

Estudos Computacionais Sobre Solid State Transformer

Discentes - Grupo 02:

Diego Brandão PG53769

João Silva PG53942

Docentes/Orientadores:

Vítor Monteiro

Sérgio Coelho

Agenda

Introdução

Estado da Arte

Requisitos Técnicos

Simulação

Desenvolvimento de PCB

Testes e Resultados

Desenvolvimentos futuros

Conclusão

Agradecimentos

Introdução

○ Evolução das Redes Elétricas

- Transição de sistemas centralizados para descentralizados
- Pretende-se maior sustentabilidade, eficiência energética e qualidade de energia

○ Produção de Energia

- Antes: grandes centrais e longas linhas de transmissão
- Hoje: integração de novas tecnologias e adoção de fontes de energia renováveis

Introdução

○ Smart Grids e novas tecnologias

- Redes híbridas CA-CC
- Transformadores de Estado Sólido (SST – *Solid State Transformer*)

○ Redes híbridas CA-CC

- Devido ao menor uso de conversores de potência (menores perdas), melhoram a eficiência e qualidade de energia dos sistemas
- Novos desafios a serem superados

Introdução

O Transformadores de Estado Sólido

- Interface eficiente com fontes renováveis e sistemas de armazenamento
- Redução significativa da dimensão e peso, comparativamente a transformadores convencionais

O Transição para *Smart Grids*

- Robustez, eficiência e intercomunicação
- Preparação para um futuro sustentável e tecnologicamente avançado

Introdução

- Neste trabalho, irão ser abordados os conversores destacados na imagem

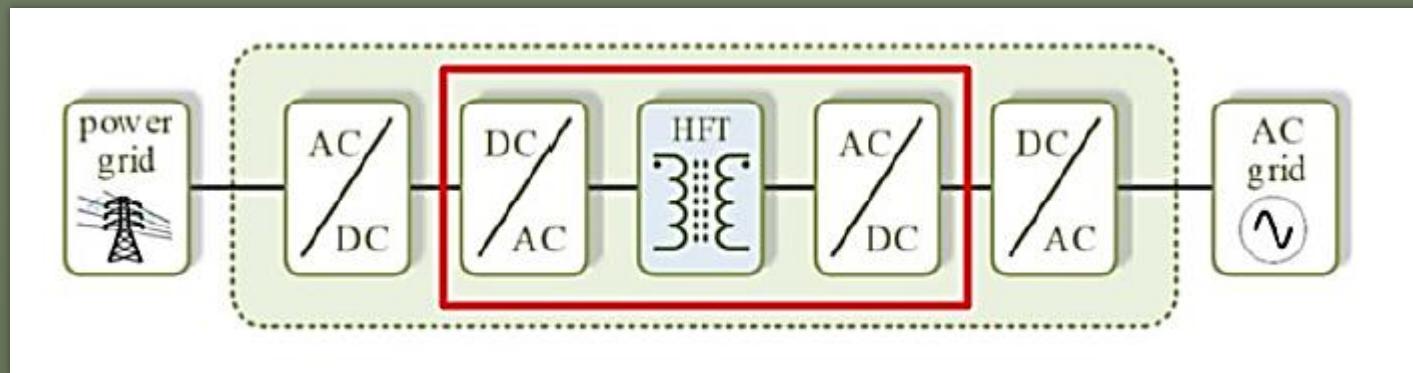


Imagen da autoria de Vítor Monteiro, DEI

Estado da Arte

- **Tecnologia emergente na distribuição e gestão da energia elétrica**
- **Vantagens:** maior eficiência, possibilidades de controlo, topologias, menores dimensões e peso
- **Desafios:** níveis de potência e tensão ainda inferiores aos transformadores convencionais, maior uso de conversores e complexidade dos mesmos e do controlo



<https://www.polytechnichub.com/solid-state-transformer/>

Estado da Arte

○ Componentes e evolução

- Uso de semicondutores de potência (SiC e GaN) para operar em frequências mais altas
- Por conseguinte, redução significativa do tamanho e peso dos componentes magnéticos

○ Estrutura dos SST

- Três estágios principais: conversão CC-CA, estágio de alta frequência e estágio da conversão CA-CC

Estado da Arte

○ Topologias principais de SST

- Conversores MMC (*Modular Multilevel Converter*)
- Conversores DAB (*Dual Active Bridge*)
- Conversores SAB (*Single Active Bridge*)

○ Aplicações onde podem ser utilizados:

- Integração com fontes renováveis, redes elétricas inteligentes e carregamento de veículos elétricos

Estado da Arte

○ Desafios atuais dos SST

- Custo (semicondutores de potência caros)
- Complexidade de *design* e controlo (algoritmos avançados e *hardware* robusto)
- Confiabilidade e durabilidade
- Eficiência e dissipação de calor

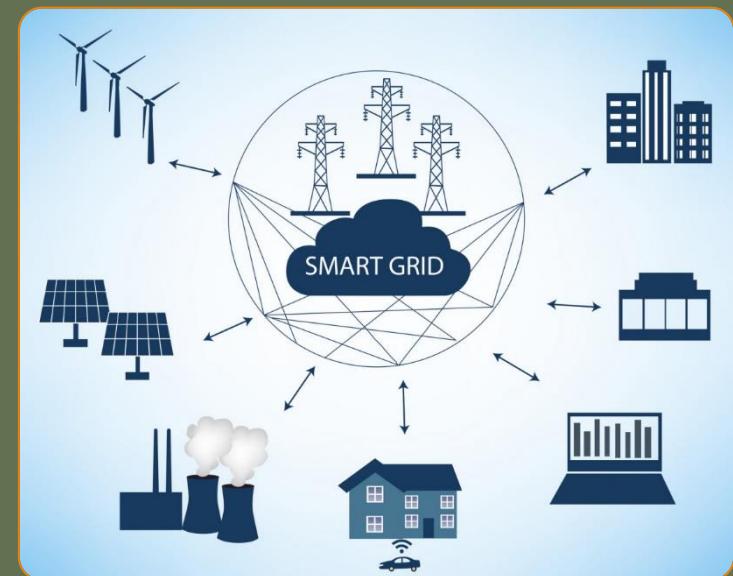
○ Pesquisas futuras

- Melhorar eficiência, reduzir custos de produção e desenvolver técnicas de controlo aprimoradas

Estado da Arte

○ Aplicações futuras

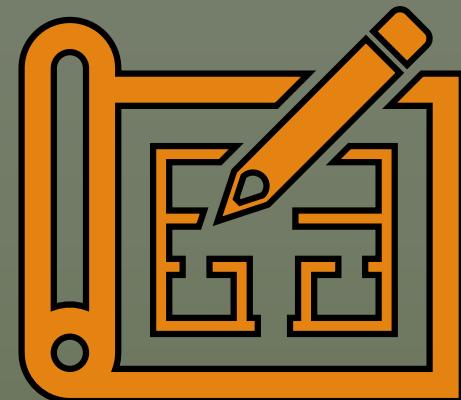
- Micro-redes e redes distribuídas
- Transmissão de energia em alta tensão CC (*High Voltage DC – HVDC*)
- Infraestrutura de carregamento de veículos elétricos



<https://www.tct.fr/en/marches/smart-grid-iot>

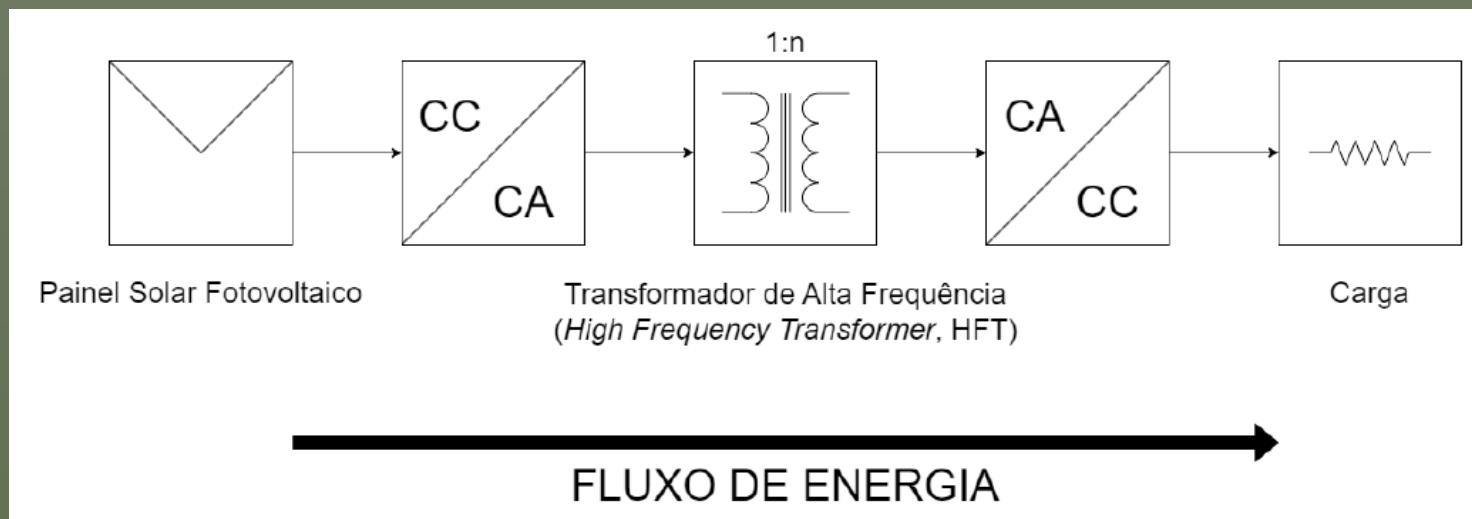
Requisitos Técnicos

- Tensão nominal de entrada, V_{entrada} : 50 V
- Tensão nominal de saída, $V_{\text{saída}}$ (ajustável via código): 0 - 25 V
- Potência máxima de operação, $P_{\text{máx}}$: 300 W
- Potência de operação, $P_{\text{operação}}$: Depende da carga e tensão de saída
- Razão de transformação do transformador planar de alta frequência: 2/1
- Frequência de operação, $f_{\text{comutação}}$: 200 kHz



Topologia Proposta

- Topologia: Conversor SAB (*Single Active Bridge*)
- Características: Unidirecional, simples de implementar e controlar



Topologia Proposta

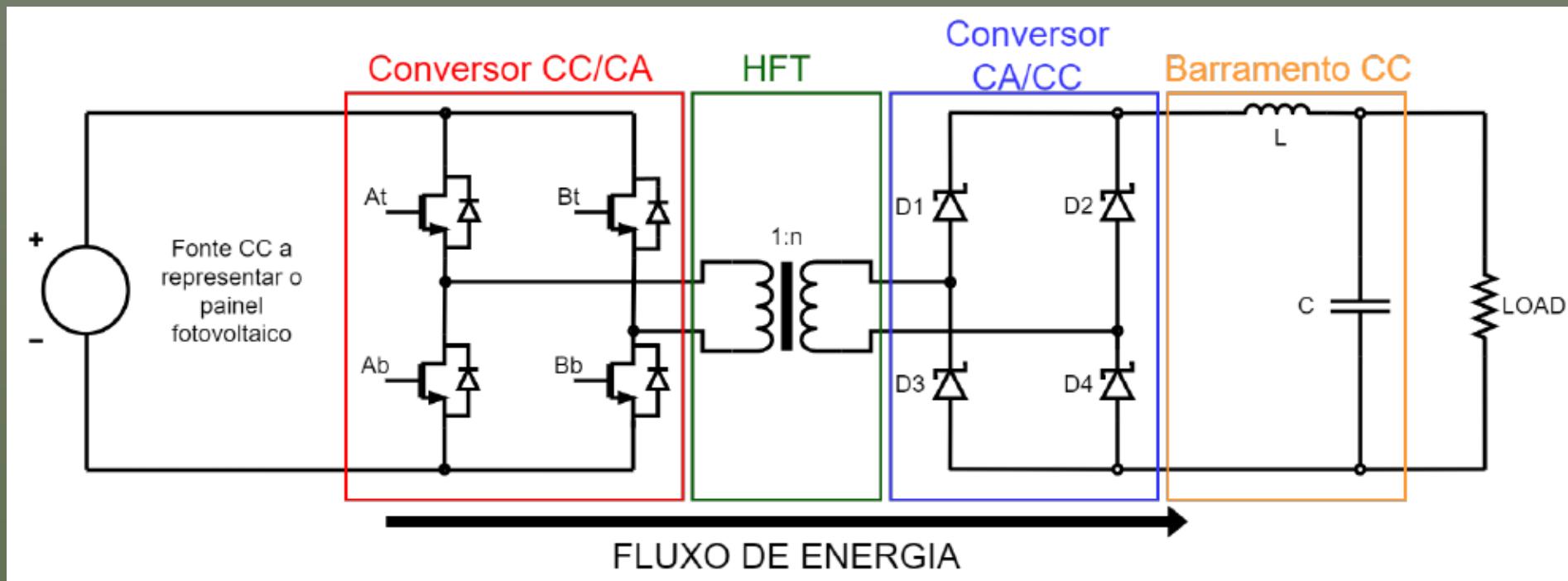
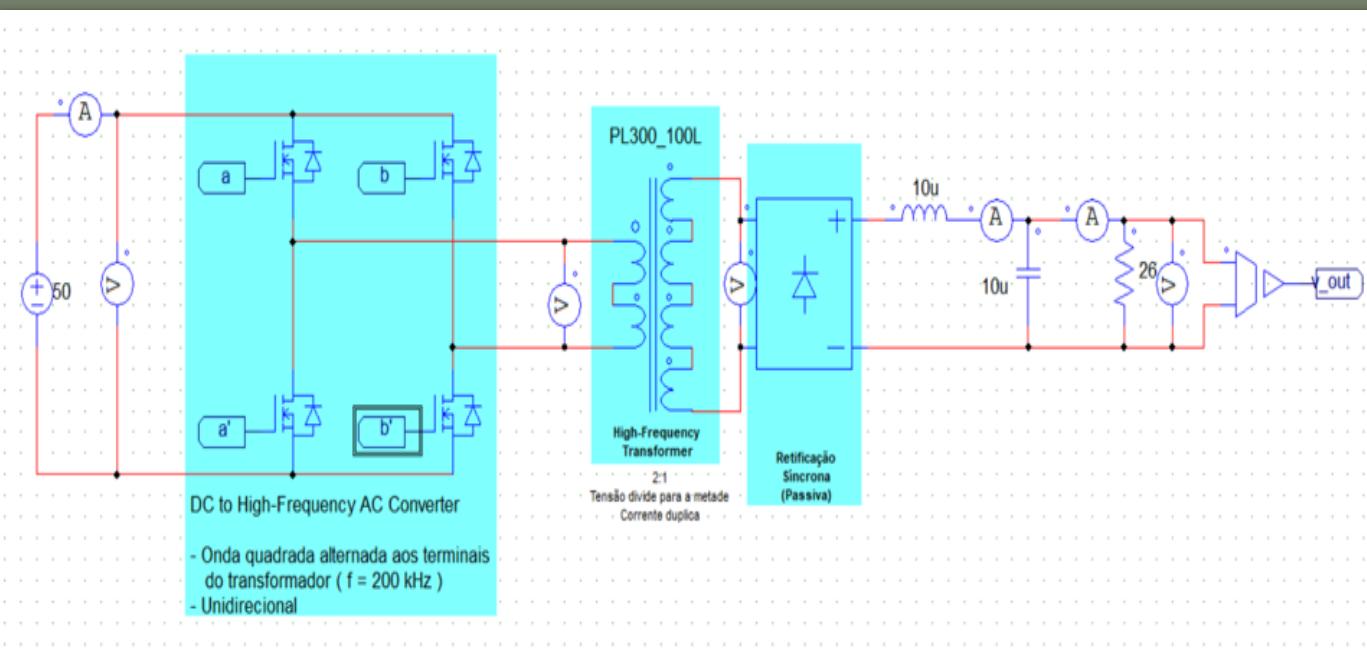


Diagrama discreto de cada conversor e de cada estágio do SST proposto

Simulação

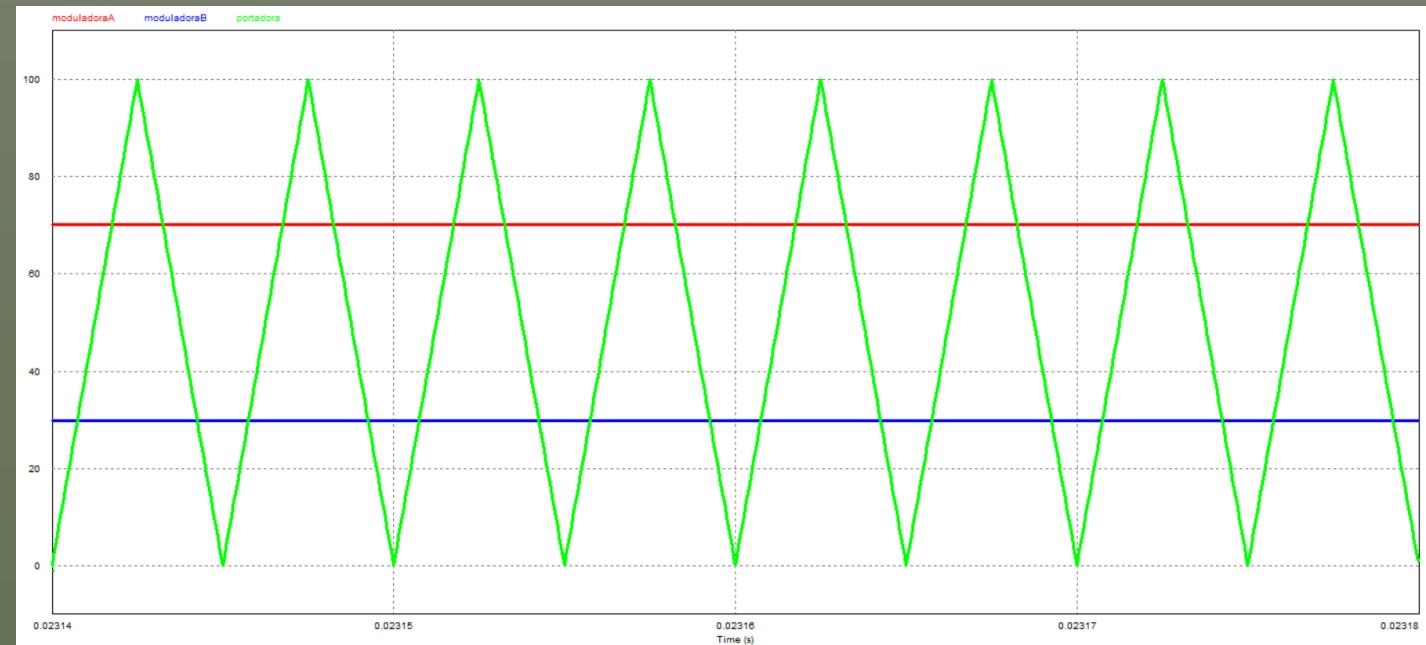
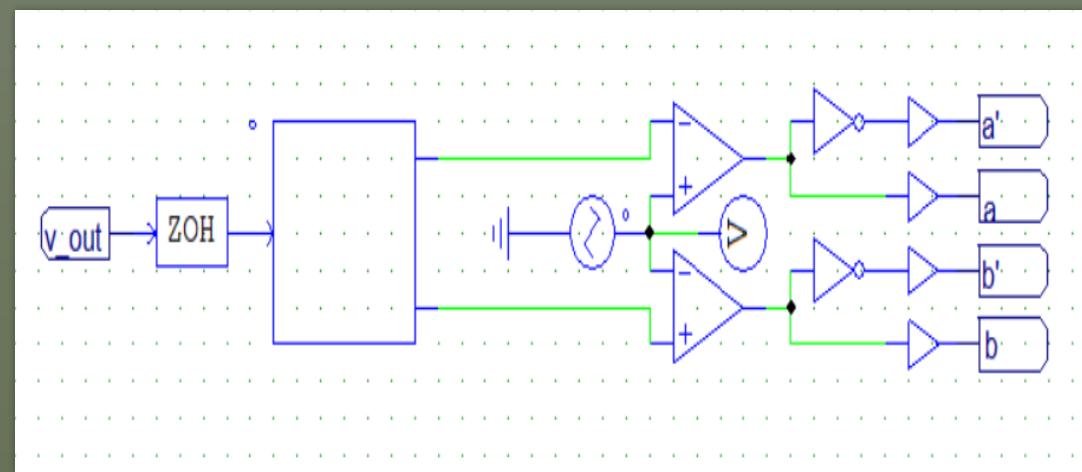


Conversor e transformador implementados em PSIM

1-ph 6-w Transformer	
Parameters Other Info Color	
6-winding transformer	
Name	PL300_100L
Rp_1 (primary 1)	7.2m
Rp_2 (primary 2)	7.2m
Rs_1 (secondary 1)	1.05m
Rs_2 (secondary 2)	1.05m
Rs_3 (secondary 3)	1.05m
Rs_4 (secondary 4)	1.05m
Lp_1 (pri. 1 leakage)	0.125u
Lp_2 (pri. 2 leakage)	0.125u
Ls_1 (sec. 1 leakage)	0.1u
Ls_2 (sec. 2 leakage)	0.1u
Ls_3 (sec. 3 leakage)	0.1u
Ls_4 (sec. 4 leakage)	0.1u
Lm (magnetizing)	287u
Np_1 (primary 1)	4
Np_2 (primary 2)	4
Ns_1 (secondary 1)	1
Ns_2 (secondary 2)	1
Ns_3 (secondary 3)	1
Ns_4 (secondary 4)	1

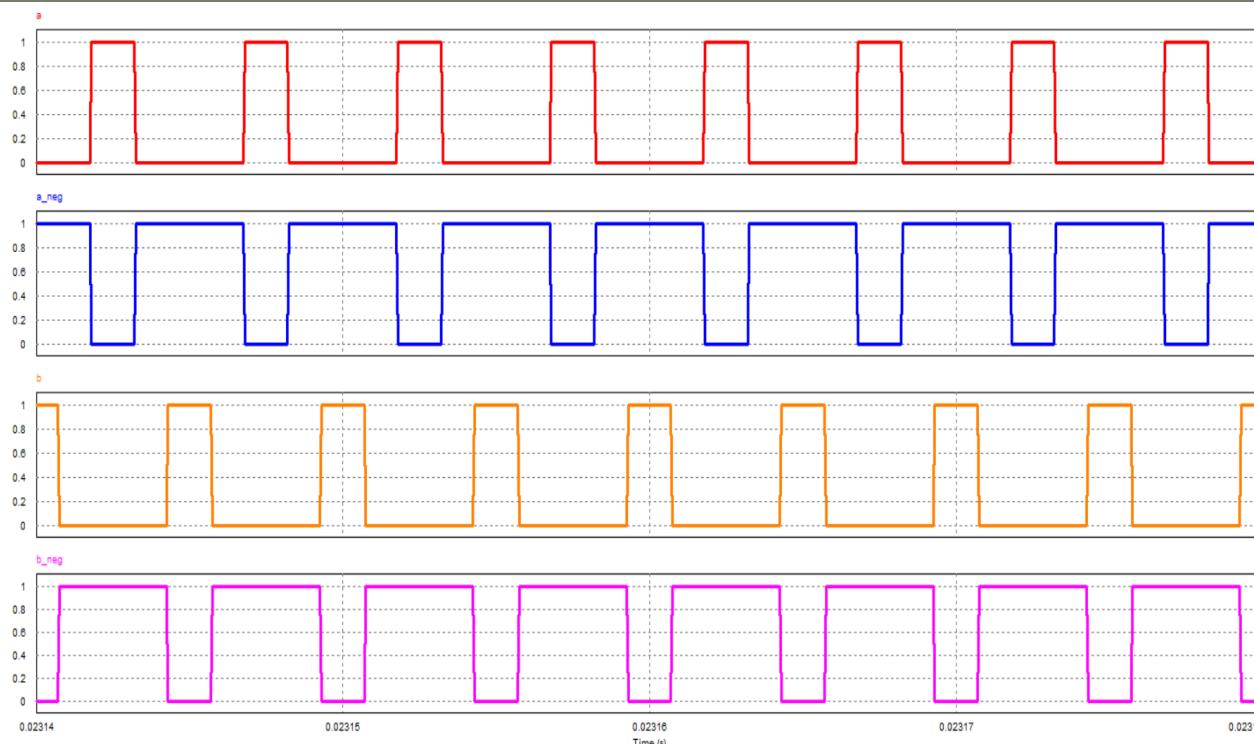
Parâmetros do transformador em PSIM

Simulação



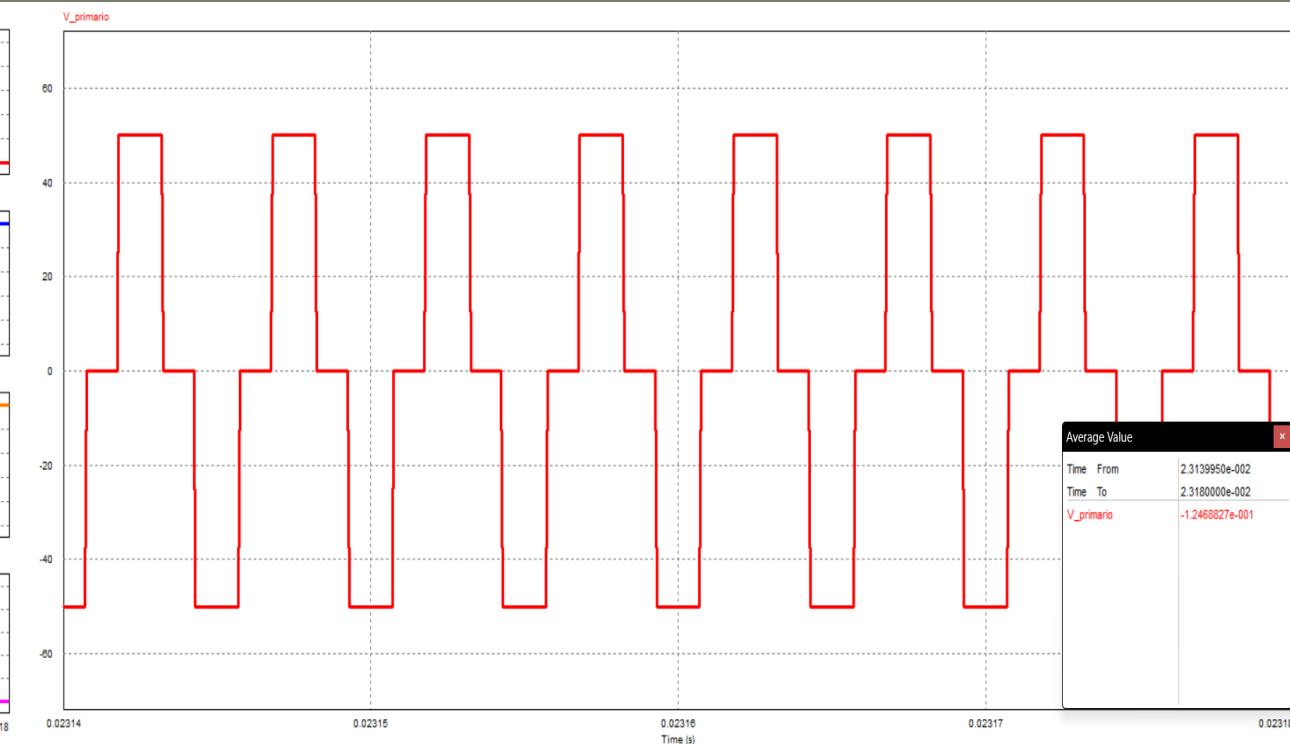
Dois ondas moduladoras complementares e a portadora, em regime permanente

Simulação



Sinais de gate dos MOSFET. Semicondutores do mesmo braço nunca estão ativo em simultâneo

Projeto Integrador em Eletrónica Industrial e Computadores



Tensão no primário do transformador planar, em regime permanente

Diagrama de blocos em malha fechada

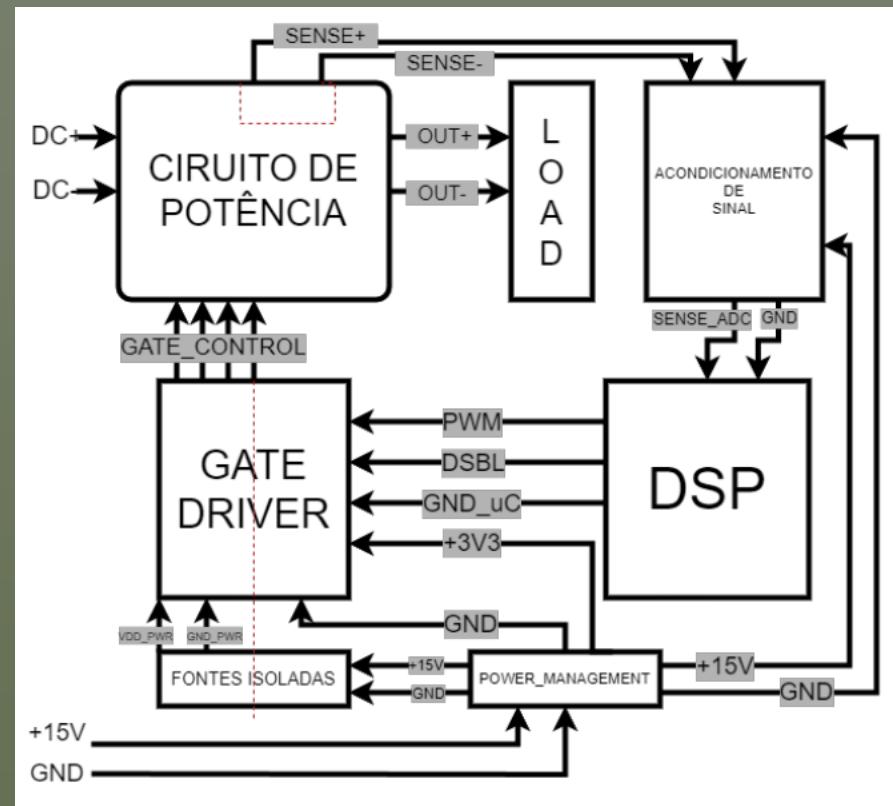
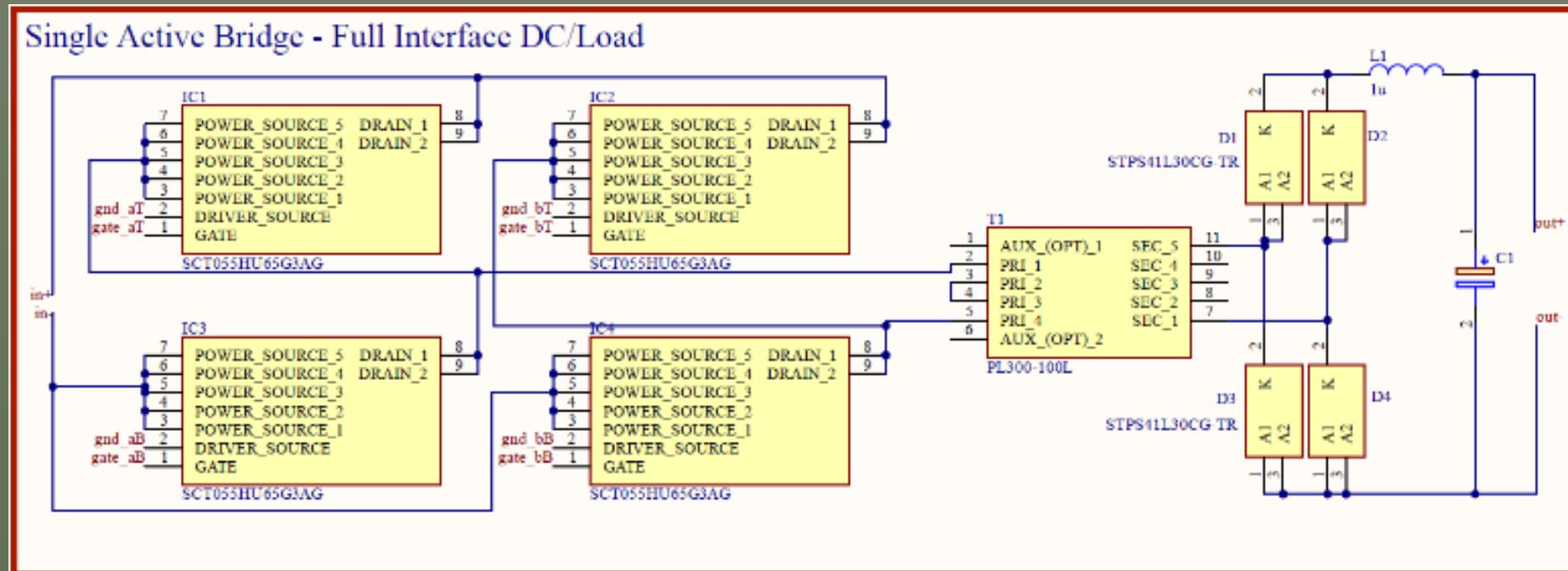


Diagrama de blocos
de alto nível dos
sistemas de
controlo e potência
em malha fechada

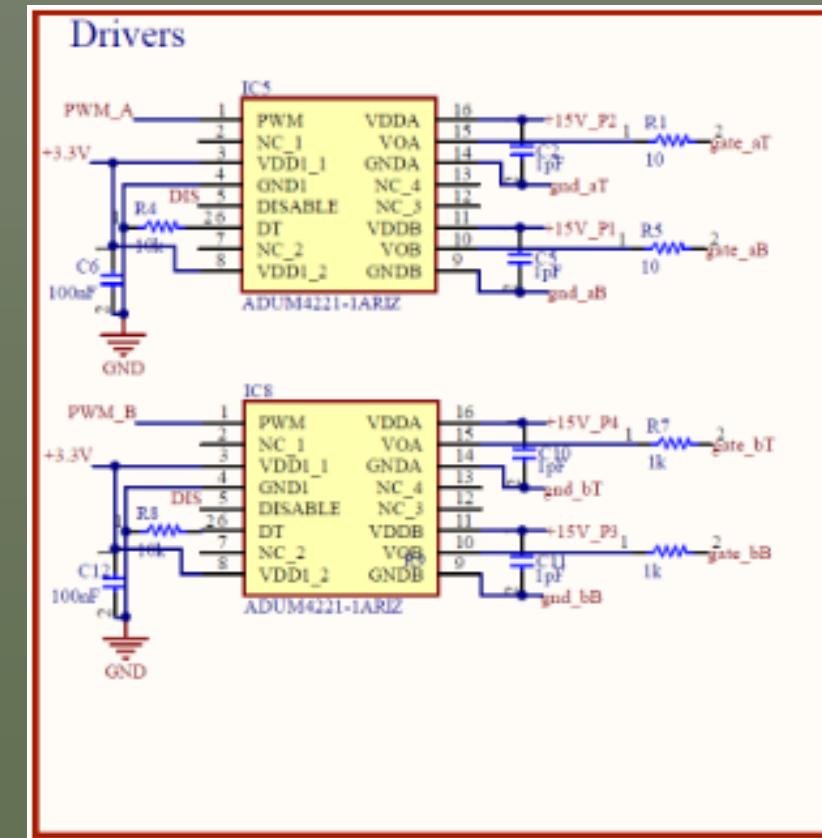
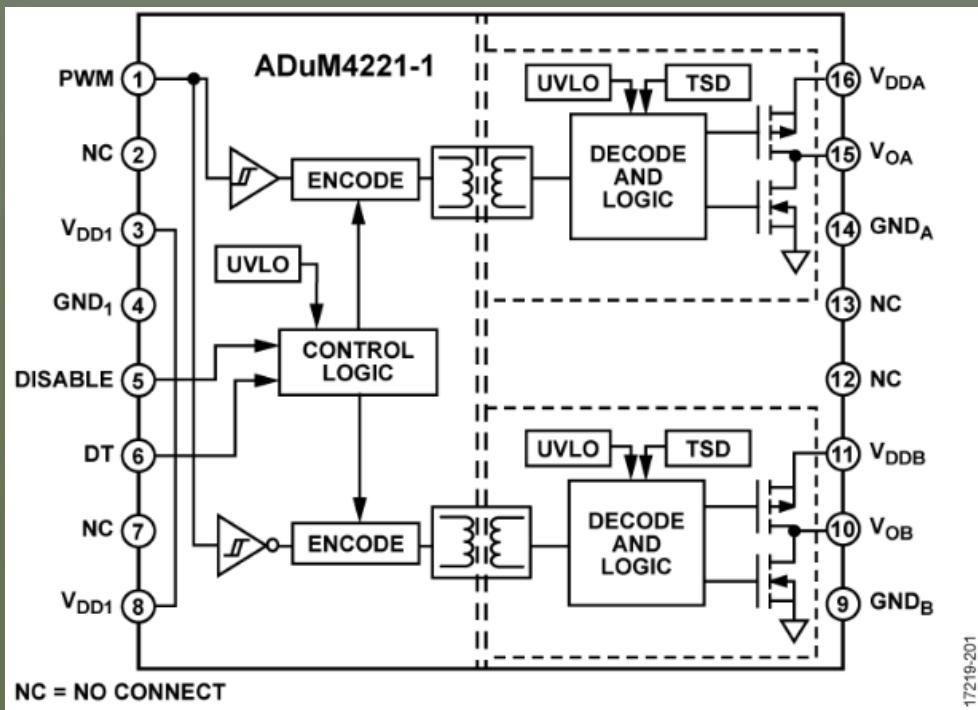
Desenvolvimento de PCB

○ Esquemático do circuito



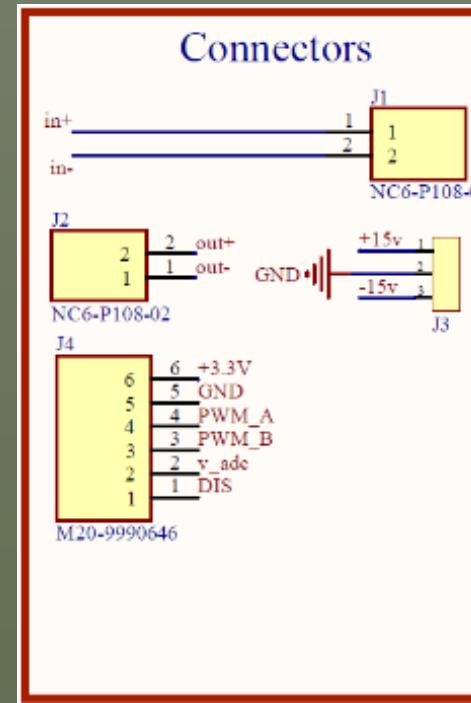
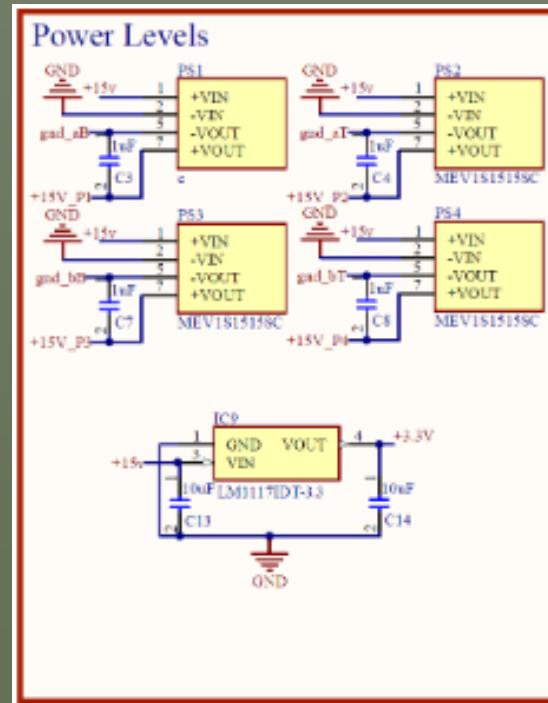
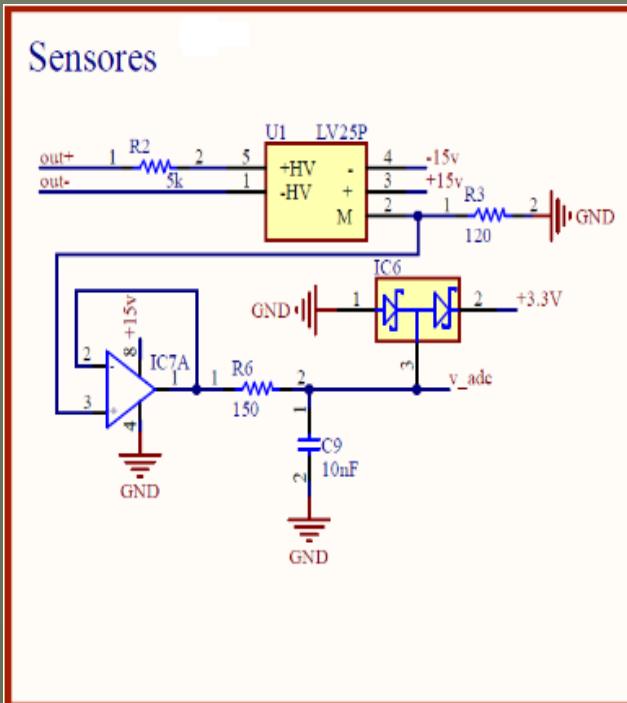
Desenvolvimento de PCB

○ Esquemático do circuito



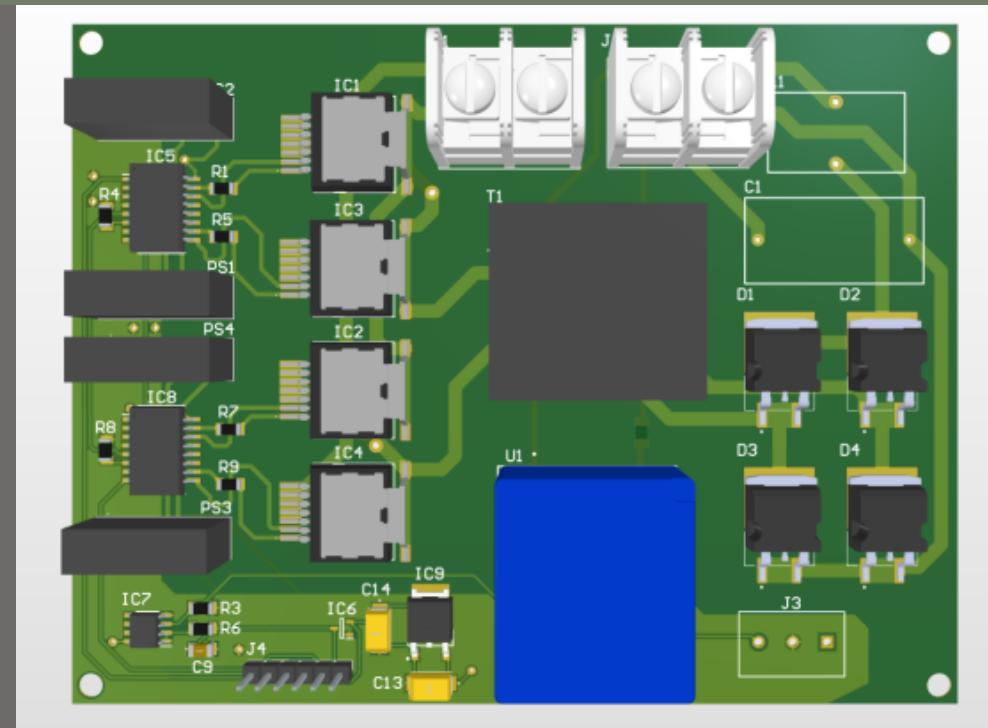
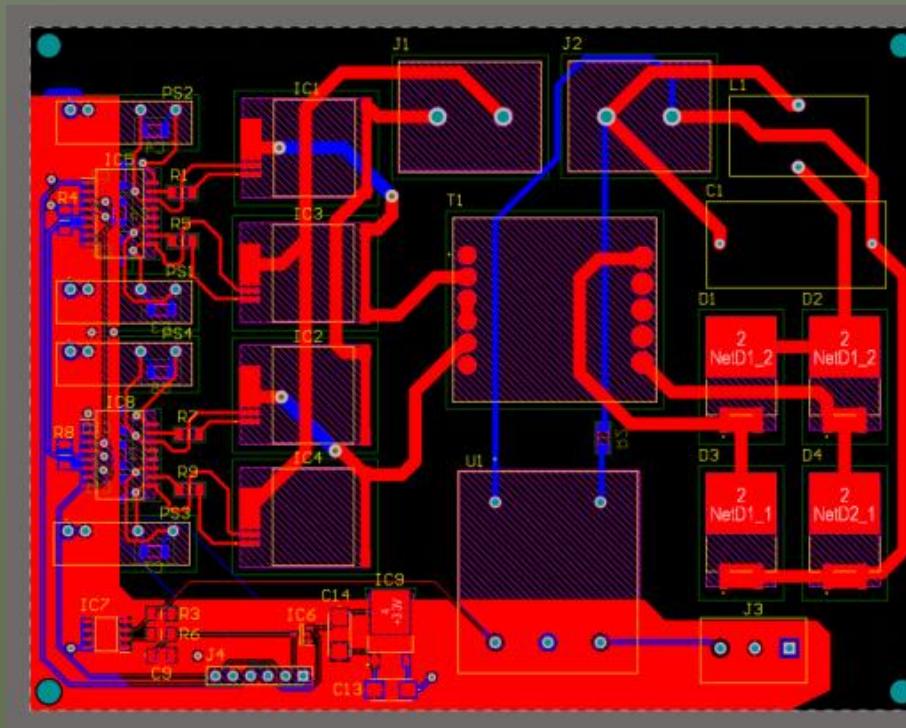
Desenvolvimento de PCB

○ Esquemático do circuito



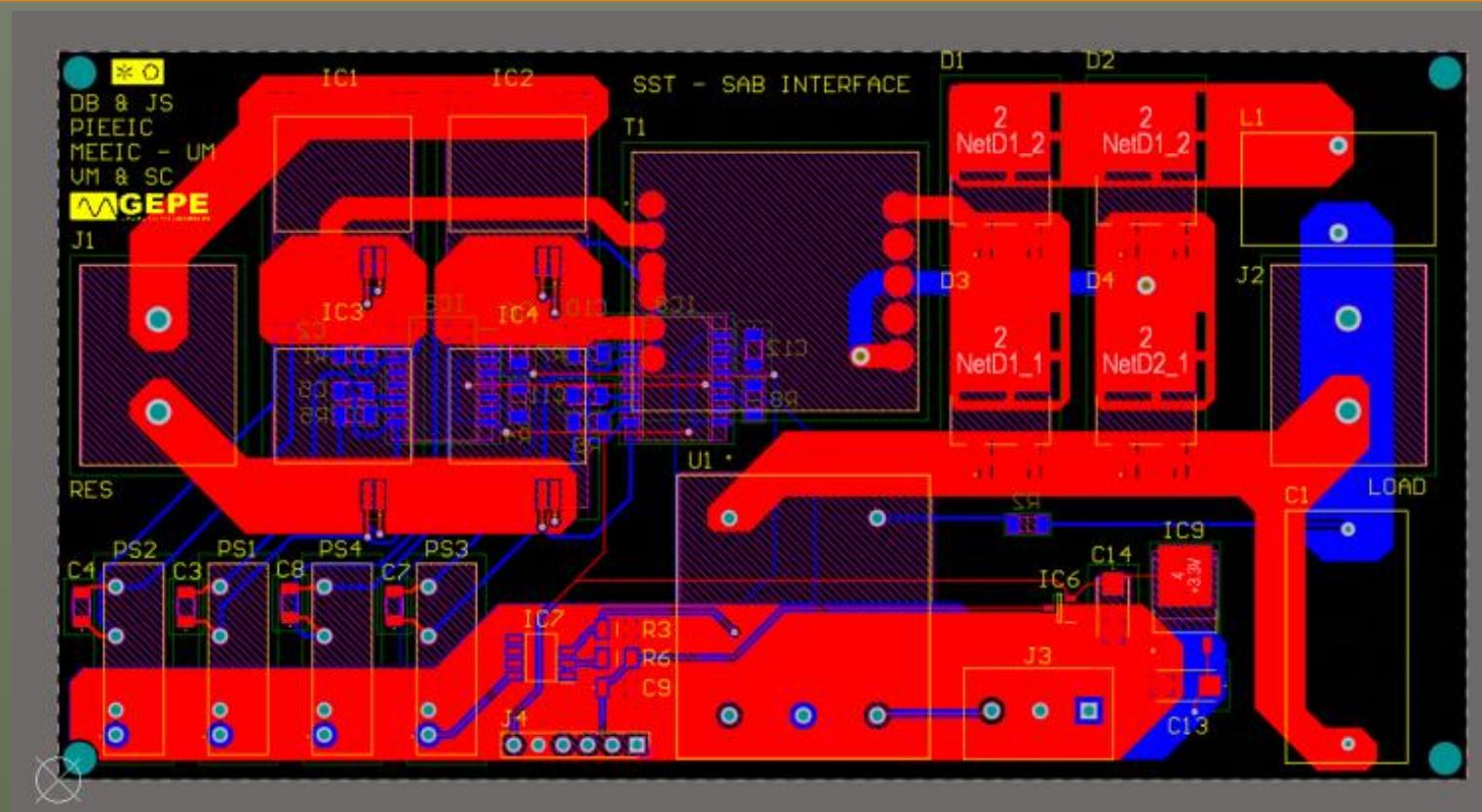
Desenvolvimento de PCB

○ Design inicial da PCB



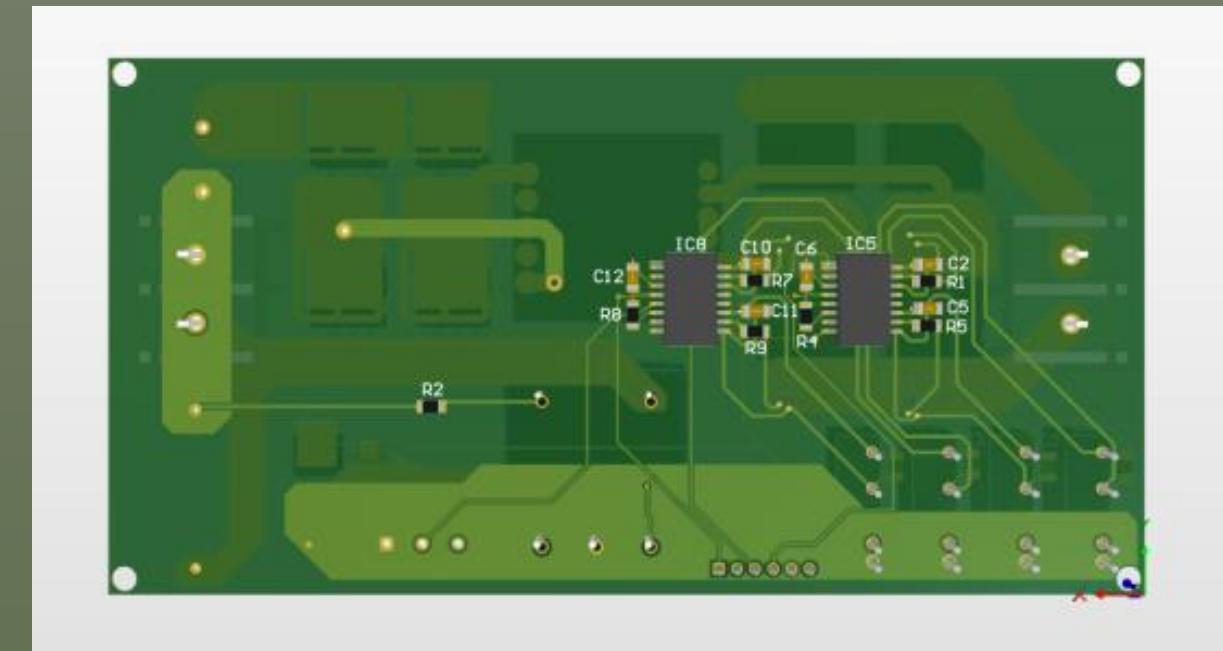
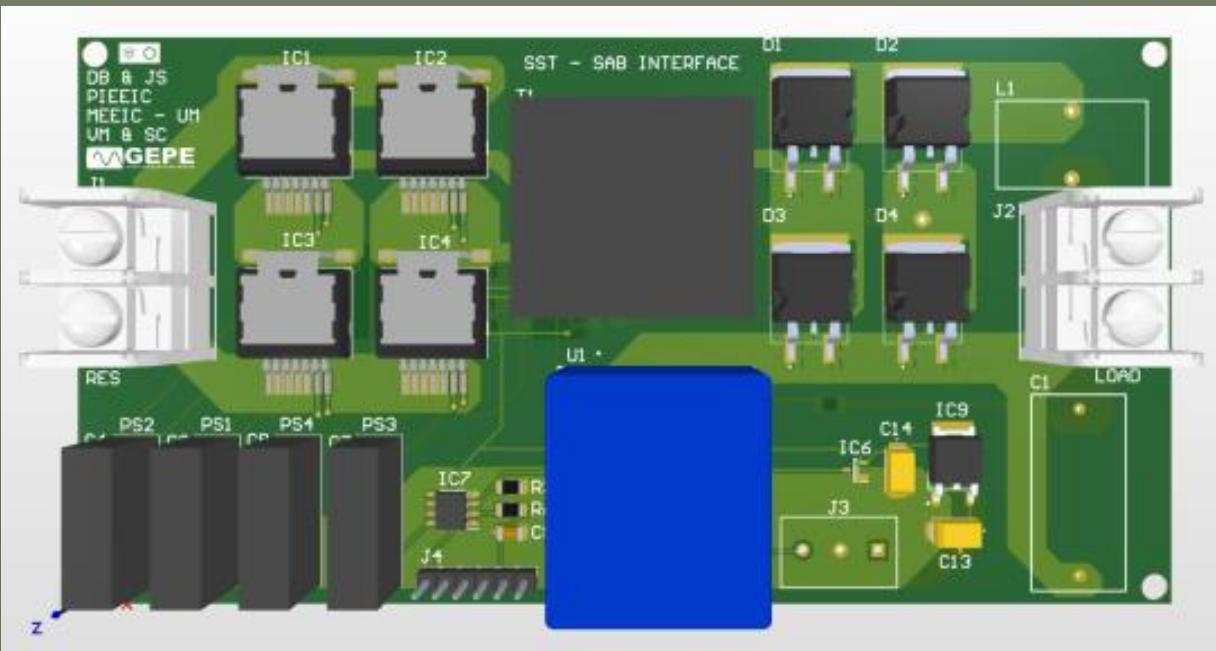
Desenvolvimento de PCB

- Design melhorado da PCB



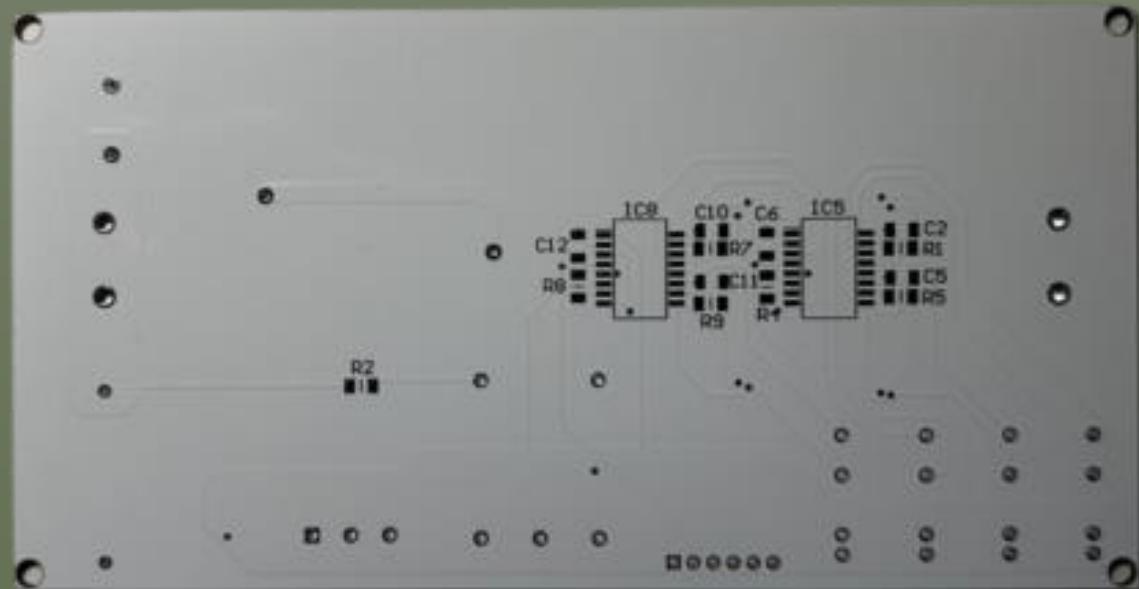
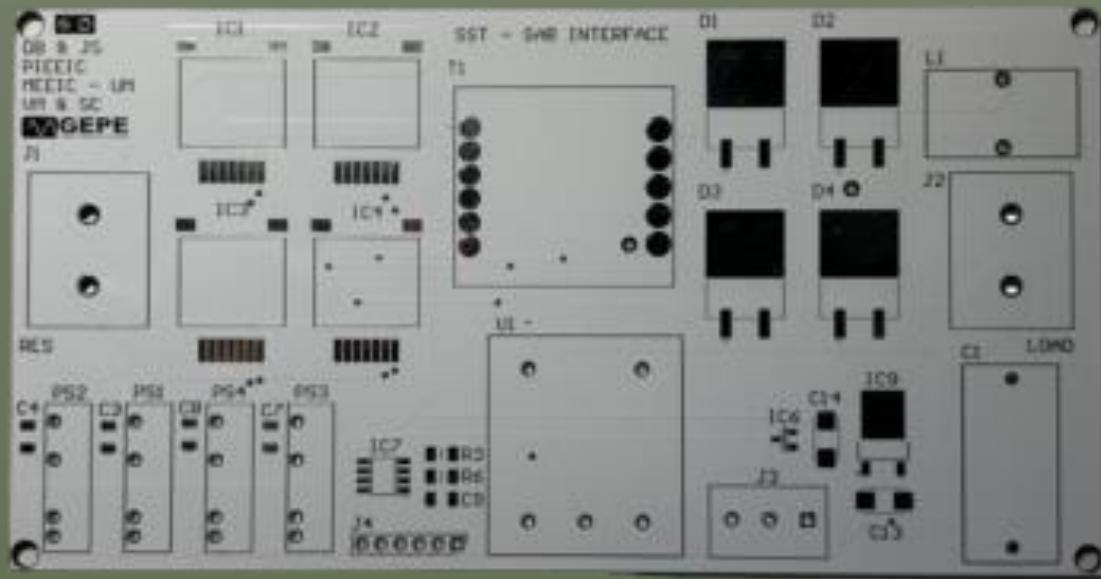
Desenvolvimento de PCB

○ Design melhorado da PCB



Desenvolvimento de PCB

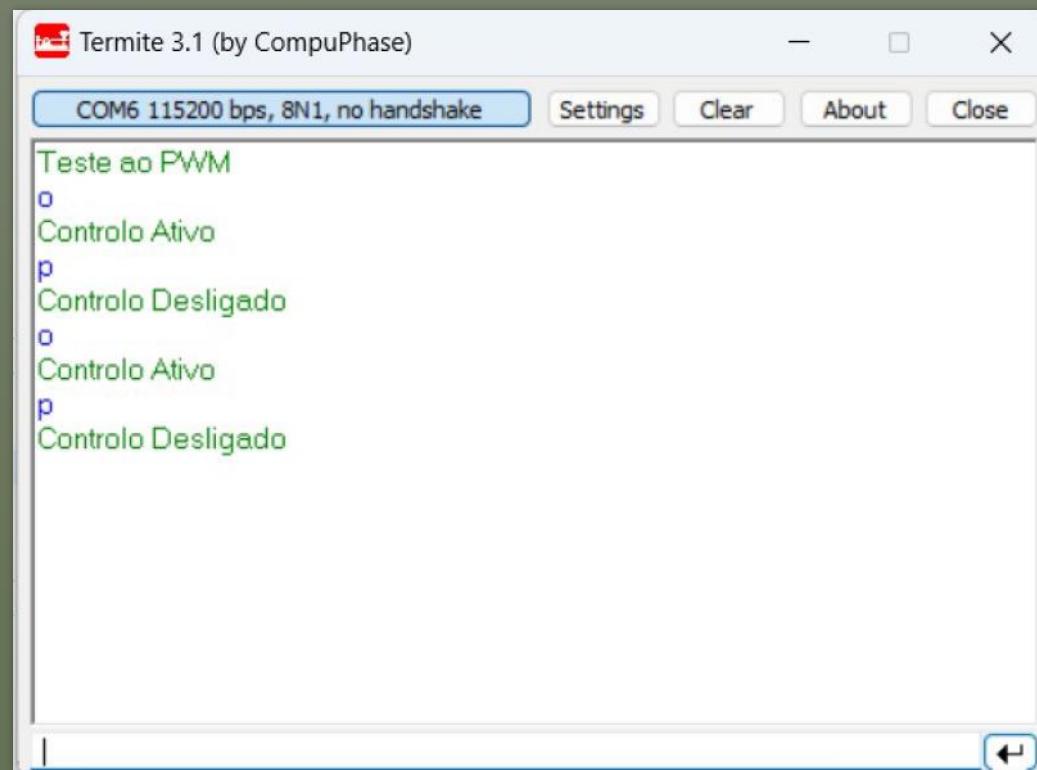
○ Design melhorado da PCB



Testes e Resultados

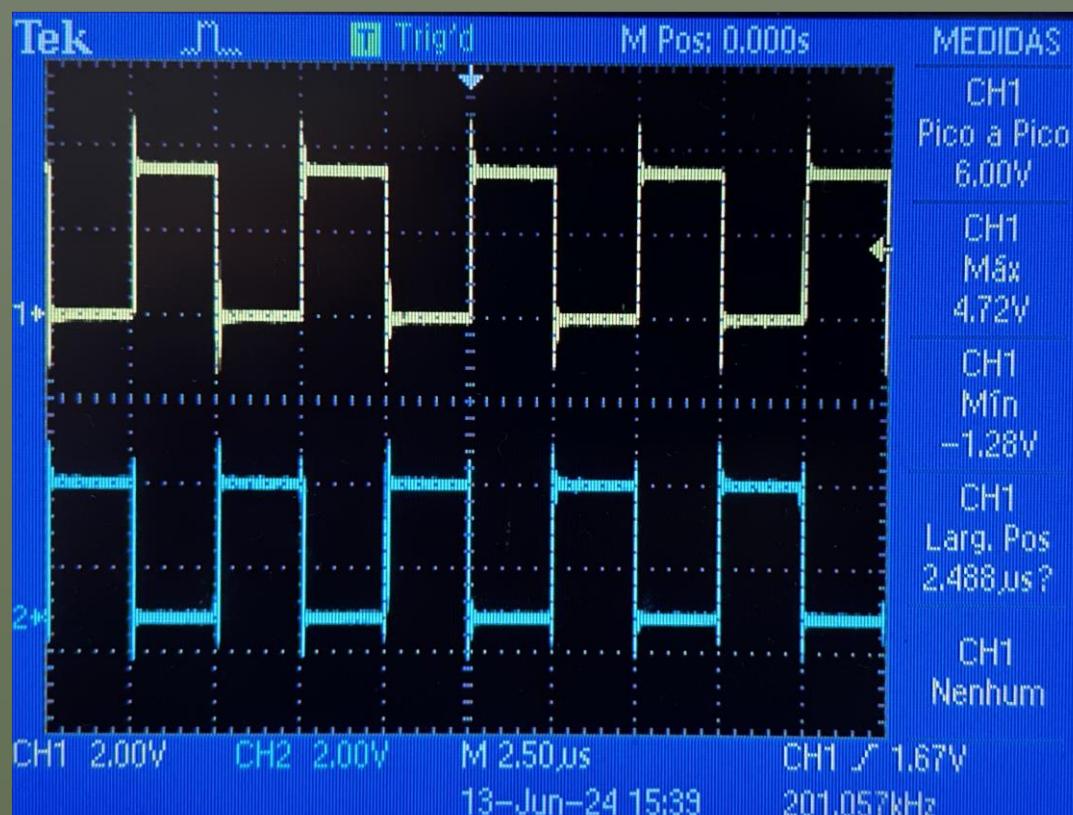
- A primeira validação a ser feita foi ao código implementado no Code Composer IDE, para programar o microcontrolador TMS320F28027F
- Os periféricos utilizados foram:
 - USART
 - Timer
 - ADC
 - GPIO
 - EPwm

Testes e Resultados



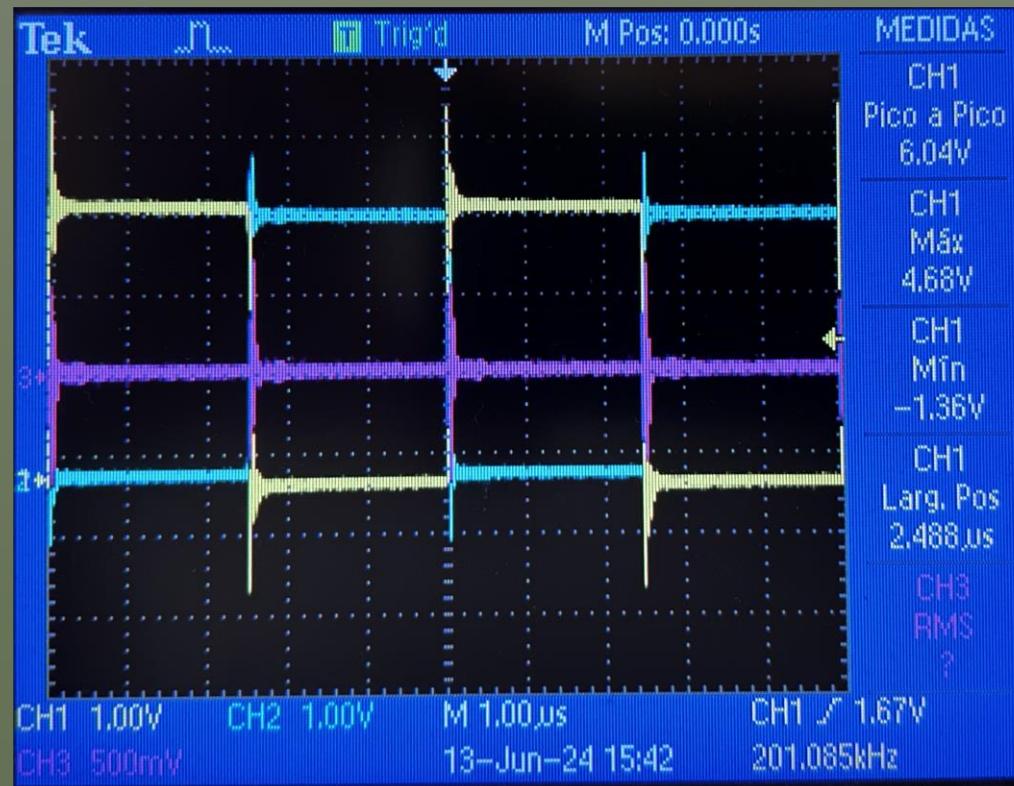
Microcontrolador a comunicar por porta série com o computador

Testes e Resultados



PWM nos GPIO do microcontrolador

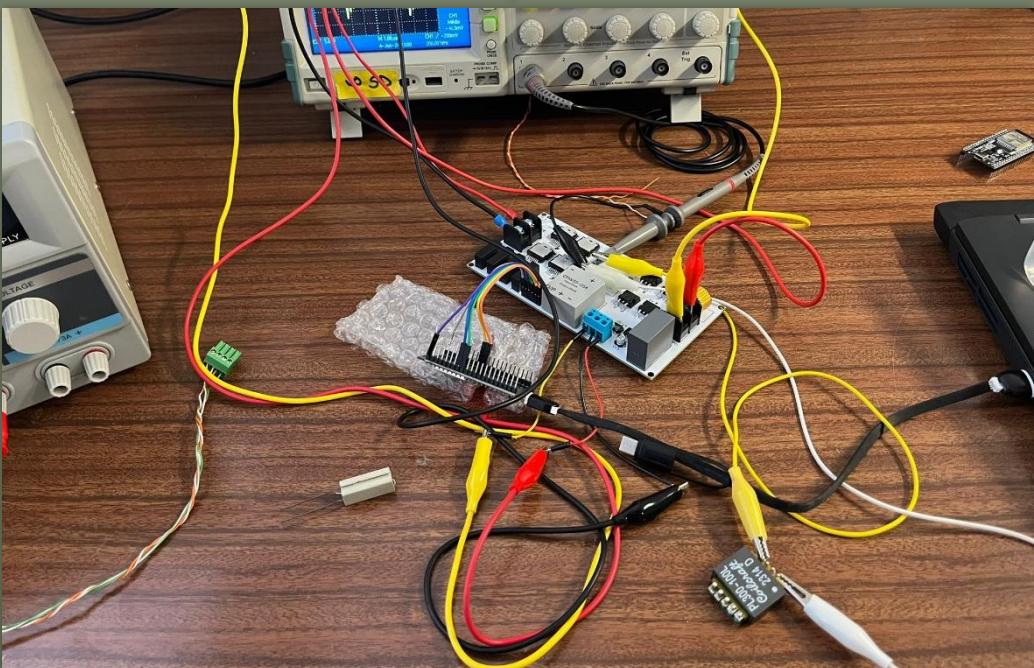
Testes e Resultados



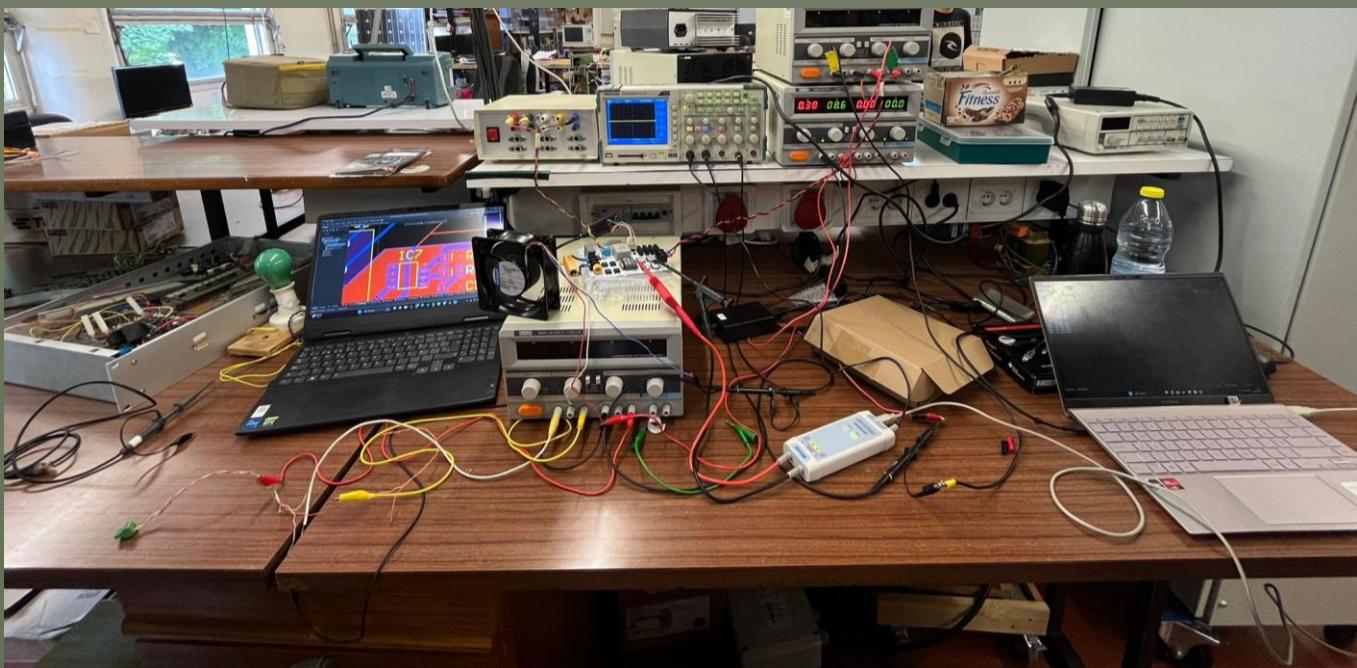
PWM nos GPIO e tensão na entrada do ADC

Testes e Resultados

Testes de comutação dos MOSFET

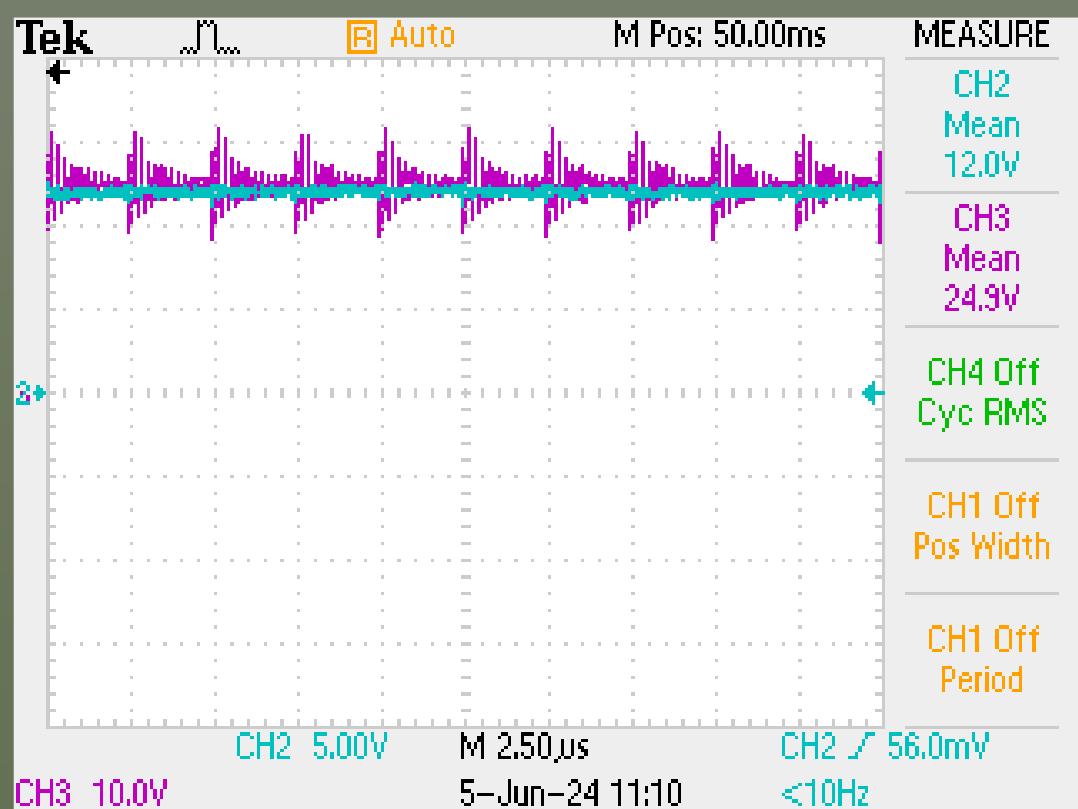


Testes da tensão no primário com pontas de prova diferenciais (problemas de *ringing*)



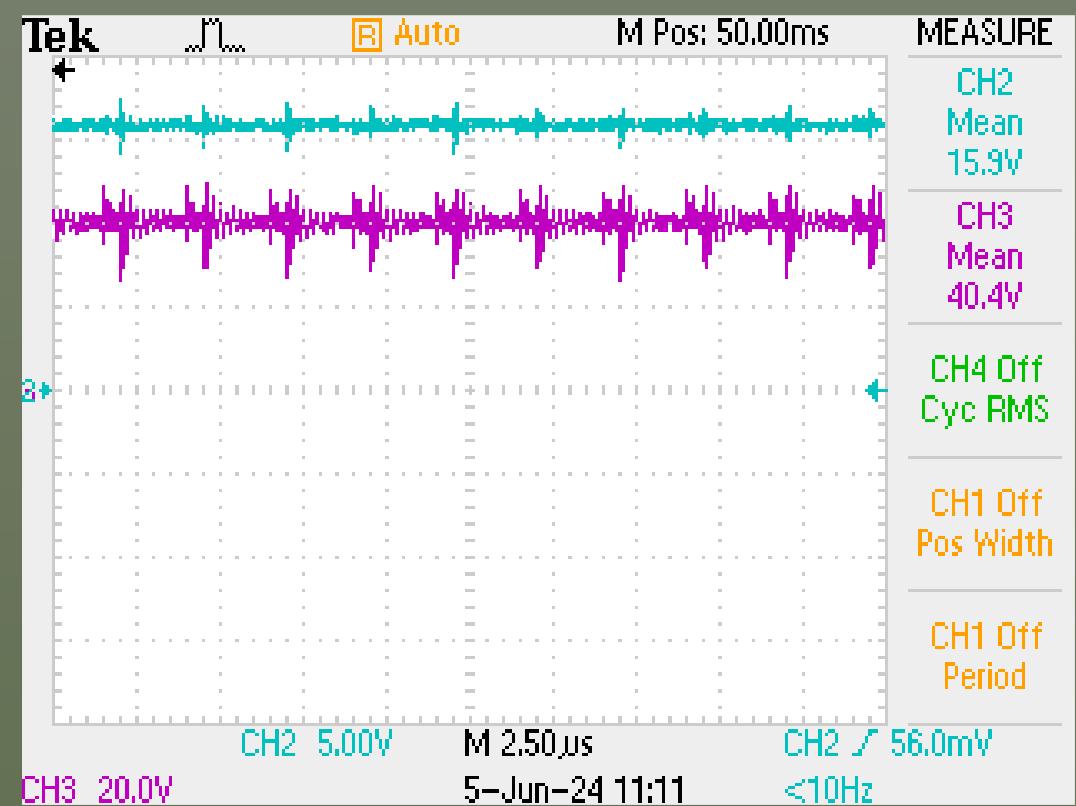
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 25 \text{ V}$ e $V_{\text{saída}} = 12 \text{ V}$
 $V_{\text{referência}} = 12 \text{ V}$



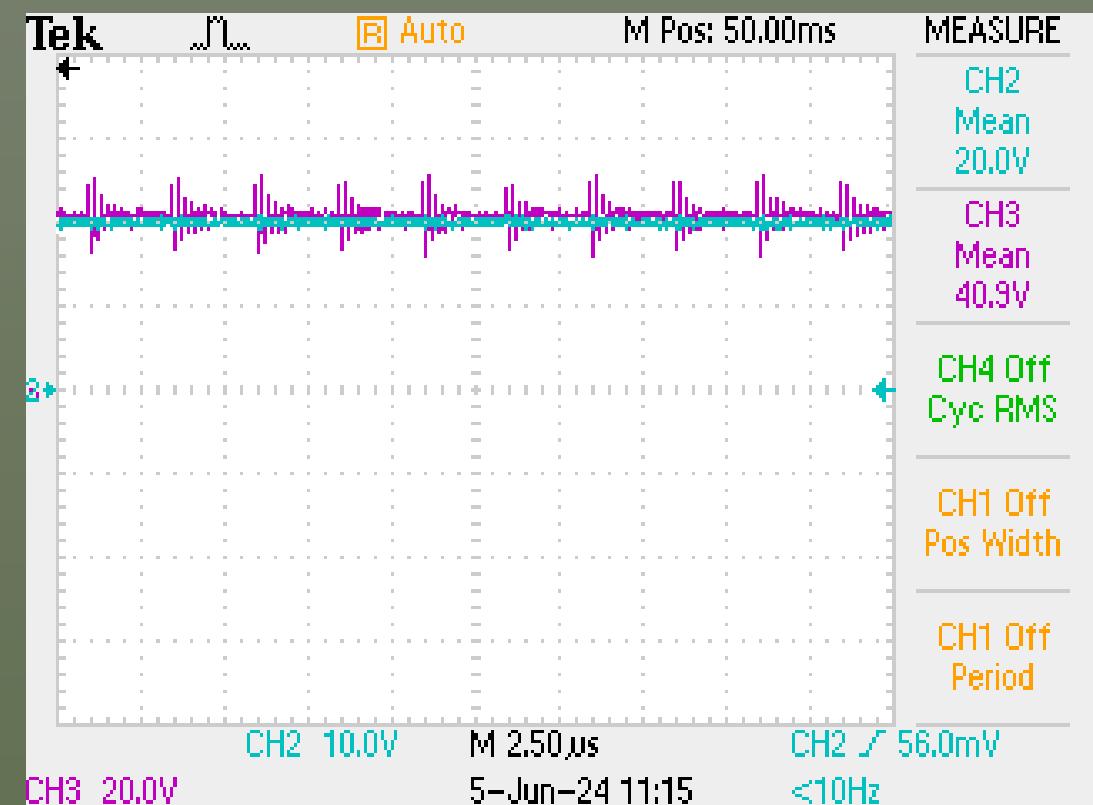
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 40 \text{ V}$ e $V_{\text{saída}} = 15,9 \text{ V}$
 $V_{\text{referência}} = 15 \text{ V}$



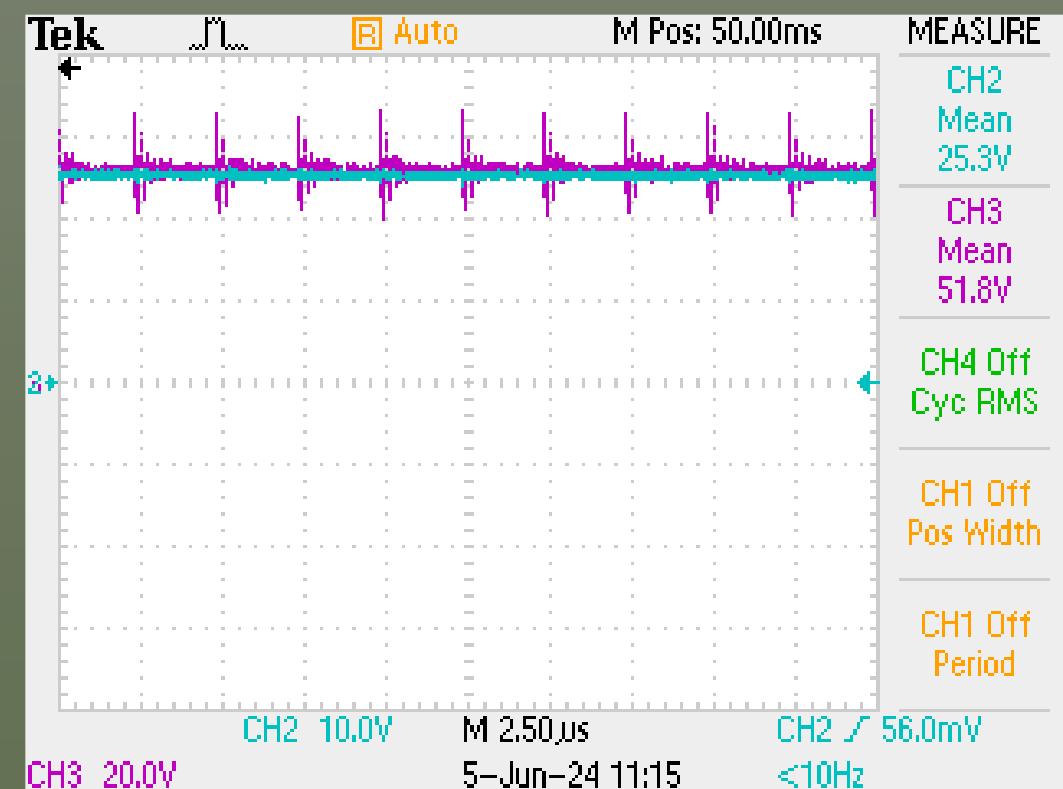
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 40 \text{ V}$ e $V_{\text{saída}} = 20 \text{ V}$
 $V_{\text{referência}} = 25 \text{ V}$



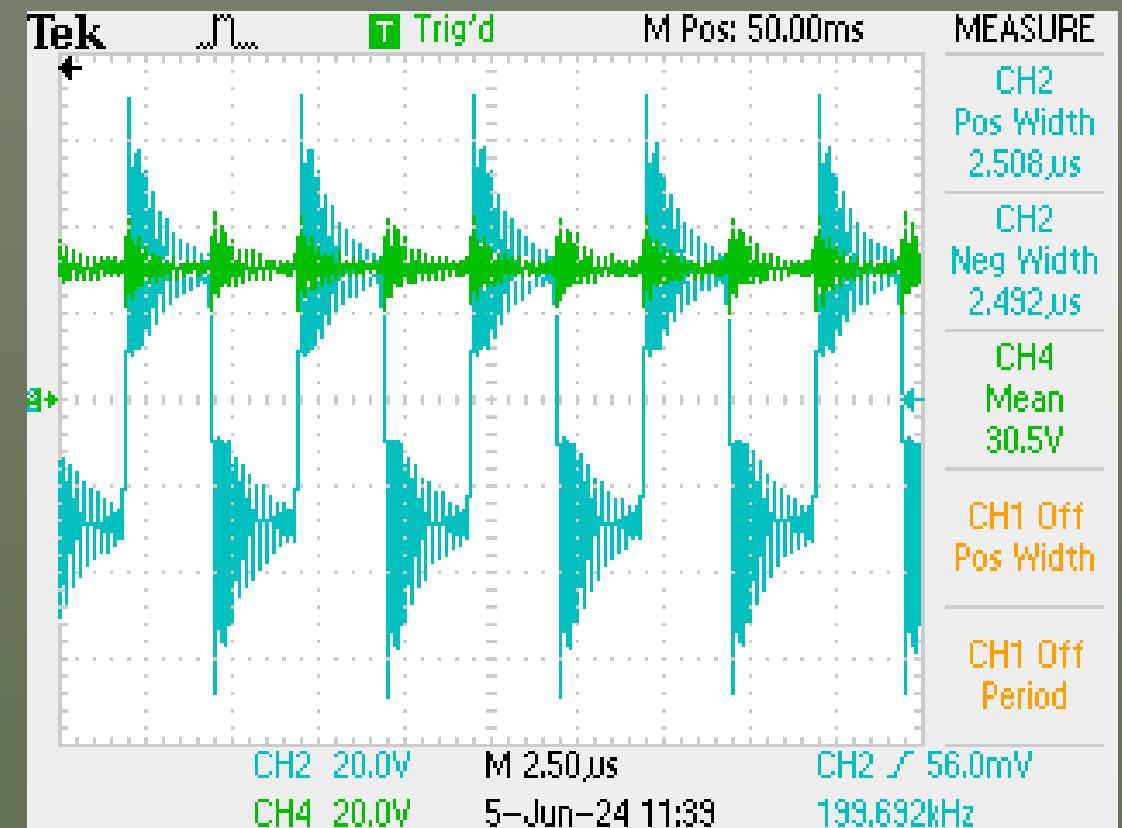
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 51,8 \text{ V}$ e $V_{\text{saída}} = 25,3 \text{ V}$
 $V_{\text{referência}} = 25 \text{ V}$



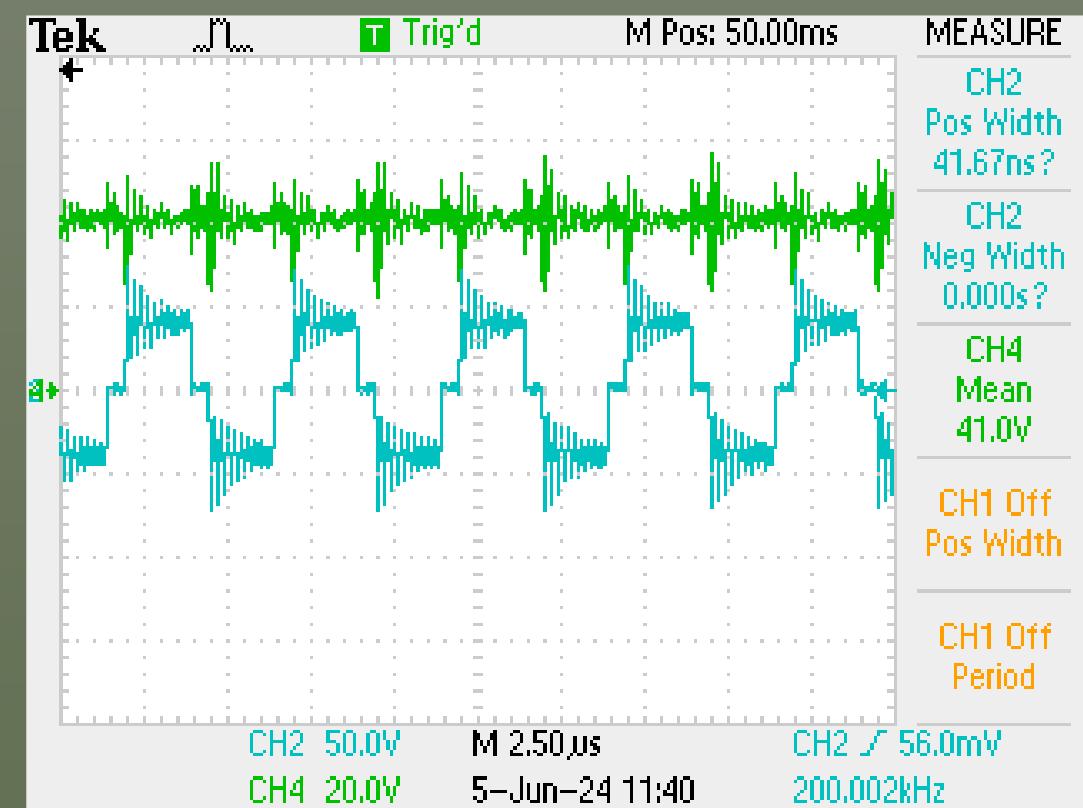
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 30,5 \text{ V}$ e $V_{\text{primário}}$
- $V_{\text{referência}} = 15 \text{ V}$



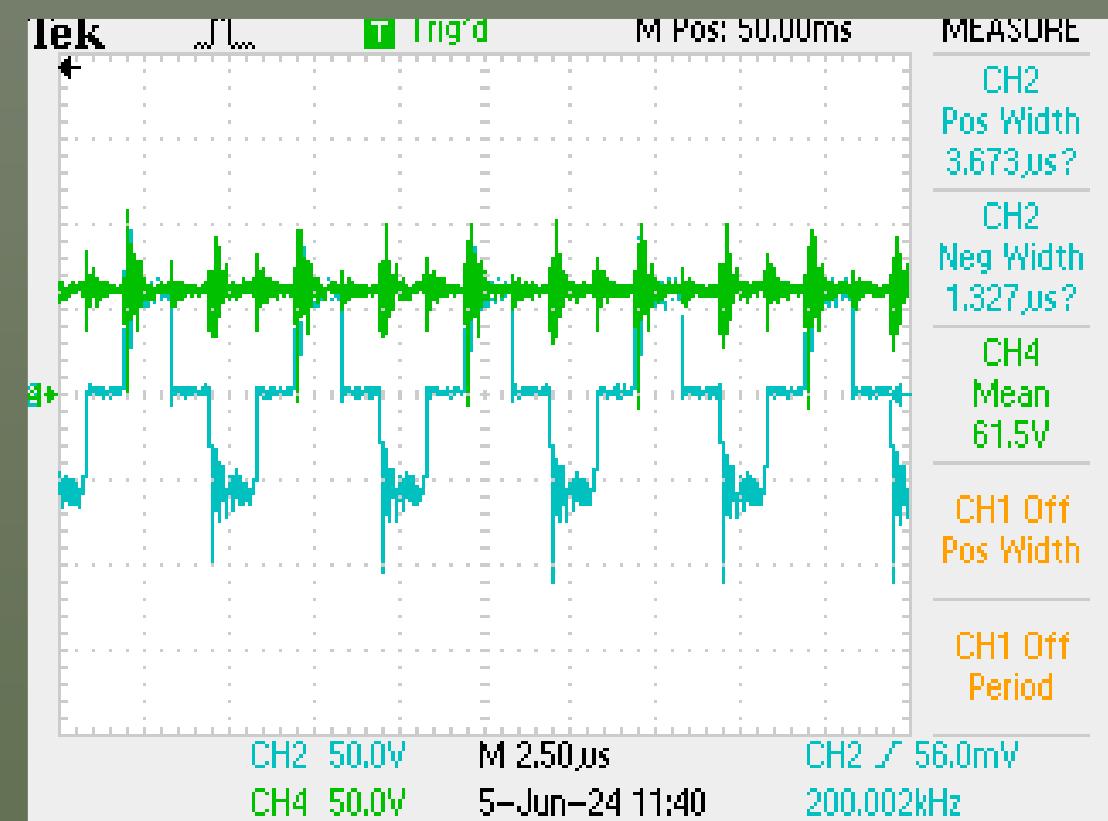
Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 41 \text{ V}$ e $V_{\text{primário}}$
- $V_{\text{referência}} = 15 \text{ V}$



Testes e Resultados

- $V_{\text{entrada}} = 61,5 \text{ V}$ e $V_{\text{primário}}$
- $V_{\text{referência}} = 15 \text{ V}$



Testes e Resultados

○ Cargas utilizadas



$31,3\ \Omega$



$2,4\ \Omega$



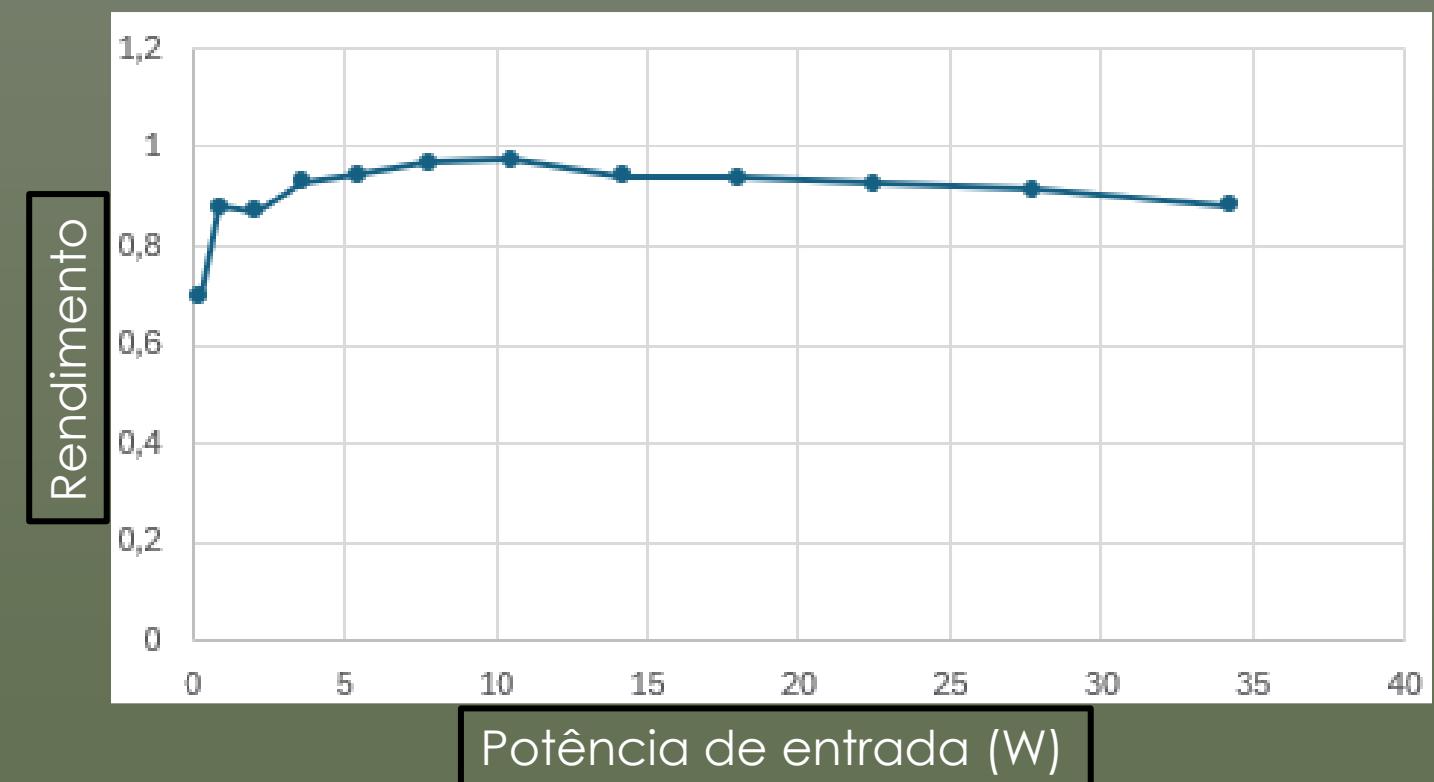
$10\ \Omega$

Testes e Resultados

Curva de rendimento



$$R_{TOTAL} = 31,3 \Omega$$



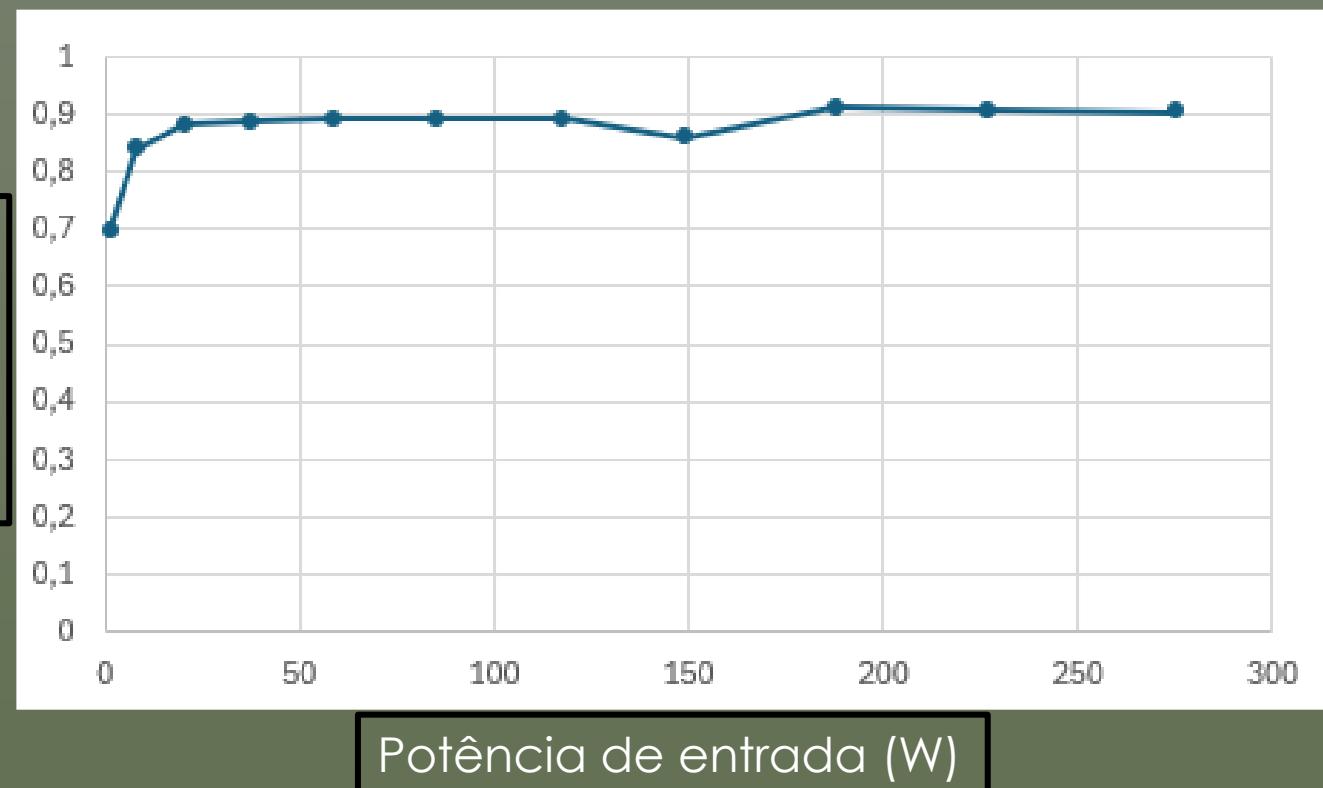
Testes e Resultados

○ Curva de rendimento



$$R_{TOTAL} = 2,4 \Omega$$

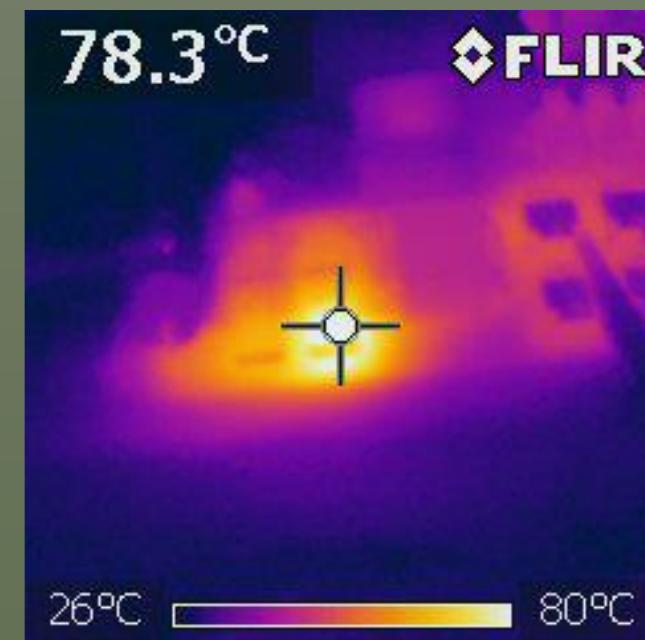
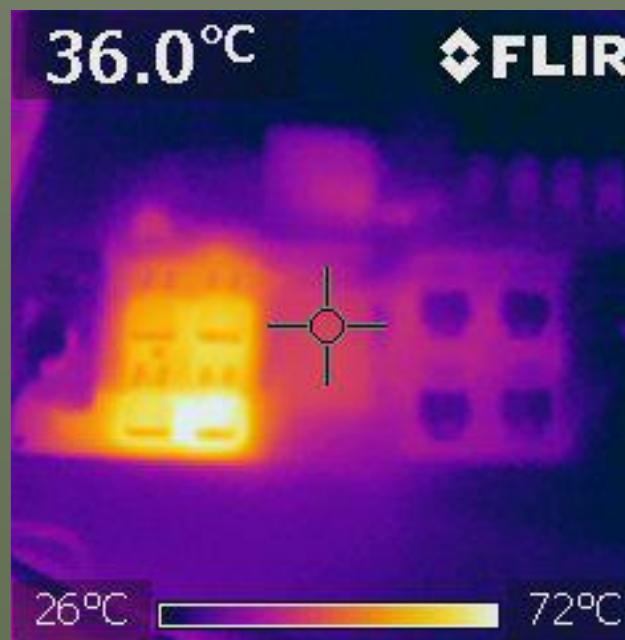
Rendimento



Potência de entrada (W)

Testes e Resultados

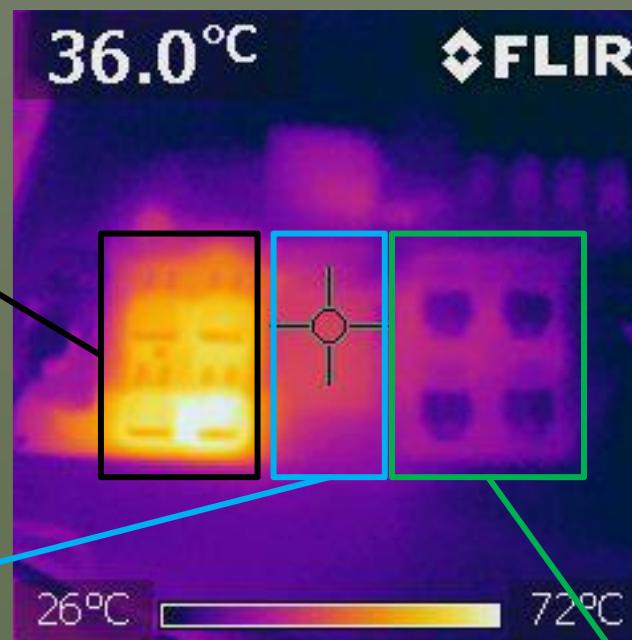
○ Temperatura do sistema / dissipação do calor



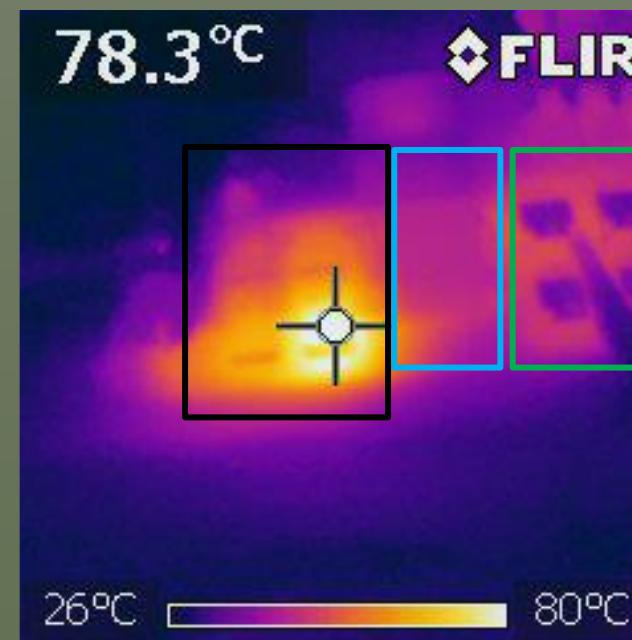
Testes e Resultados

○ Temperatura do sistema / dissipação do calor

Ponte Retificadora



Transformador Planar



Ponte H - MOSFET

Testes e Resultados

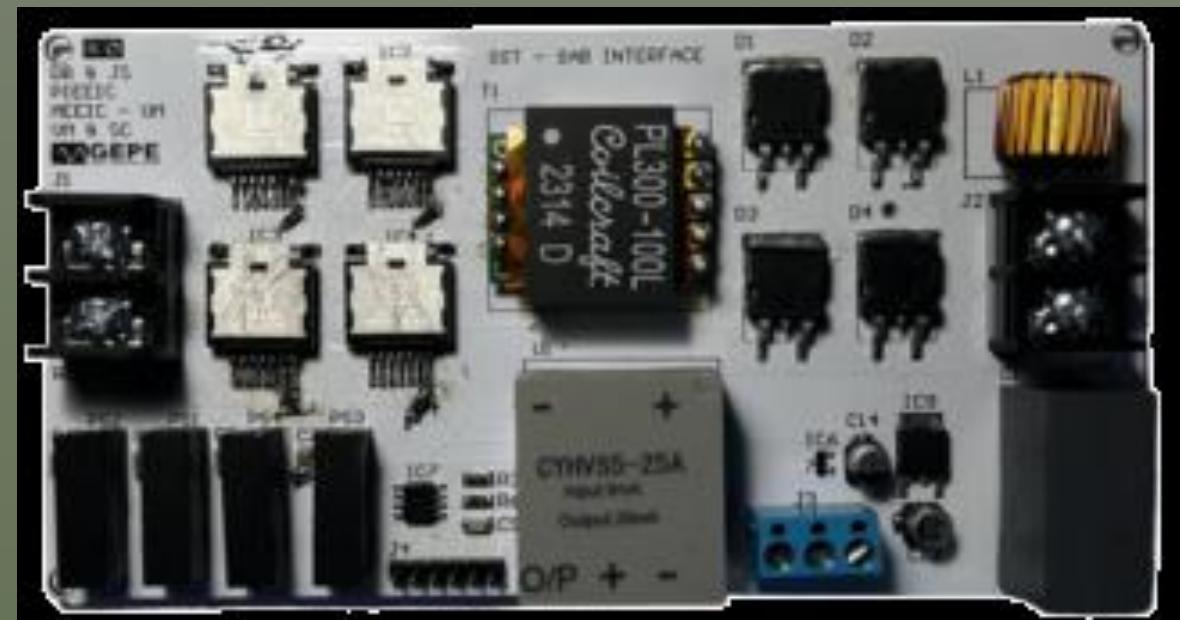
○ Densidade de potência

Dimensões: $145 \times 75 \times 24 \text{ mm}$

Volume: 261 cm^3

$P_{\text{máxima}} = 300 \text{ W}$

Densidade de potência: $1,149 \text{ W/cm}^3$



Desenvolvimentos futuros

- Amortecimento do fenómeno de *ringing* no primário do transformador
- Solução mais integrada, com microcontrolador embutido e sem necessidade de fontes de alimentação externas
- Gestão térmica. A dissipação de calor pode ser otimizada.

Conclusão

- Conquistas significativas e valiosa experiência de aprendizagem
- Desenvolvimento de PCB de potência, contacto com componentes SMD e comandar semicondutores SiC com drivers dedicados
- Entender como esta tecnologia pode auxiliar o desenvolvimento de novas redes de energia mais eficientes e inteligentes

Agradecimentos

- Gostaríamos de agradecer ao Professor Vítor Monteiro e ao Professor Sérgio Coelho pelos desafios, orientação e disponibilidade
- Também agradecemos ao laboratório do GEPE e aos seus membros - professores, investigadores e alunos – pela ajuda com qualquer questão, e pelo apoio com o material utilizado ao longo deste projeto

Referências

- State of the Art of Solid-State Transformers: Advanced Topologies, Implementation Issues, Recent Progress and Improvements
- An Analysis-Supported Design of a Single Active Bridge (SAB) Converter
- Afonso, João Luís, Monteiro, Vítor, Slides da UC de Eletrónica de Potência para Redes Elétricas Inteligentes
- Guia da placa LAUNCHXL-F28027F

Obrigado pela atenção!

Grupo 02

Diego Brandão PG53769

João Silva PG53942

