

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Electrónica Industrial

Grupo de Electrónica de Potência e Energia



## CONVERSOR CC-CC PARA ALIMENTAÇÃO DE UMA REDE ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

Martim Machado | Vítor Pinto {pg47513, a68544}@alunos.uminho.pt



Grupo 6 - Projeto Integrador em  
Eletrónica Industrial e  
Computadores 2021/2022  
Orientador: Vitor Monteiro

## ÍNDICE

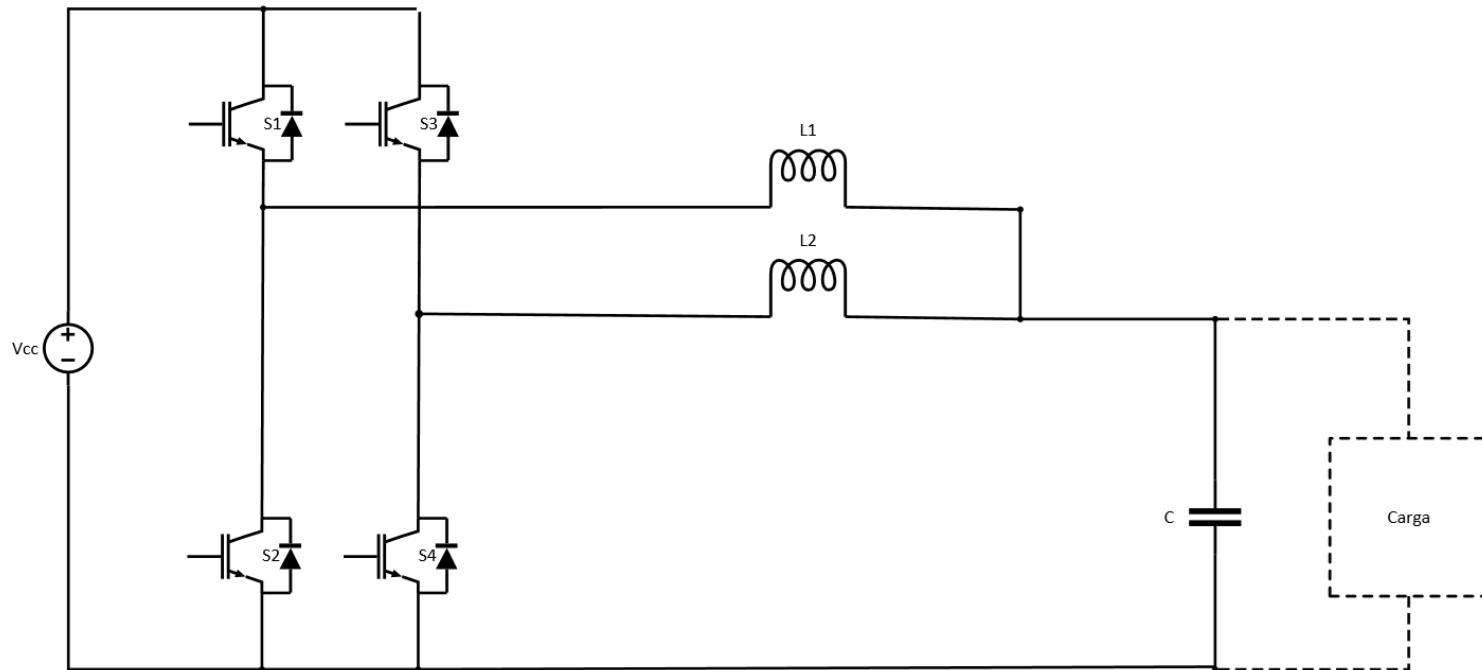
- **Resumo e atualização das fases anteriores (análise e design)**
  - Topologia Adotada
  - Simulações computacionais
  
- **Descrição dos detalhes de implementação relevantes**
  - Implementação prática
  - Sistema de controlo (sensores, drivers, microprocessador, ...)
  - Circuito de potência
  - Esquemático e design da placa para o sistema implementado
  - Montagem do protótipo
  
- **Apresentação e discussão de testes e resultados**
  - Método de validação
  - Resultados em malha aberta
  - Resultados em malha fechada
  
- **Tarefas Realizadas**
- **Conclusões do trabalho**

# Componente teórica

## RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

### - Topologia Adotada

- Menor *ripple* corrente de saída
- Correntes nas bobinas desfasados em  $180^\circ$
- Elevado rendimento

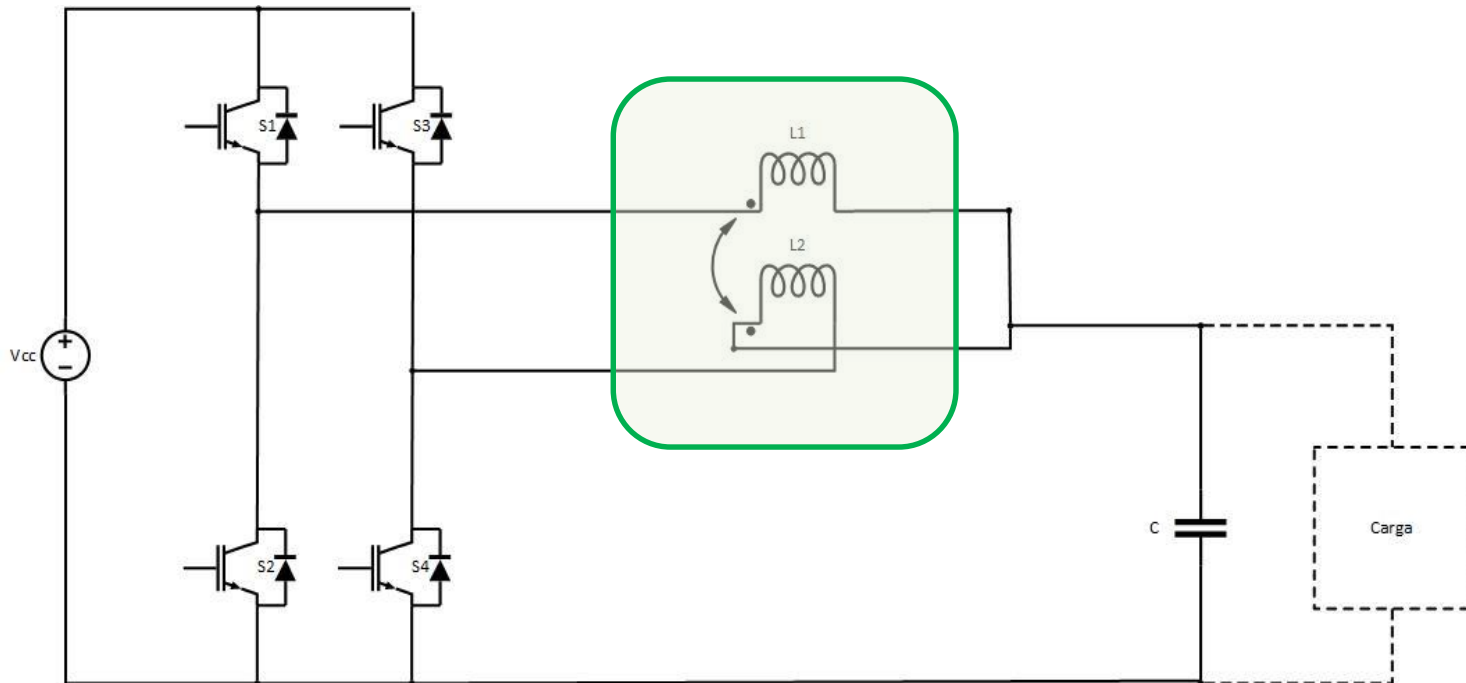


# RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

## - Topologia Adotada

- Peso e tamanho reduzidos

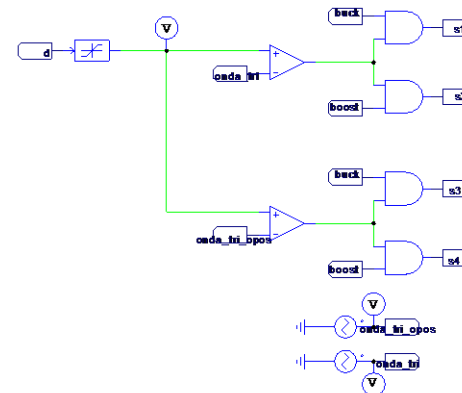
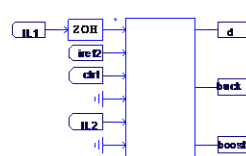
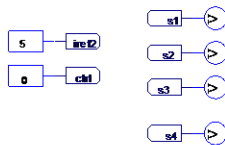
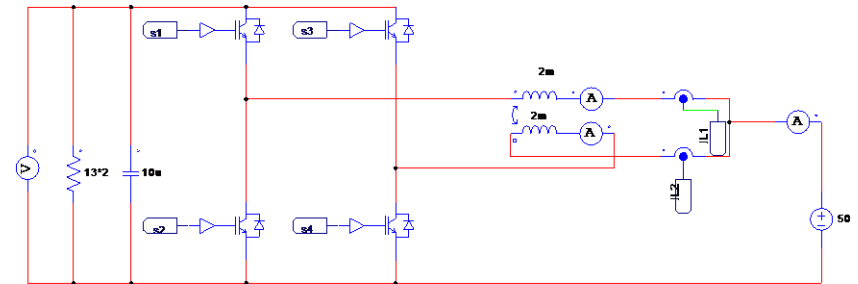
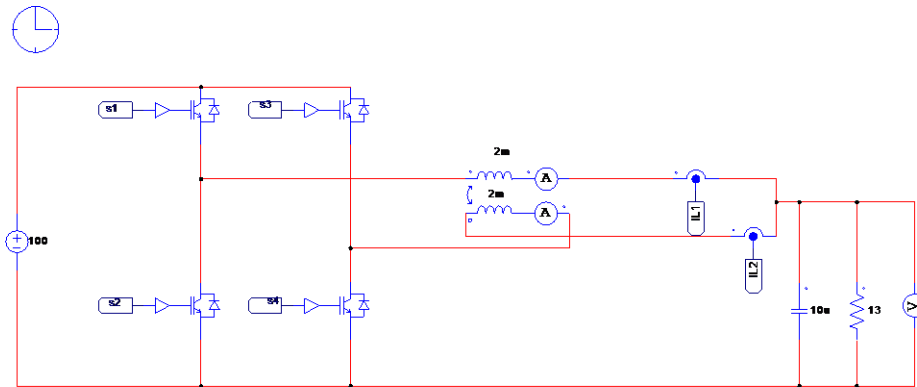
...foi usada uma bobina com núcleo com acoplamento mútuo...



# Validação Computacional

# RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

## - Simulações computacionais

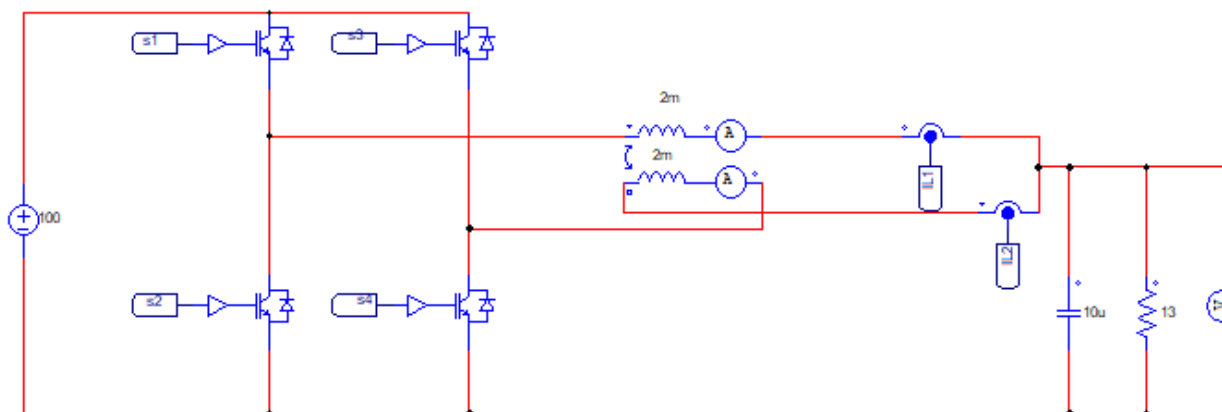


## RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

### - Simulações computacionais

- Previsão comportamento do sistema/projeto
- Maior segurança na validação experimental
- Software utilizado: PSIM (Powersim Inc.)
- Controlador PI

$$D = k_p(i_{ref} - i_L) + k_i \int (i_{ref} - i_L) dt$$



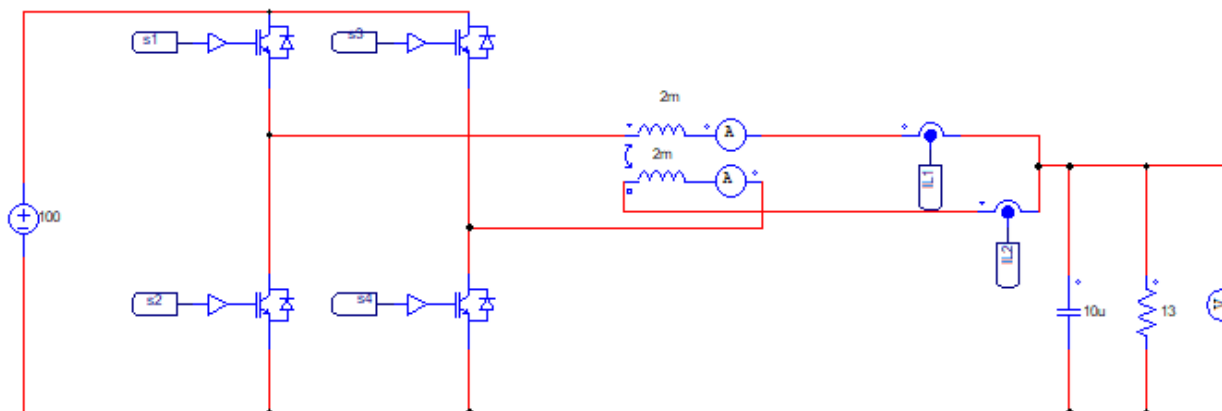


## RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

### - Simulações computacionais

- Previsão comportamento do sistema/projeto
- Maior segurança na validação experimental
- Software utilizado: PSIM (Powersim Inc.)
- Controlador PI

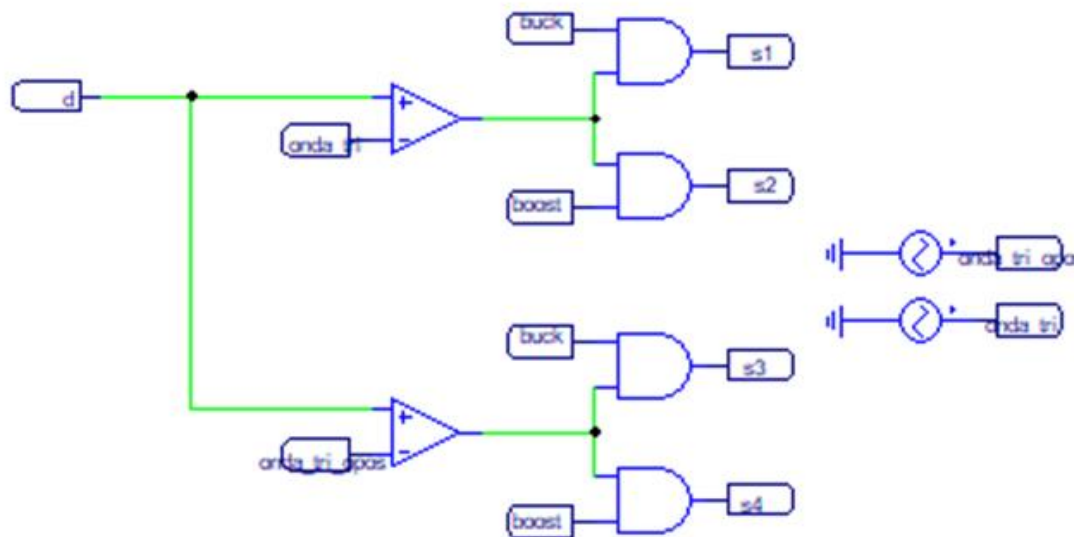
...corrente em cada bobina controlada de forma individual...





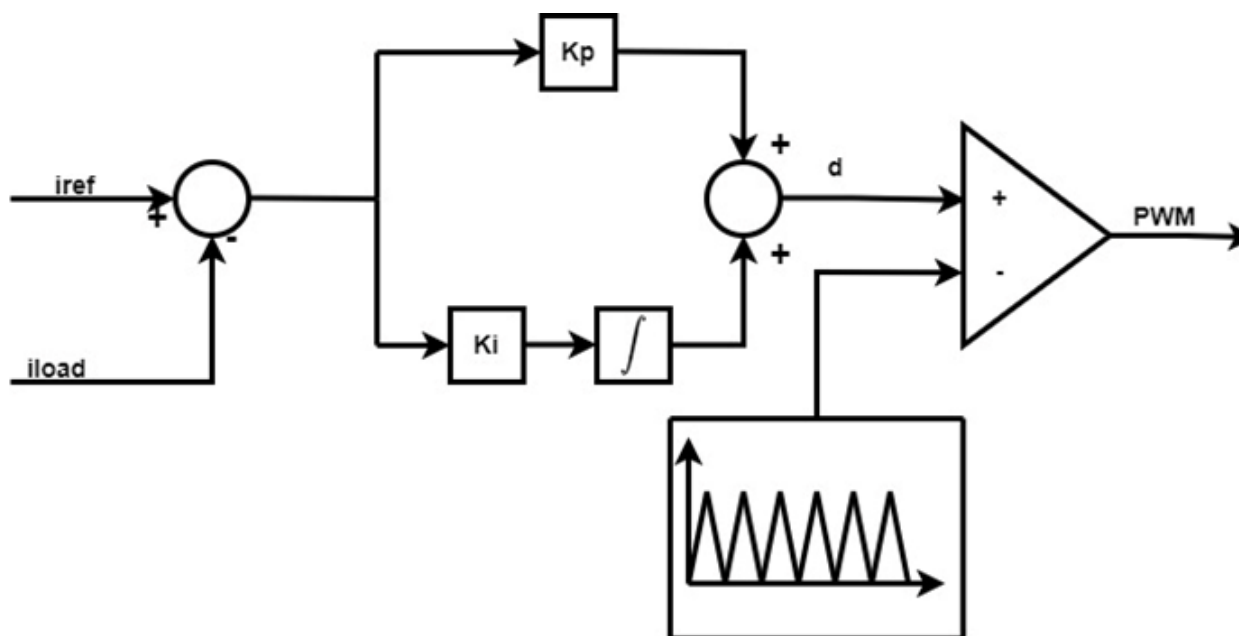
## RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

- **Simulações computacionais**
  - Circuito de controlo
    - Lógica combinacional (selecionar *buck* ou *boost*)
    - Obtidos sinais de PWM desfasados em 180°



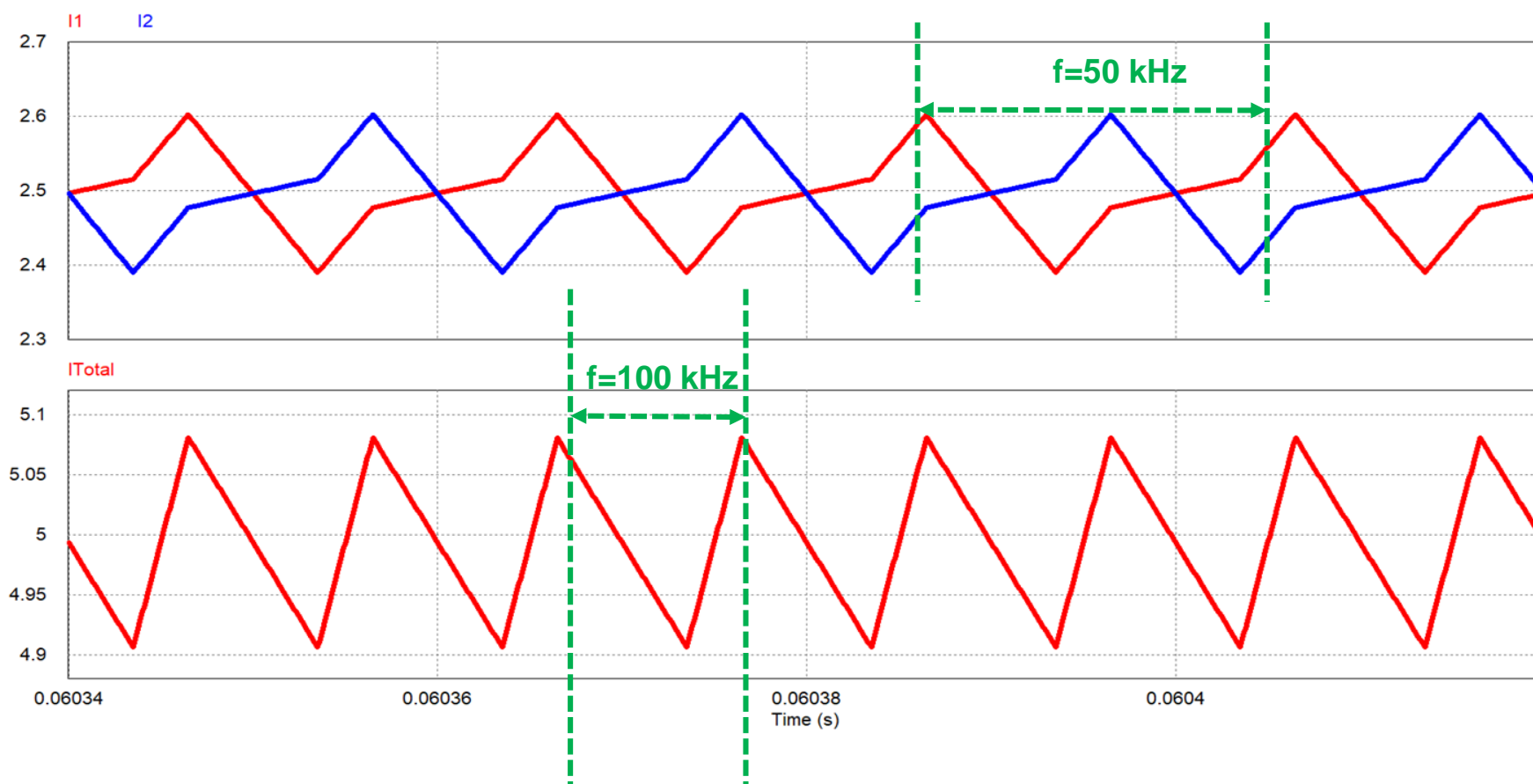
## RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

- **Simulações computacionais**
  - Sistema de controlo
    - Frequência de amostragem 100 kHz
    - Frequência de comutação 50 kHz



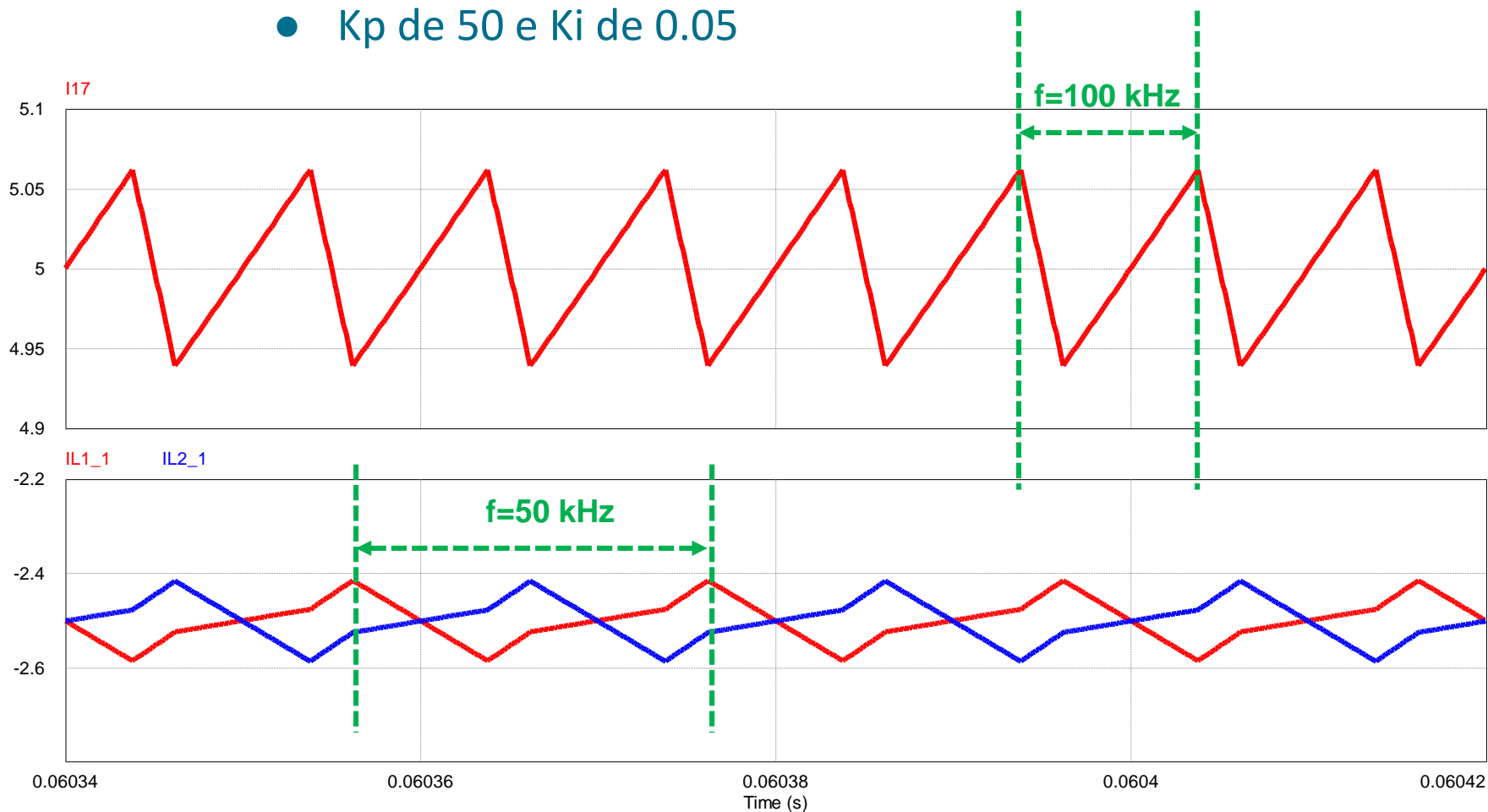
# RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

- **Simulações computacionais**
  - Modo abaixador (*buck*)
    - Kp de 55 e Ki de 0.05



# RESUMO E ATUALIZAÇÃO DAS FASES ANTERIORES (ANÁLISE E DESIGN)

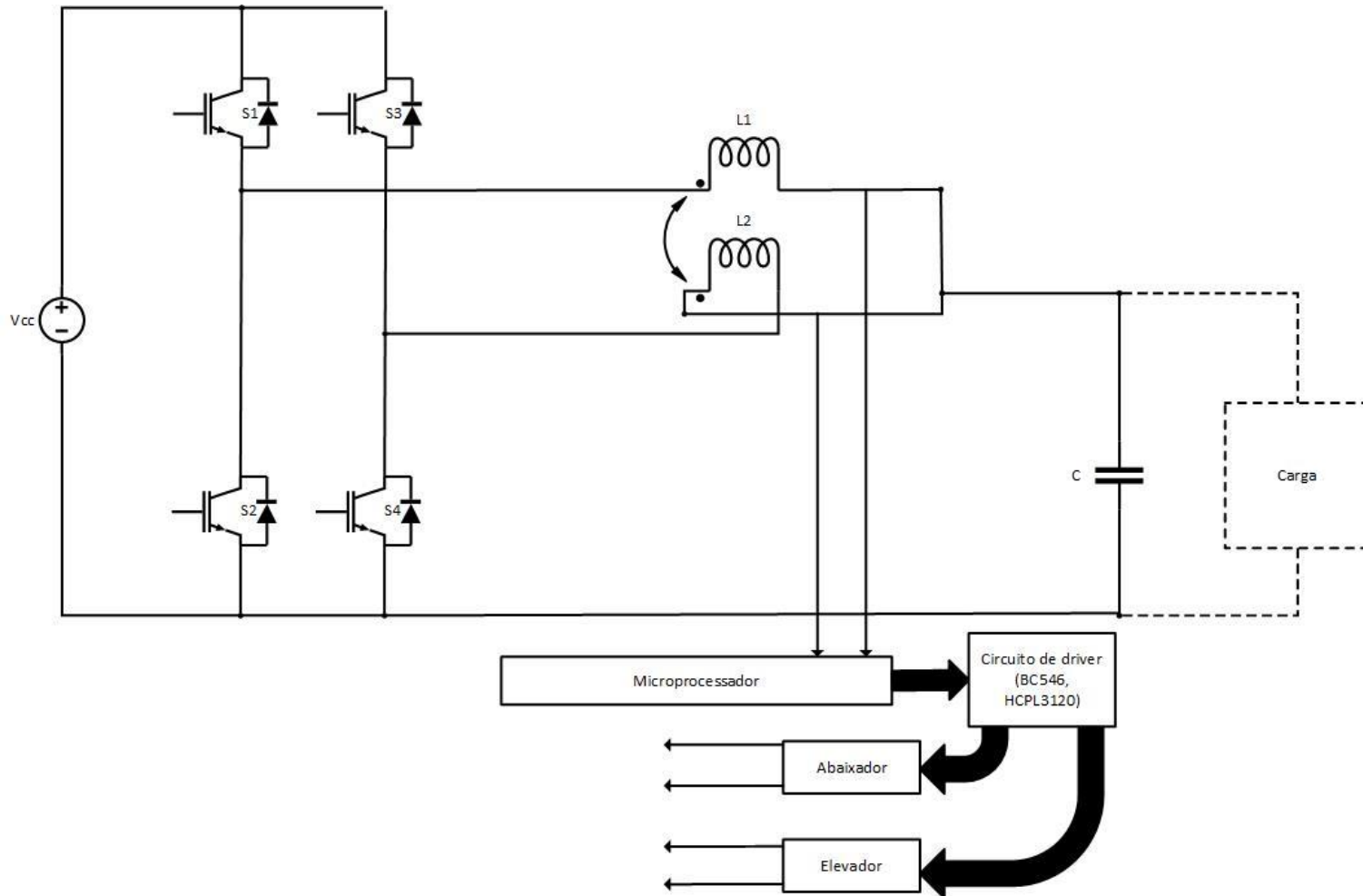
- **Simulações computacionais**
  - Modo elevador (*boost*)
    - Kp de 50 e Ki de 0.05



# Implementação Prática

## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

- **Implementação prática**
  - Sistema de controlo



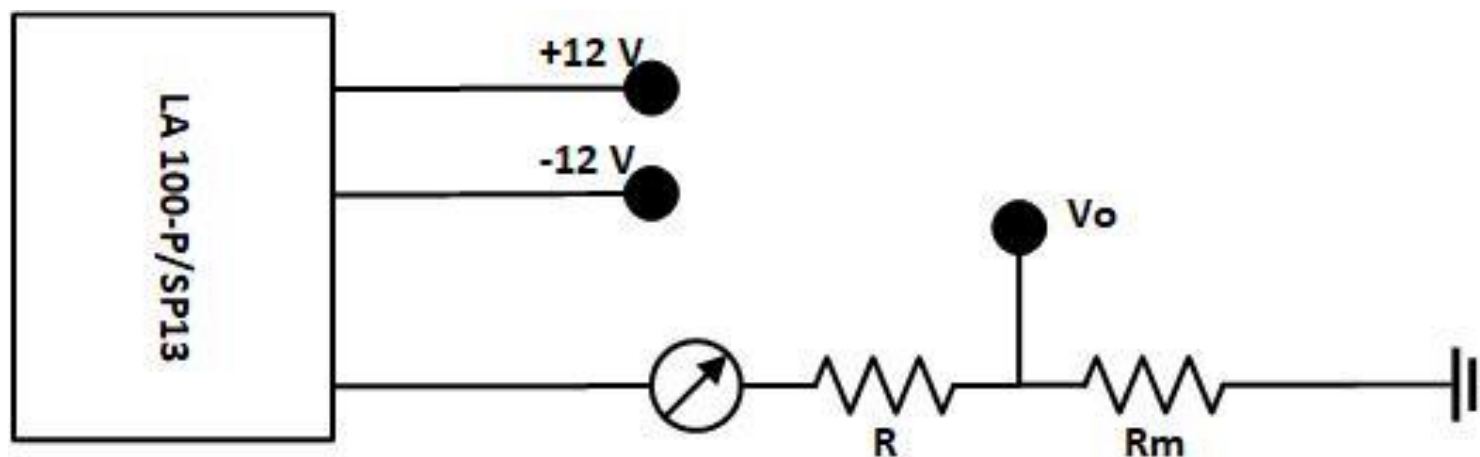


## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Sistema de controlo

#### - Sensores de corrente

- Sensor efeito de *Hall* LA 100-P/SP13
- Medição de correntes CC e CA até 100 A
- Corrente 1000 vezes inferior no secundário
- $10\ \Omega < (R+R_m) < 65\ \Omega$

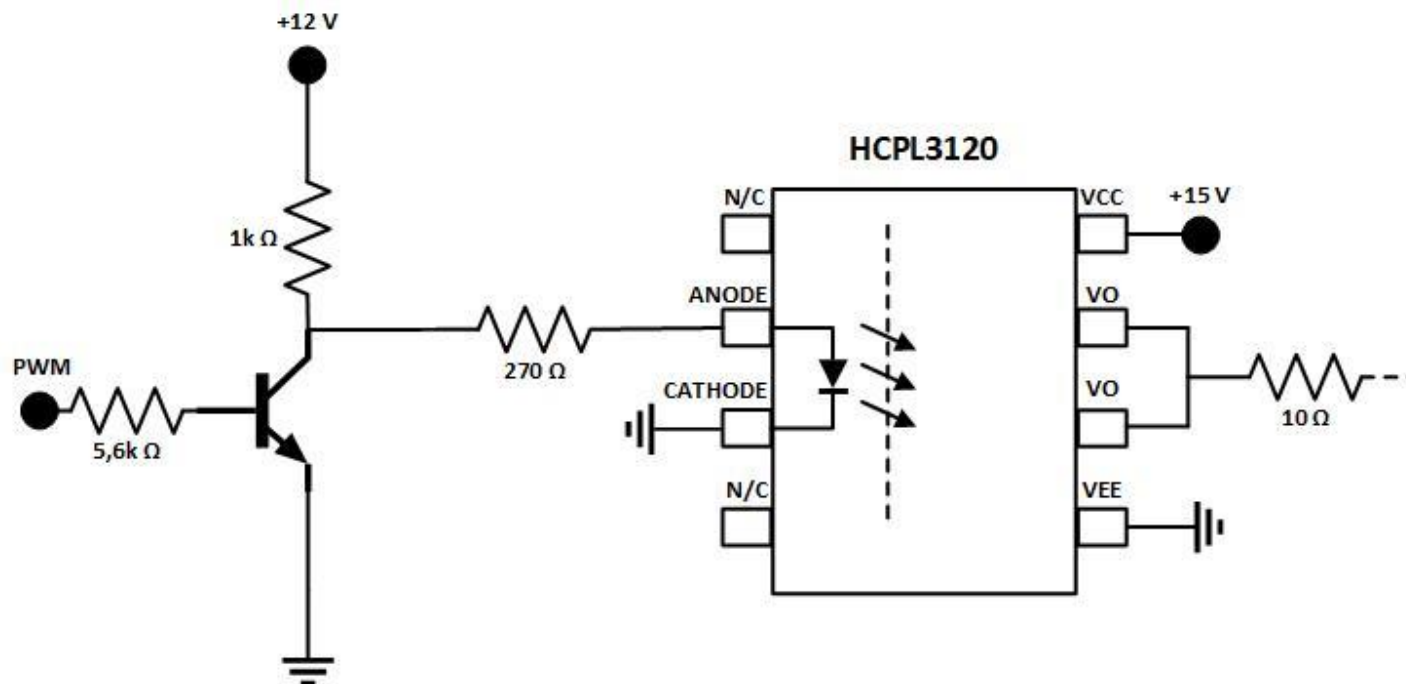


## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Sistema de controlo

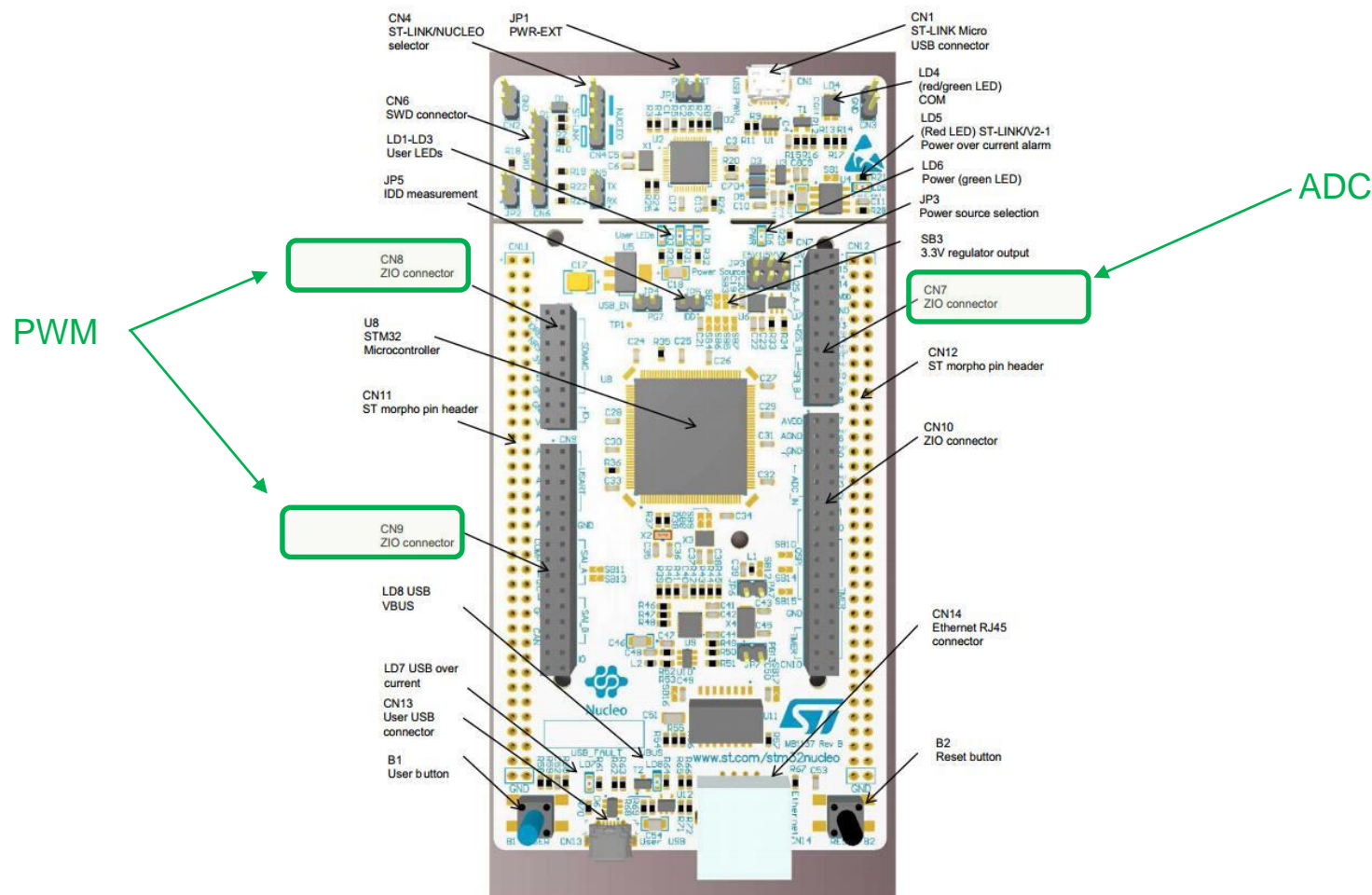
#### - Circuito de *driver*

- Transístor bipolar BC546
- Optoacoplador HCPL3120
- Sinal de PWM com corrente de 10 mA (*input* HCPL3120)
- Lógica inversora



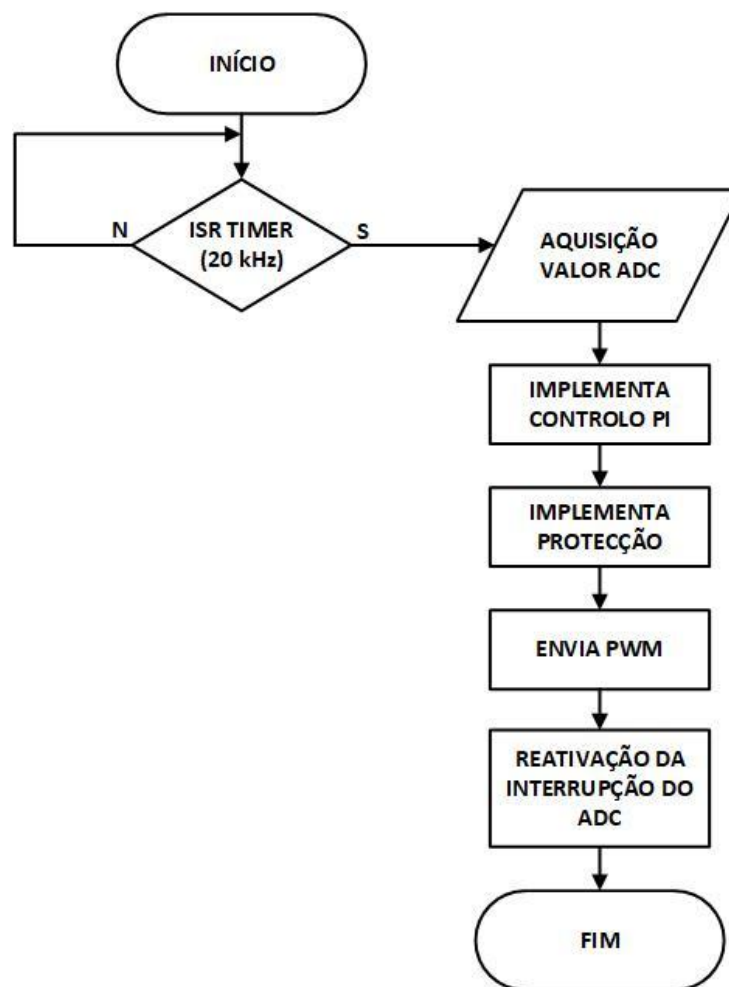
# DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

- Microprocessador
  - STM32F767ZIT6



## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

- Sistema de controlo
  - Fluxograma da rotina de controlo



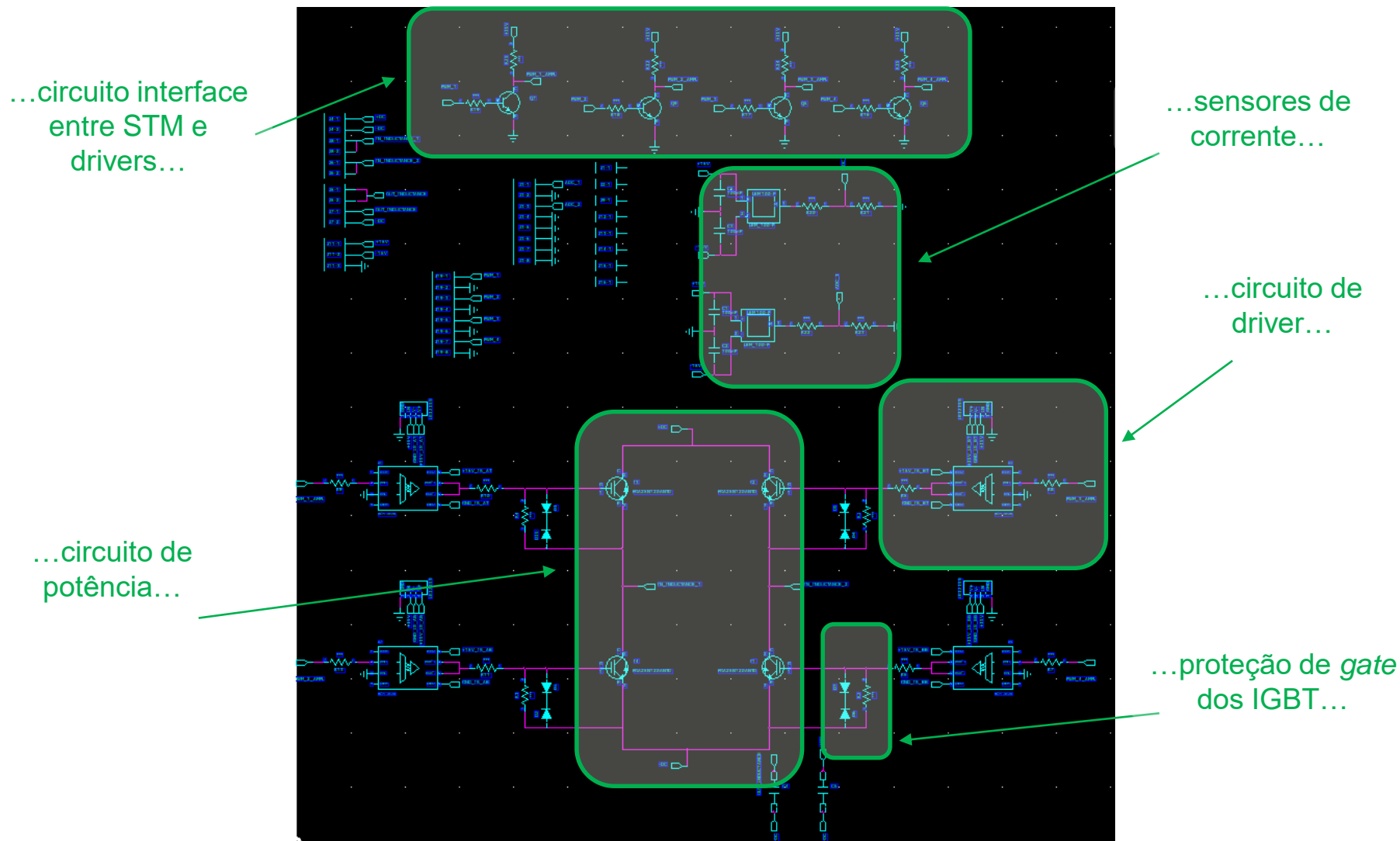
## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Circuito de potência

- IGBT com referência *FGA25N120AN*
- Bobinas de acoplamento mútuo de 2 mH | 20 A
- Colocação de dissipador (10 cm x 10 cm)
- Condensadores de 15  $\mu$ F 800 V
- Tensão *input* máxima: 150 V
- Tensão *output* máxima: 150 V
- Potência máxima: 2,4 kW

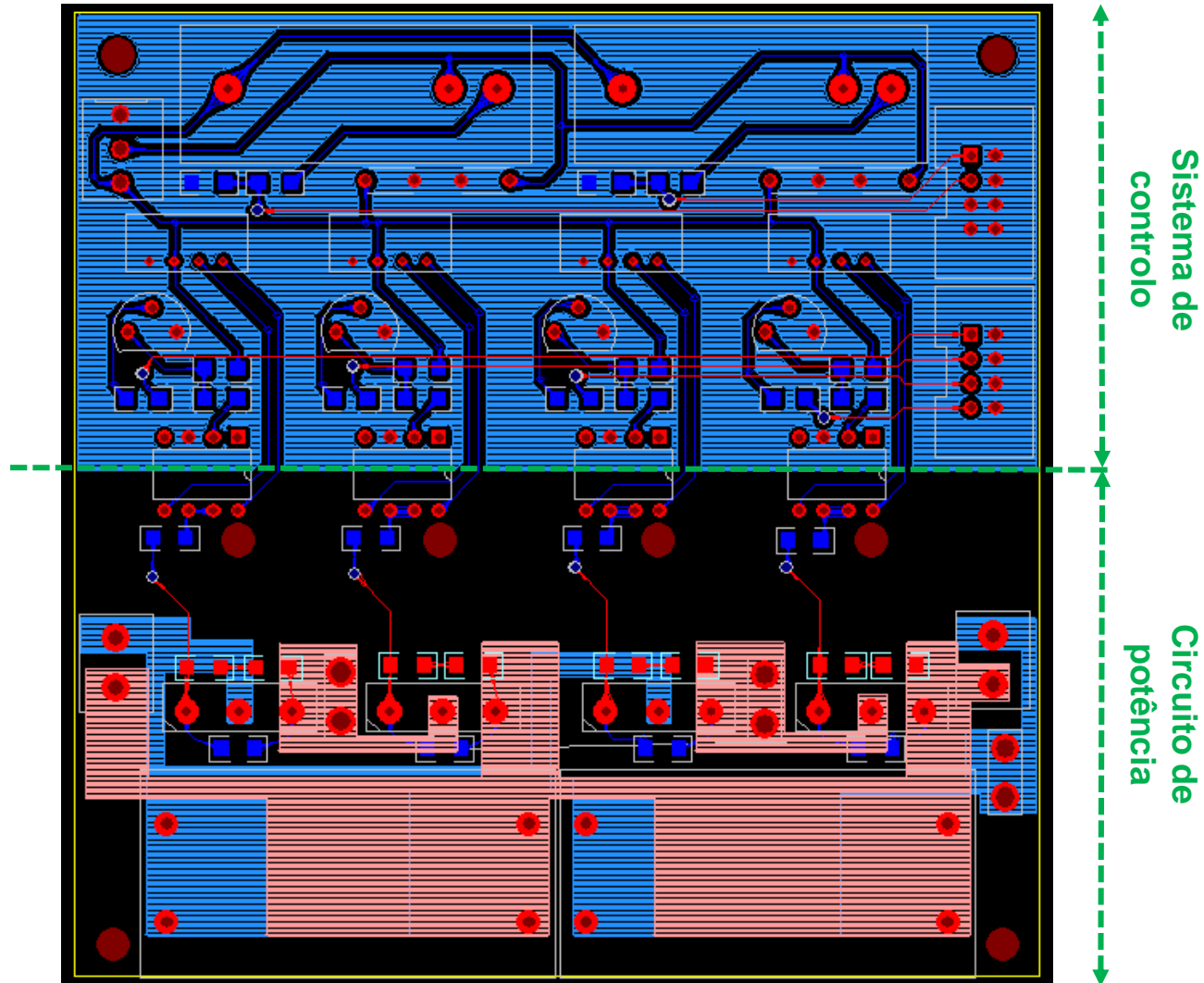
## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Esquemático e Design da Placa para o Sistema Implementado



## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

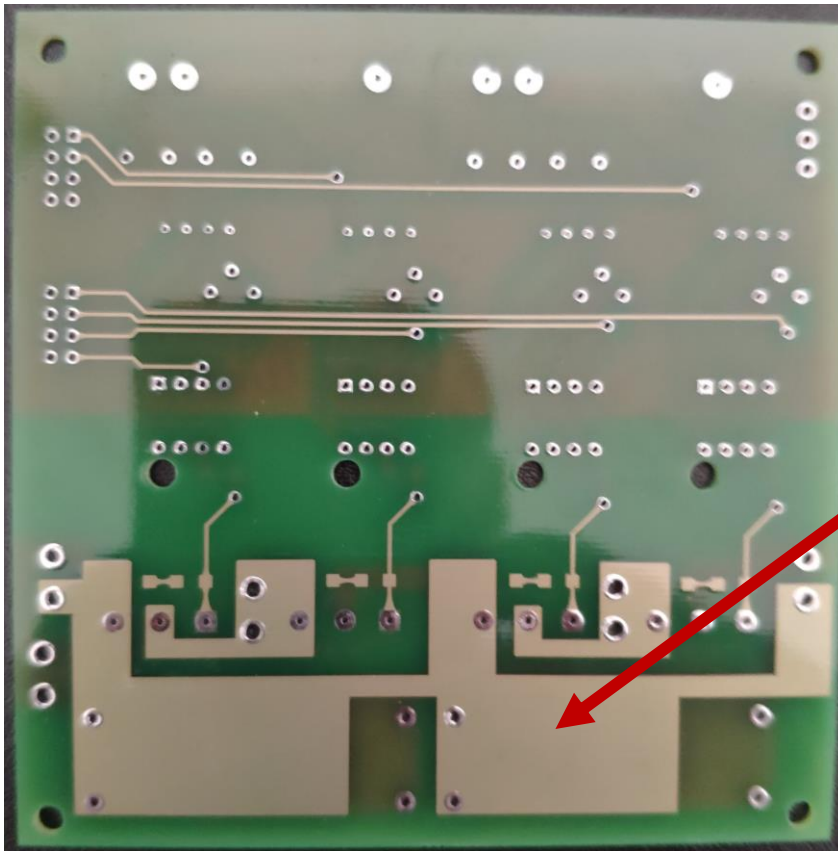
### - Esquemático e Design da Placa para o Sistema Implementado



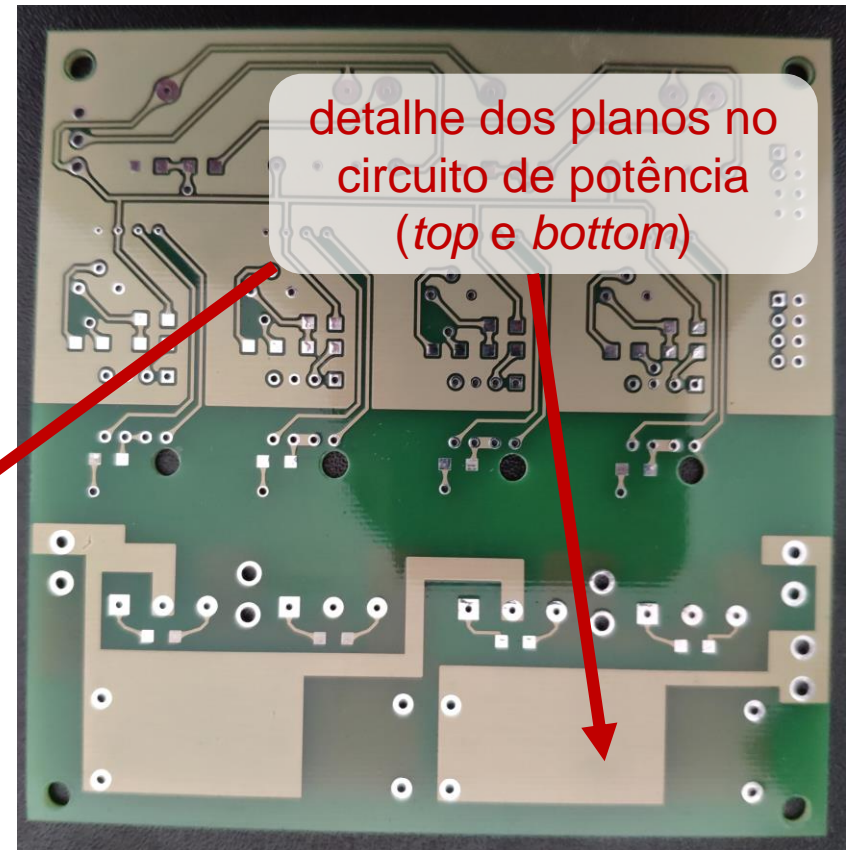


## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - PCB desenvolvido



*bottom view*

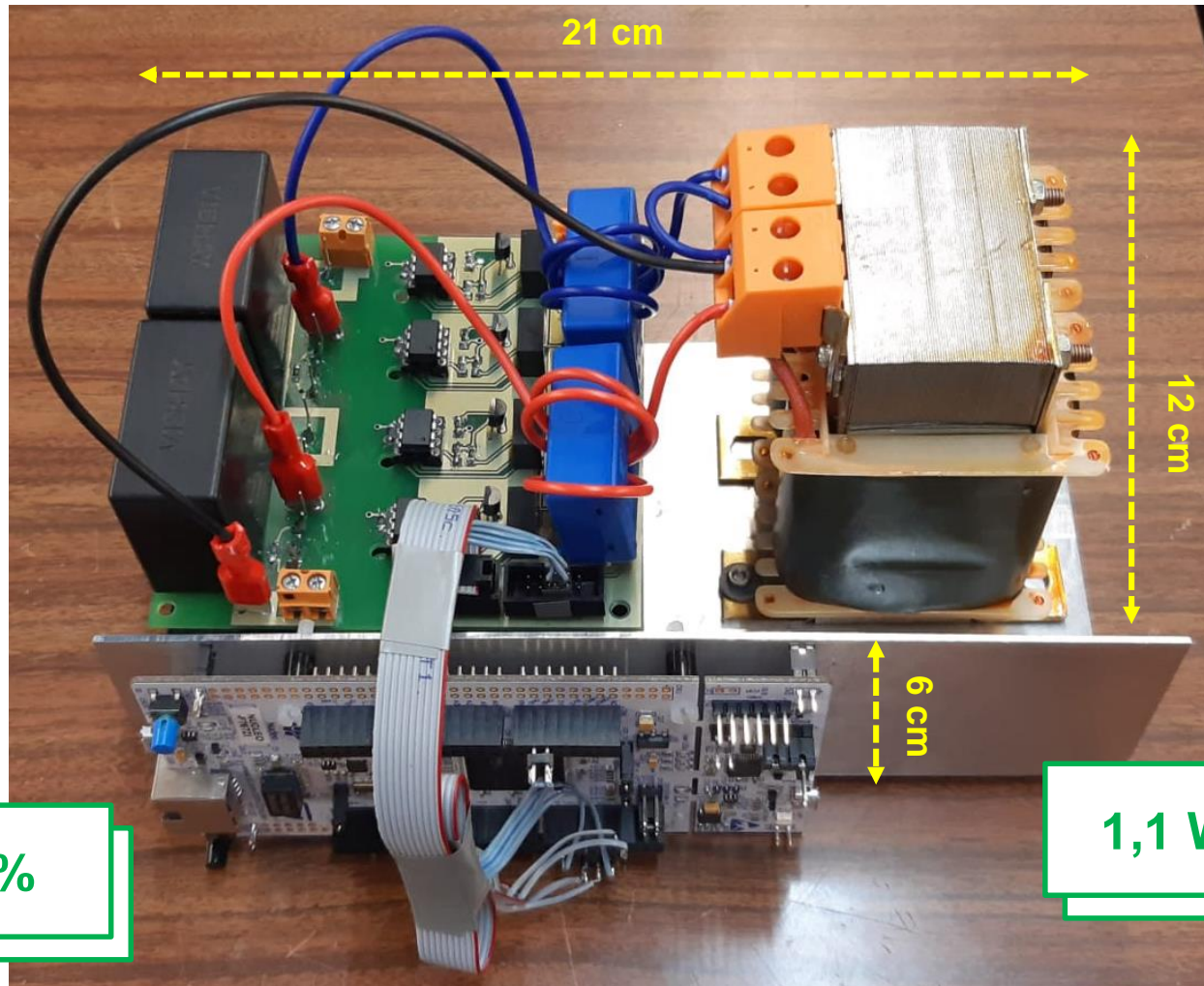


*top view*



## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Montagem do protótipo

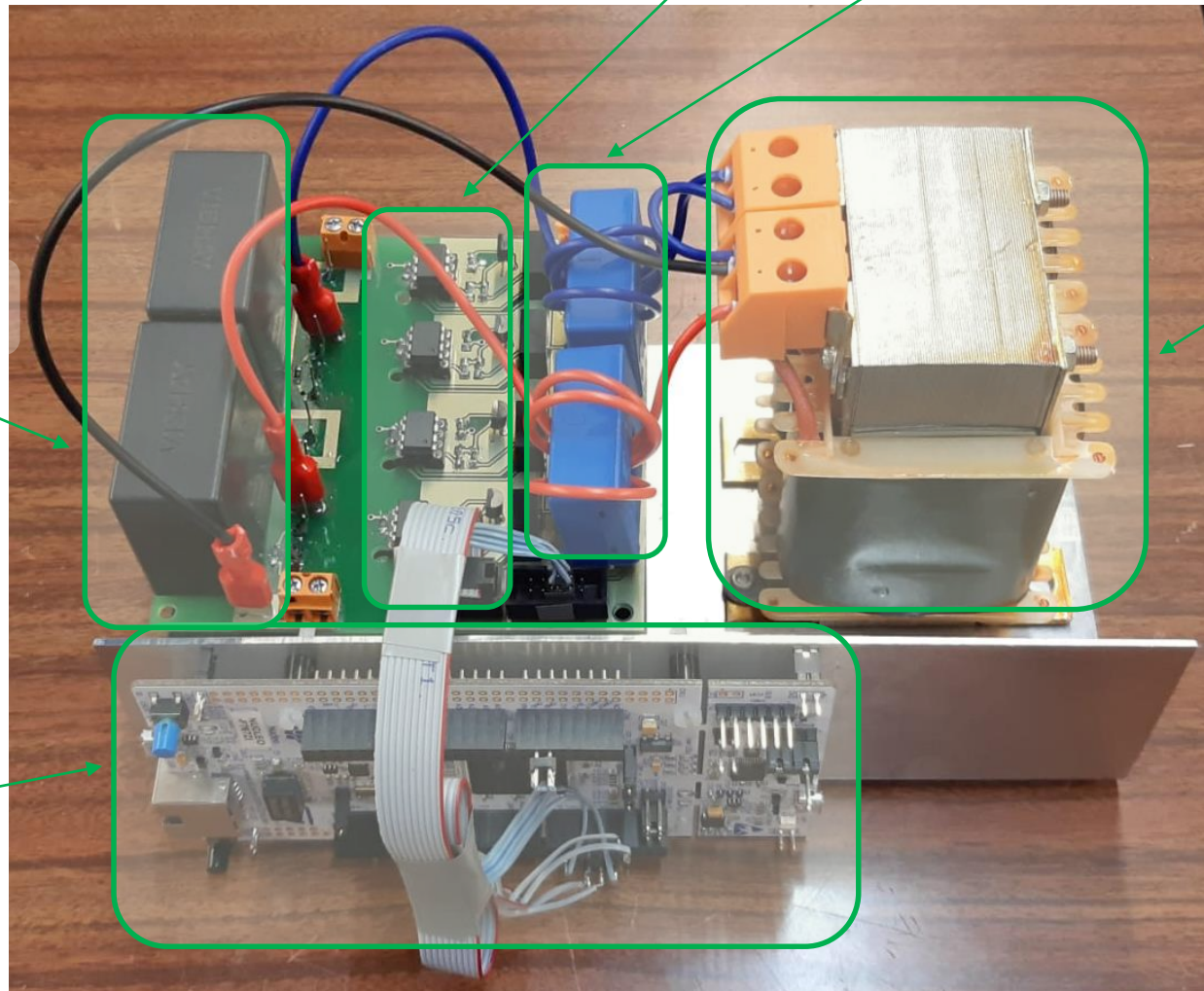


$\eta = 92,6\%$

$1,1 \text{ W / cm}^3$

## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Montagem do protótipo



...circuito de driver  
com SMD...

...sensores de  
corrente...

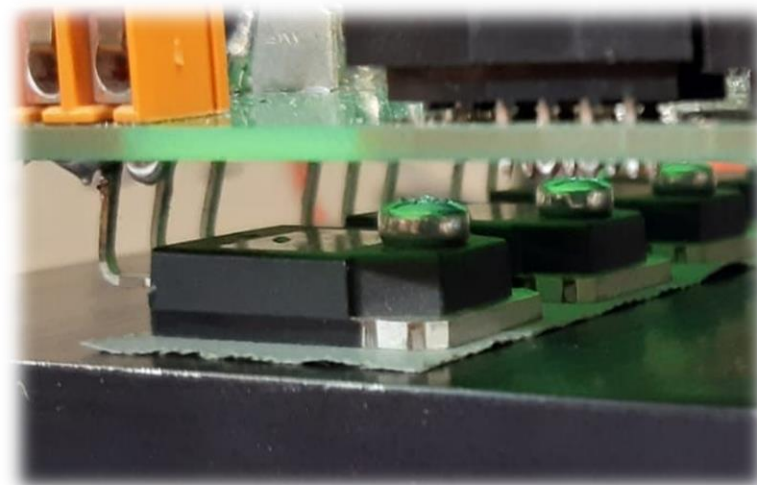
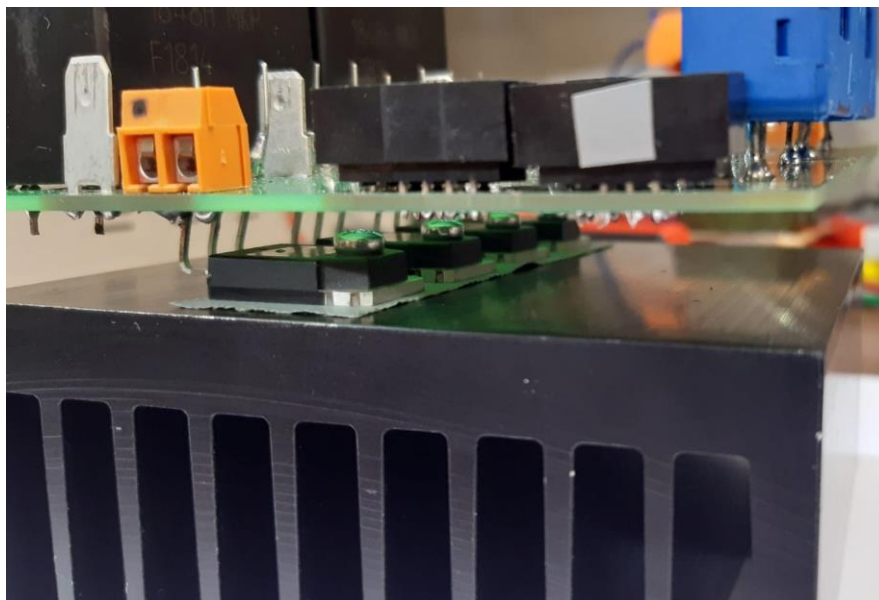
...bobinas...

...condensadores  
(input e output)...

...STM...

## DESCRIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO RELEVANTES

### - Montagem do protótipo

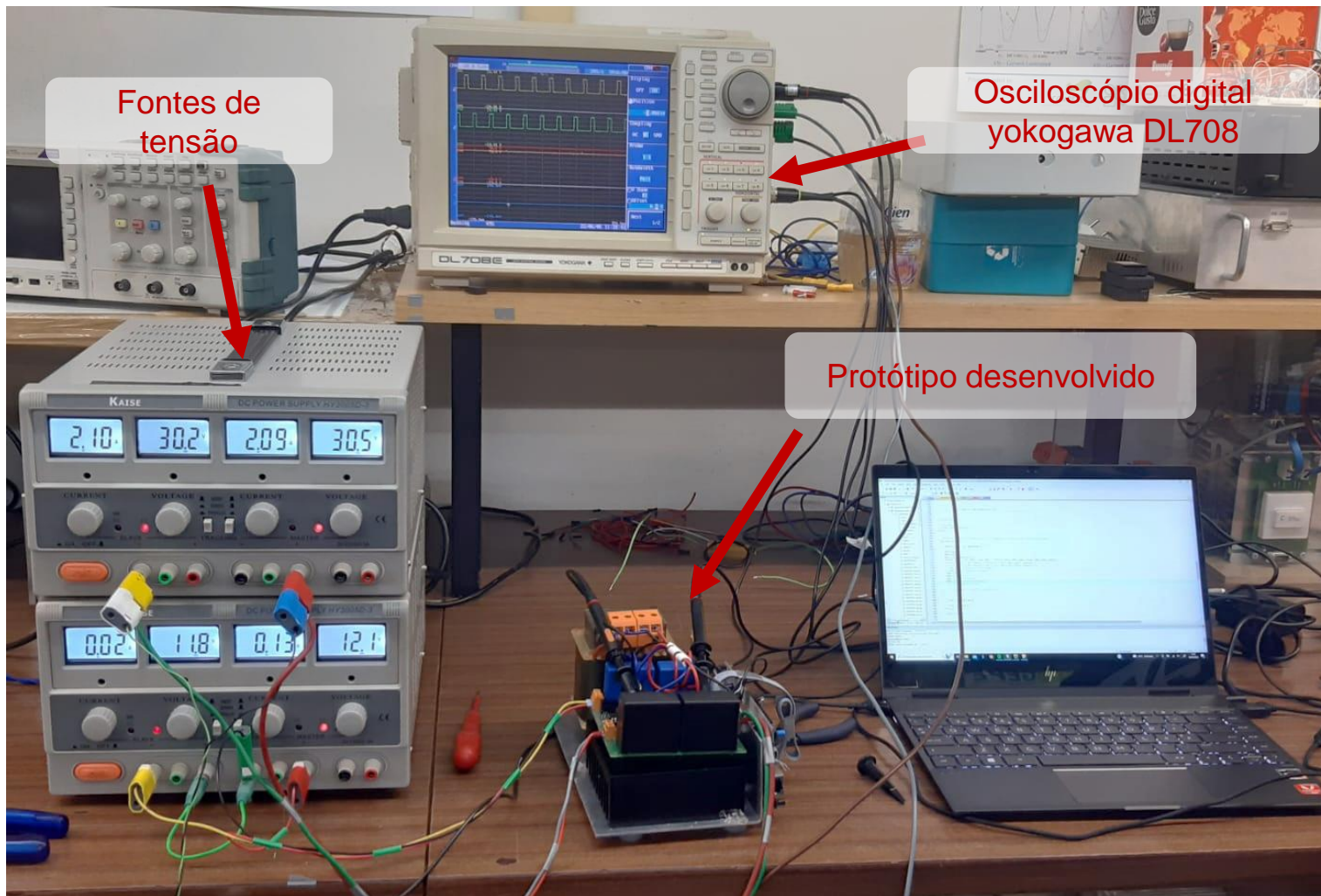


Detalhe da fixação dos IGBT ao dissipador (... foi usada uma mica específica para eletrónica de potência...)



## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

- Montagem do protótipo (*setup* da bancada de trabalho)



# Validação Experimental

## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

- **Método de validação**
  - Validação do sistema de controlo
  - Resultados em malha aberta
  - Resultados em malha fechada



## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

- Resultados em malha aberta
  - Modo abaixador (*buck*)
  - *Duty-cycle* não variável de 25%
  - Frequência de comutação 20 kHz



$v_{ge1}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{ge2}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{out}$ : 12 V [5 V/div]

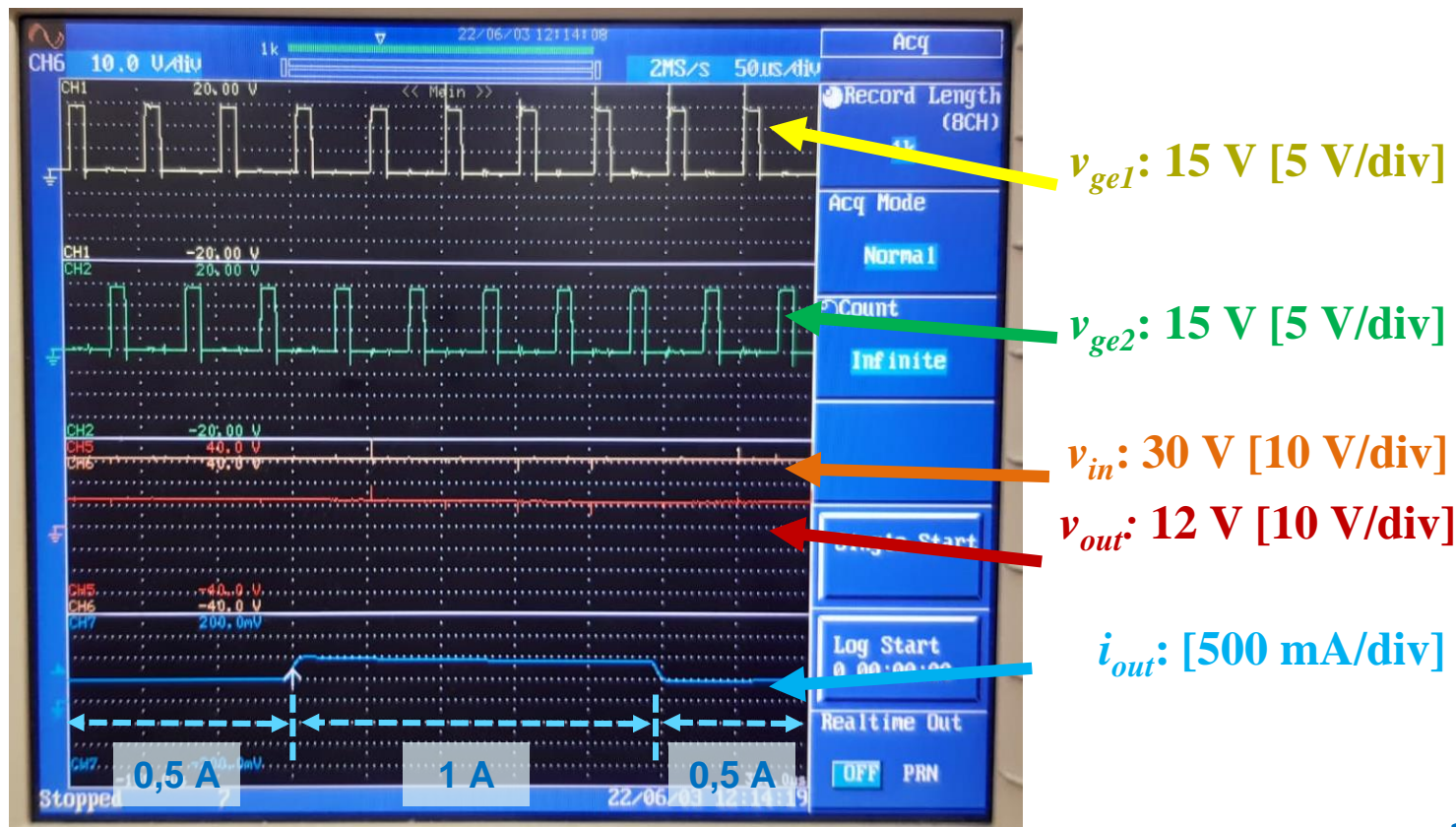
$v_{in}$ : 30 V [10 V/div]



## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

### - Resultados em malha aberta

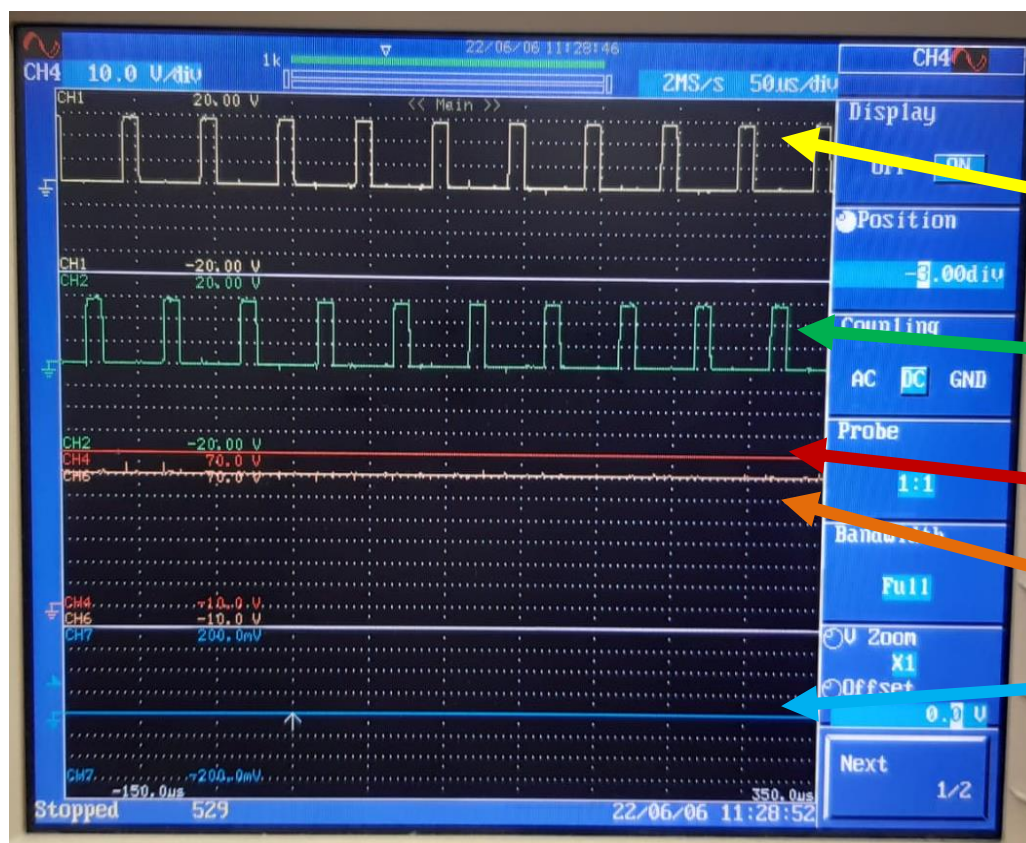
- Modo abaixador (*buck*)
- Diminuição momentânea do valor de carga ( $50\ \Omega \rightarrow 25\ \Omega$ )
- Tensão de saída inalterada





## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

- Resultados em malha aberta
  - Modo elevador (*boost*)
  - *Duty-cycle* não variável de 25%
  - Frequência de comutação 20 kHz



$v_{ge1}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{ge2}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{out}$ : 70 V [10 V/div]

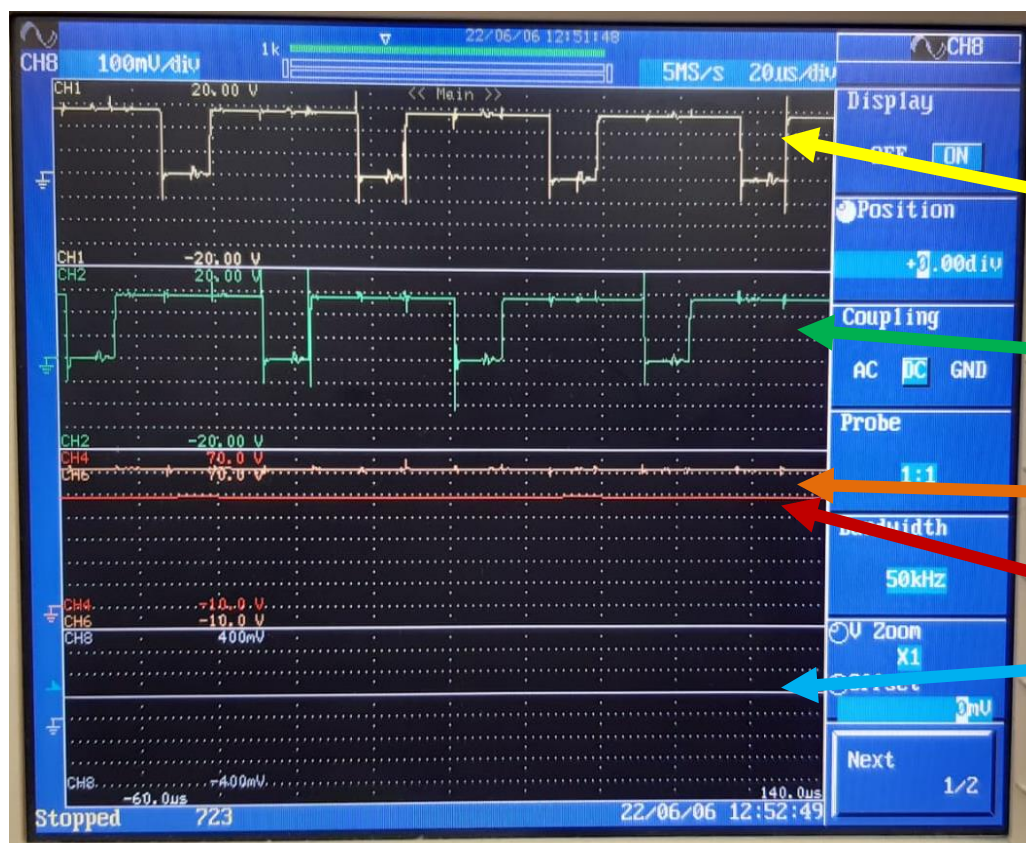
$v_{in}$ : 60 V [10 V/div]

$i_{out}$ : [500 mA/div]

## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

### - Resultados em malha fechada

- Modo abaixador (*buck*)
- Ganhos  $K_p$  de 10 e  $K_i$  de 0.1
- Corrente de referência 1 A



$v_{ge1}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{ge2}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{in}$ : 60 V [10 V/div]

$v_{out}$ : 50 V [10 V/div]

$i_{out}$ : 1 A [1 A/div]

## APRESENTAÇÃO DE TESTES E RESULTADOS

### - Resultados em malha fechada

- Modo abaixador (*buck*)
- Ganhos  $K_p$  de 10 e  $K_i$  de 0.1
- Corrente de referência 4 A



$v_{ge1}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{ge2}$ : 15 V [5 V/div]

$v_{in}$ : 120 V [20 V/div]

$v_{out}$ : 60 V [20 V/div]

$i_{out}$ : 2 A [1 A/div]

$i_{out}$ : 2 A [1 A/div]

# Tarefas Realizadas e Conclusões



## TAREFAS REALIZADAS

- **ESTUDO DO ESTADO DE ARTE**

repositoriUM, artigos científicos, dissertações, teses de doutoramento,...

- **SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS EM PSIM**

modelo preliminar e final em malha aberta / fechada, modo *buck* / *boost*

- **PROJETO DE PCB EM PADS**

esquemático e layout para eletrónica de potência, planos, isolamentos,...

- **IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA LABORATORIAL**

solda de componentes SMD, calibração sensores,...

- **RESULTADOS EXPERIMENTAIS**

malha aberta e malha fechada, modo *buck* e modo *boost*,...

## CONCLUSÕES

- A escassez de recursos não renováveis tem fomentado o aparecimento de novas fontes de energia renováveis
- Face a este contexto, são necessários novos métodos de transmissão de energia e um novo paradigma das redes elétricas inteligentes
- Neste âmbito foi desenvolvido um conversor CC-CC bidirecional do tipo *interleaved*
- Inicialmente foi efetuado um estudo do conversor a implementar e foram realizadas simulações computacionais
- Posteriormente foi projetado e implementado um PCB de eletrónica de potência (incluindo sensores, microprocessador,...)
- Por fim, foram obtidos resultados experimentais em laboratório com o protótipo desenvolvido
- No âmbito do trabalho foram adquiridas competências pessoais em vários domínios (eletrónica de potência, controlo digital, PWM...)

**FIM**

**Obrigado pela vossa atenção!**