão entre dreno e source ( $V_{ds}$ ), portanto maior a dissipação de potência na chave.

O osciloscópio, que possui dois canais, mede a tensão  $V_{pot}$  (tensão de controle) e a tensão na carga. Como a resistência da carga é  $1\Omega$ , a corrente na carga, ou  $I_{ds}$ , corrente da chave de dreno-source, será numericamente igual à tensão medida na carga.

Ao variar o potenciômetro, a tensão  $V_{pot}$  varia de 0,2V até 8,2V. As variáveis de interesse  $V_{pot}$  e  $I_{ds}$  ( $I_{carga}$ ) são observadas com o osciloscópio.

### 4 – SIMULAÇÃO

Em software, o circuito foi simulado e os seguintes resultados foram obtidos:

**Tabela 2 – Resultados simulacionais.**

| Pot (%) | Vpot [V]   | Icarga [A] | Vds [V] | Vgs [V] | Pmosfet [W] | Pcarga [W] |
|---------|------------|------------|---------|---------|-------------|------------|
| 0       | 1,02 $\mu$ | 893,21m    | 11.99   | 1.92    | 0.01        | 0.00       |
| 5       | 510,18 m   | 511,1m     | 11.49   | 2.07    | 5.87        | 0.26       |
| 10      | 1.02       | 1.02       | 10.98   | 2.14    | 11.20       | 1.04       |
| 15      | 1.53       | 1.53       | 10.47   | 2.19    | 16.02       | 2.34       |
| 20      | 2.04       | 2.04       | 9.96    | 2.24    | 20.32       | 4.16       |
| 25      | 2.55       | 2.55       | 9.45    | 2.28    | 24.10       | 6.50       |
| 30      | 3.06       | 3.06       | 8.94    | 2.32    | 27.36       | 9.36       |
| 35      | 3.57       | 3.57       | 8.43    | 2.35    | 30.10       | 12.74      |
| 40      | 4.08       | 4.08       | 7.92    | 2.39    | 32.31       | 16.65      |
| 45      | 4.59       | 4.59       | 7.41    | 2.18    | 34.01       | 21.07      |
| 50      | 5.1        | 5.1        | 6.9     | 2.45    | 35.19       | 26.01      |
| 55      | 5.61       | 5.61       | 6.39    | 2.48    | 35.85       | 31.47      |
| 60      | 6.12       | 6.12       | 5.88    | 2.5     | 35.99       | 37.45      |
| 65      | 6.63       | 6.63       | 5.37    | 2.53    | 35.60       | 43.96      |
| 70      | 7.14       | 7.14       | 4.86    | 2.56    | 34.70       | 50.98      |
| 75      | 7.65       | 7.65       | 4.35    | 2.58    | 33.28       | 58.52      |
| 80      | 8.16       | 8.16       | 3.84    | 2.61    | 31.33       | 66.59      |
| 85      | 8.67       | 8.67       | 3.33    | 2.63    | 28.87       | 75.17      |
| 90      | 9.18       | 9.19       | 2.82    | 2.65    | 25.92       | 84.46      |
| 95      | 9.69       | 9.69       | 2.31    | 2.68    | 22.38       | 93.90      |
| 100     | 10.2       | 10.21      | 1.8     | 2.7     | 18.38       | 104.24     |

*Fonte: Autoria própria.*

Na simulação é possível visualizar a linearidade do controle da corrente da carga, variando de 893,21mA até 10,21A.

## 5 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Em um primeiro momento, os seguintes resultados foram obtidos:

**Tabela 2 – Resultados experimentais (sem ventilação forçada).**

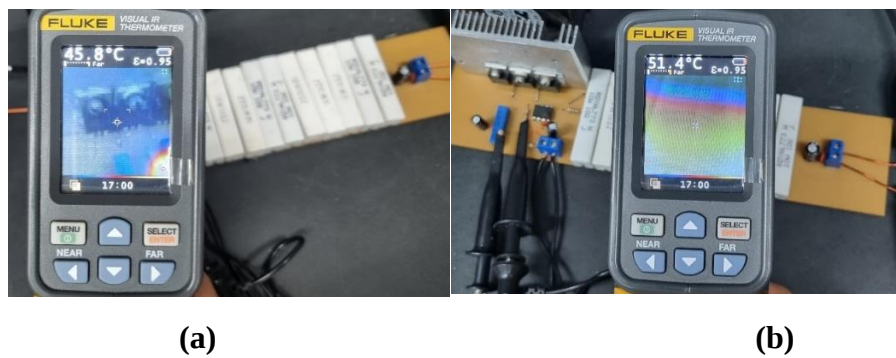
| Vpot [V] | Icarga [A] | Vds [V] | Pmosfet [W] | Pcarga [W] |
|----------|------------|---------|-------------|------------|
| 0,24     | 0,03       | 11,76   | 0,35        | 0,0072     |
| 0,40     | 0,13       | 11,60   | 1,51        | 0,0520     |
| 0,64     | 0,38       | 11,36   | 4,32        | 0,2432     |
| 0,80     | 0,55       | 11,20   | 6,16        | 0,4400     |
| 1,04     | 0,81       | 10,96   | 8,88        | 0,8424     |
| 1,20     | 0,96       | 10,80   | 10,37       | 1,1520     |
| 1,44     | 1,20       | 10,56   | 12,67       | 1,7280     |
| 1,60     | 1,37       | 10,40   | 14,25       | 2,1920     |
| 1,84     | 1,57       | 10,16   | 15,95       | 2,8888     |
| 2,00     | 1,75       | 10,00   | 17,50       | 3,5000     |

|      |      |      |       |         |
|------|------|------|-------|---------|
| 2,24 | 1,96 | 9,76 | 19,13 | 4,3904  |
| 2,40 | 2,18 | 9,60 | 20,93 | 5,2320  |
| 2,64 | 2,40 | 9,36 | 22,46 | 6,3360  |
| 2,80 | 2,55 | 9,20 | 23,46 | 7,1400  |
| 3,04 | 2,82 | 8,96 | 25,27 | 8,5728  |
| 3,20 | 2,97 | 8,80 | 26,16 | 9,5040  |
| 3,36 | 3,14 | 8,64 | 27,13 | 10,5504 |

*Fonte: Autoria própria.*

Observa-se que houve linearidade da corrente na carga em relação à tensão controlada pelo potenciômetro, com uma pequena diferença entre os valores simulados para o intervalo experimentado. A medição foi feita somente até  $V_{pot} = 3,36V$  e  $I_{carga} = 3,14 A$ , pois a partir de 3,2V os MOSFETs e as resistências da carga já começavam a atingir uma temperatura consideravelmente alta (45,8 e 51,4 °C), como mostra a figura 8.

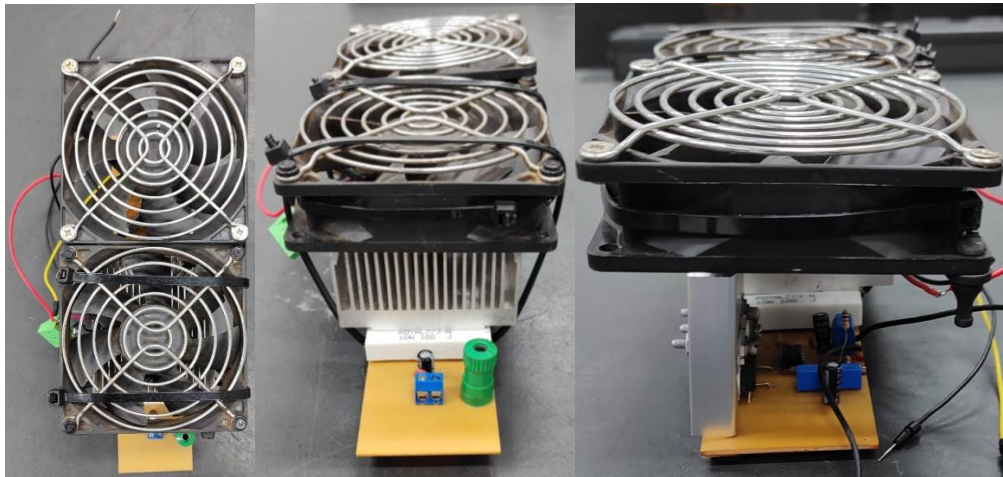
**Figura 6 – Medições de temperatura.**



*Fonte: Autoria própria.*

Um dissipador de calor sobre as resistências e dois ventiladores foram adicionados para diminuir a temperatura nos componentes e aumentar o intervalo de operação do circuito.

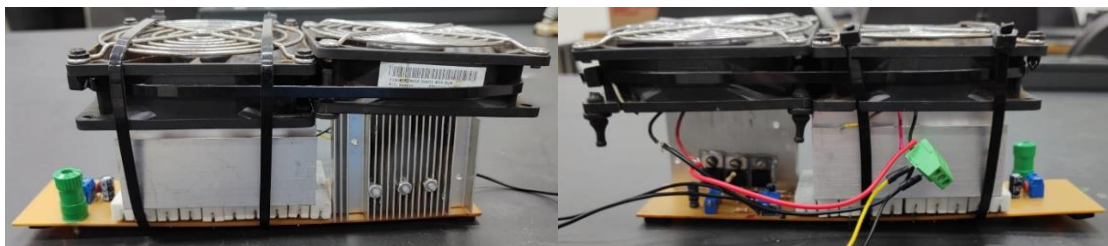
**Figura 7 – Montagem do circuito com ventilação forçada (vistas).**



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

Fonte: Autoria própria.

Com a ventilação forçada, novos testes foram realizados:

**Tabela 3 – Resultados experimentais (com ventilação forçada).**

| Vpot [V] | Icarga [A] | Vpot [V] | Icarga [A] | Vpot [V] | Icarga [A] |
|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| 0,20     | 0,06       | 1,04     | 0,90       | 3,16     | 3,00       |
| 0,24     | 0,10       | 1,08     | 0,95       | 3,24     | 3,10       |
| 0,24     | 0,12       | 1,12     | 1,00       | 3,32     | 3,20       |
| 0,28     | 0,15       | 1,24     | 1,10       | 3,44     | 3,30       |
| 0,32     | 0,18       | 1,32     | 1,20       | 3,56     | 3,40       |
| 0,36     | 0,21       | 1,44     | 1,30       | 3,64     | 3,50       |
| 0,40     | 0,26       | 1,52     | 1,40       | 3,72     | 3,60       |
| 0,44     | 0,28       | 1,64     | 1,50       | 3,84     | 3,70       |
| 0,44     | 0,30       | 1,76     | 1,60       | 3,96     | 3,80       |
| 0,48     | 0,32       | 1,84     | 1,70       | 4,04     | 3,90       |
| 0,52     | 0,40       | 1,92     | 1,80       | 4,12     | 4,00       |
| 0,60     | 0,45       | 2,04     | 1,90       | 4,24     | 4,10       |
| 0,64     | 0,48       | 2,12     | 2,00       | 4,32     | 4,20       |
| 0,68     | 0,55       | 2,24     | 2,10       | 4,44     | 4,30       |
| 0,72     | 0,58       | 2,36     | 2,20       | 4,56     | 4,40       |
| 0,76     | 0,63       | 2,44     | 2,30       | 4,64     | 4,50       |
| 0,80     | 0,68       | 2,56     | 2,40       | 4,80     | 4,60       |
| 0,84     | 0,70       | 2,64     | 2,50       | 4,96     | 4,70       |

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 0,88 | 0,74 | 2,72 | 2,60 | 5,08 | 4,80 |
| 0,92 | 0,76 | 2,84 | 2,70 | 5,24 | 4,90 |
| 0,96 | 0,80 | 2,92 | 2,80 | 5,2  | 6,71 |
| 1,00 | 0,85 | 3,04 | 2,90 |      |      |

*Fonte: Autoria própria.*

Ao tentar coletar novamente os dados após a aplicação de ventilação forçada, os valores obtidos saíram do padrão esperado ao alcançar  $V_{pot} = 5,2V$ . Após investigação, constatou-se que uma das três chaves MOSFET queimou durante o teste. A corrente na carga para essa tensão era de 4,9A, resultando em uma corrente de  $4,9/3 = 1,63A$  em cada MOSFET. Segundo o datasheet do MOSFET IRLZ44N, a corrente máxima contínua entre dreno e source é de 47A a 25 °C. Apesar de a corrente estar em um nível relativamente baixo, fatores como a alta tensão entre dreno e source e o aumento de temperatura contribuíram para a falha do componente.

Para mitigar este problema, uma das soluções avaliadas seria aumentar a resistência equivalente da associação de resistores na carga de 1 ohm para 2 ohms, por exemplo, e dobrar a tensão de alimentação e da entrada não inversora do AO para resultar em uma menor diferença de potencial entre o dreno e o source do MOSFET, reduzindo o estresse térmico sobre o componente.

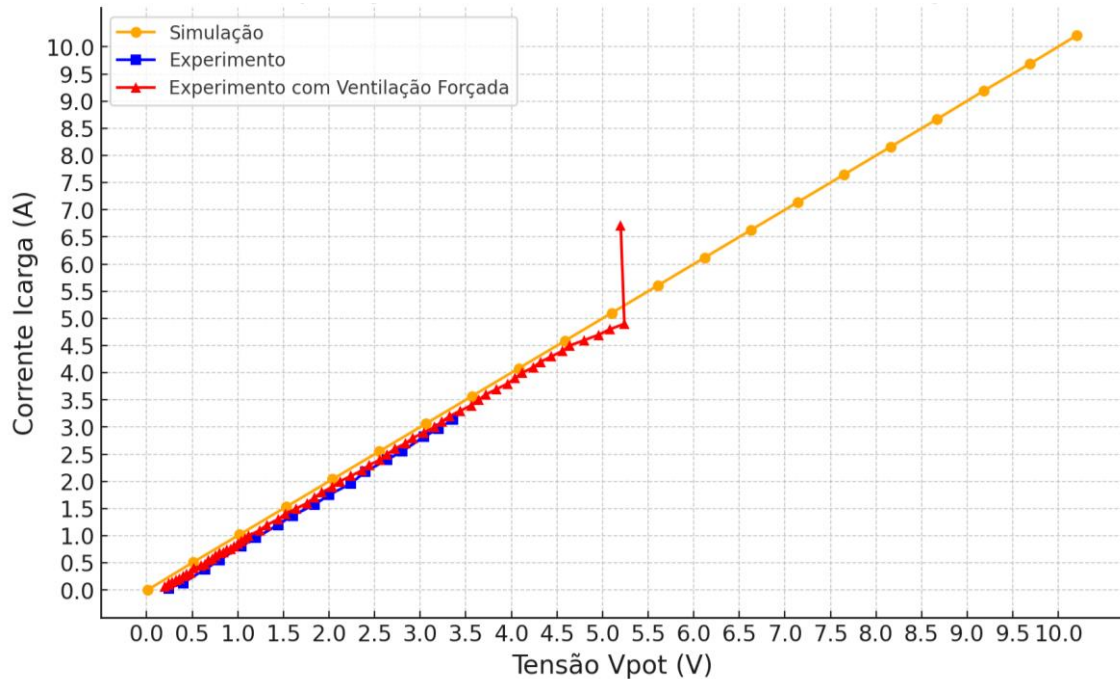
Outra alternativa é realizar o dimensionamento adequado dos dissipadores e melhorar o acoplamento térmico. Para uma dissipação de calor eficiente, é essencial que o dissipador tenha uma resistência térmica suficientemente baixa, dissipadores com aletas e ventilação ativa, assim como o uso de pasta térmica de alta qualidade. Além disso, ajustar a pressão de montagem ajuda a maximizar a área de contato entre o MOSFET e o dissipador, garantindo uma transferência de calor mais eficiente e prevenindo o aquecimento excessivo dos componentes.

Por fim, outra possibilidade para proteger o sistema seria a redução da tensão de saída do equipamento em teste durante os ensaios, outra ação que amenizaria a tensão entre dreno e source dos MOSFETs, prolongando a vida útil dos componentes e evitando o superaquecimento. Essas medidas buscam garantir a segurança e a durabilidade dos componentes, minimizando o risco de queima dos MOSFETs em condições de operação mais elevadas.

A Figura 11 mostra uma comparação entre a simulação e os experimentos. Nota-se no gráfico que a ventilação forçada possibilitou medições com correntes mais elevadas em relação ao experimento realizado sem ventilação. No entanto, para se trabalhar com

correntes acima de 5A é necessário a aplicação de soluções de mitigação da alta temperatura dissipada nos MOSFETs, que foram mencionadas acima.

**Figura 8 – Gráfico - Comparação entre simulação e experimentos.**



*Fonte: Autoria própria.*

## 6 – CONCLUSÃO

A análise comparativa entre simulações e testes experimentais revelou que a carga ativa é capaz de operar na faixa de corrente de 0 até cerca de 4,5A, validando sua aplicação em testes de conversores CC-CC e outras fontes de tensão contínua. As medições obtidas mostraram uma boa linearidade entre a tensão de controle e a corrente na carga, corroborando a robustez do design proposto.

Embora a carga ativa tenha se mostrado eficiente, foram identificadas limitações, como a dissipação térmica nos componentes em correntes mais elevadas, o que demanda atenção na escolha de dispositivos e adaptações no circuito, considerando a corrente demandada para aplicação. A queima de um dos MOSFETs durante os testes destaca a importância de considerar a temperatura e as condições de operação para garantir a durabilidade dos componentes.

Futuras melhorias incluem a otimização do circuito para aumentar a capacidade de carga, visando expandir as aplicações da carga ativa em diferentes cenários de testes. Assim, a carga ativa proposta representa uma contribuição significativa para a área de eletrônica de potência, oferecendo uma solução eficaz e adaptável para o teste de equipamentos.

## Referências

GUAN-CHYUN, H.; JUNG-CHIEN, L. **Design and implementation of an AC active load simulator circuit**. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, v. 29, n. 1, p. 157-165, 1993.

HEERDT, Joselito Anastácio. **Carga eletrônica ativa trifásica**. 2013. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

JU-WON, B. et al. **50kVA Regenerative Active load for power test system**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS AND APPLICATIONS, 12., 2007, Aalborg, Denmark. Anais, Aalborg: IEEE, 2007. p. 1-8.

MALVINO, Albert P.; BATES, David J. **Eletrônica**. 8. ed. São Paulo: McGraw Hill Brasil, 2016. v. 2. 624 p.

MENG-YUEH, C. et al. **Design and implementation of a real-time lossless dynamic electronic load simulator**. In: ANNUAL IEEE POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE - PESC '97, 28., 1997, St. Louis, USA. Anais, St. Louis: IEEE, 1997. p. 734-739.

MING-TSUNG, T.; TSAI, C. **Energy recycling for electrical AC power source burn-in test**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 47, n. 4, p. 974-976, 2000.

NH RESEARCH, I. **Programmable AC & DC Electronic Loads**. Irvine, CA, 2010. Disponível em: <http://www.nhresearch.com>. Acesso em: 26 out. 2024.

RAO, Y. S.; CHANDORKAR, M. **Electrical load emulation using power electronic converters**. In: IEEE REGION 10 CONFERENCE - TENCON 2008, 2008, Hyderabad, India. Anais, Hyderabad: IEEE, 2008. p. 1-6.

SHE, X. et al. **AC electronic load and its application in power system simulation**. In: IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, 3., 2008, Singapore. Anais, Singapore: IEEE, 2008. p. 1685-1690.

TSAI, M. T. **Comparative investigation of the energy recycler for power electronics burn-in test**. IEE Proceedings - Electric Power Applications, v. 147, n. 3, p. 192-198, 2000.

VAZQUEZ, R. et al. **Implementation of a loss-free programmable AC load**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY - IECON '98, 24., 1998, Aachen, Alemanha. Anais, Aachen: IEEE, 1998. p. 630-635.

VILEFORT, Leandro Sousa; SILVA, Fábio Vincenzi Romualdo da; COELHO, Ernane Antônio Alves; FREITAS, Luiz Carlos de; VIEIRA JR, João Batista. **Conversor Boost Quadrático SR-ZVS-QRC PWM**. Eletrônica e Potência, Campo Grande, v. 17, n. 1, p. 393-400, dez. 2011/fev. 2012.