

# Mestrado de Eletrónica de Potência e Energias

Conversor CA-CC PFC Boost com consumo de corrente sinusoidal

Grupo 7

# Grupo 7



- Diego Soares Brandão
  - pg53769@alunos.uminho.pt
- João Pedro Machado da Silva
  - pg53942@alunos.uminho.pt
- João Pedro Medeiros Santos
  - a94596@alunos.uminho.pt
- João Manuel Leitão Martins
  - a97241@alunos.uminho.pt
- Rui Pedro Fernandes Pedroso
  - pg54212@alunos.uminho.pt











# **Tópicos**



- Estado da Arte;
- Diagrama de blocos do projeto;
- Etapas do trabalho desenvolvido;
  - Simulação;
  - Montagem;
  - Código;
  - Resultados;
- **■** Conclusão;
- **■** Bibliografia.

### Estado da arte

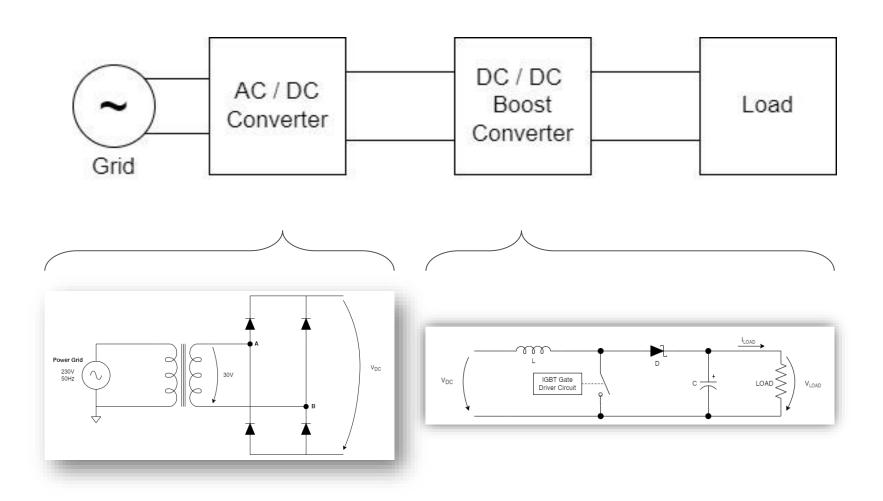


A eficiência energética é um pilar fundamental nos sistemas elétricos modernos. O algoritmo de *Power Factor Correction* (Correção do Fator de Potência - *PFC*) emergiu como uma ferramenta crucial para otimizar a utilização da energia, minimizando perdas e distorções na rede elétrica. A necessidade de maximizar a transferência de energia e reduzir o desperdício tornou-se cada vez mais urgente, principalmente em ambientes com uma multiplicidade de dispositivos eletrónicos. Esta otimização não se limita apenas à correção do fator de potência, mas também à busca por um consumo de corrente mais sinusoidal, visando melhorar a eficiência e a estabilidade dos sistemas elétricos.

Esta tecnologia tem sofrido evoluções ao longo das últimas décadas, tendo começado por ser implementada apenas com indutores e condensadores (limitada em termos de eficiência) – *Passive PFC*. Com o passar dos anos foram feitas alterações importantes, tais como: o uso de controladores dedicados (correção mais precisa do fator de potência); integração de semicondutores de potência (redução de perdas no conversor); a evolução dos algoritmos de controlo (melhoria na eficiência). Espera-se que a evolução desta tecnologia continue com o aparecimento de soluções mais integradas, compactas e eficientes.

# Diagrama de Blocos





## Etapas do trabalho desenvolvido



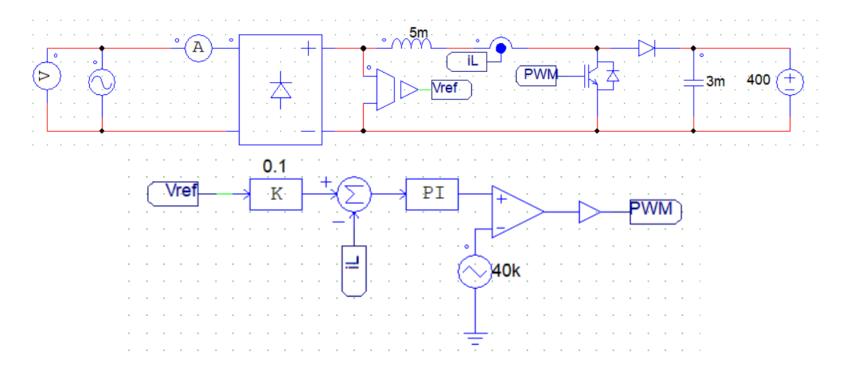
### Simulação:

- Ferramenta de simulação utilizada *PSIM* 
  - Primeiramente, estudou-se o comportamento deste conversor de potência em simulação, para as seguintes condições: conectado à rede elétrica e controlo puramente analógico (sem C Block);
  - Seguidamente, passamos o circuito de controlo para um <u>único</u> C-Block;
  - Finalmente, e para efeitos de segurança, adaptou-se o design do circuito para uma situação de potência inferior à inicialmente implementada (passamos de 500 W para 83,(3) W à saída e 30  $V_{rms}$ ).



#### PSIM:

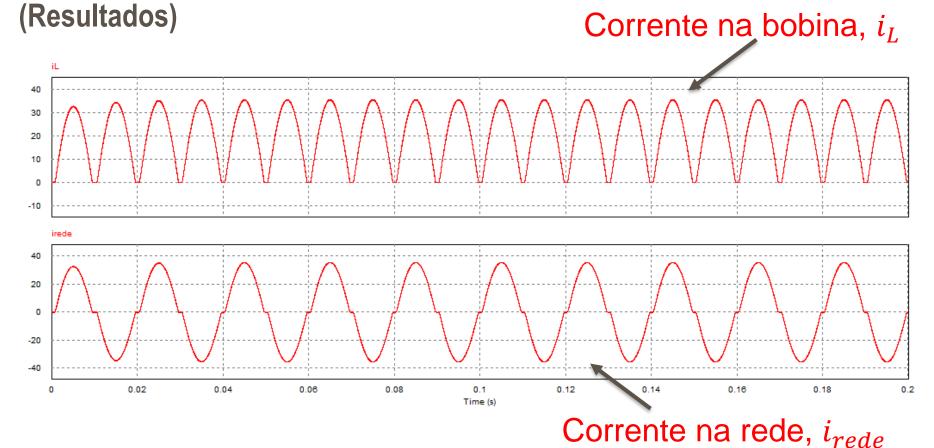
1ª Etapa – Controlo por corrente de referência do lado da rede





PSIM:

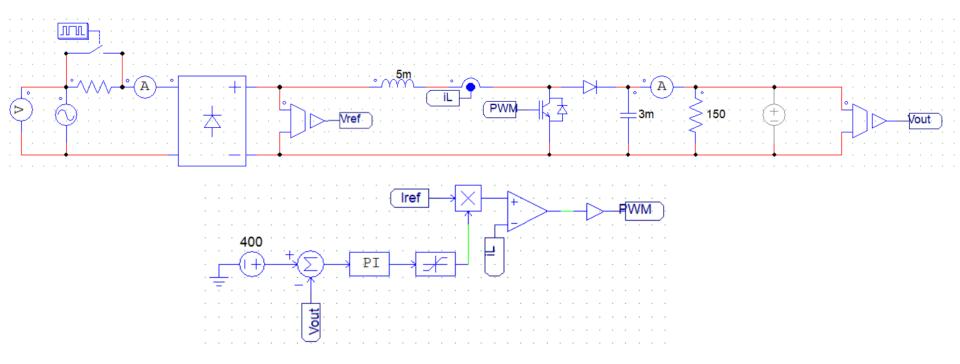
1ª Etapa – Controlo por corrente de referência do lado da rede





#### PSIM:

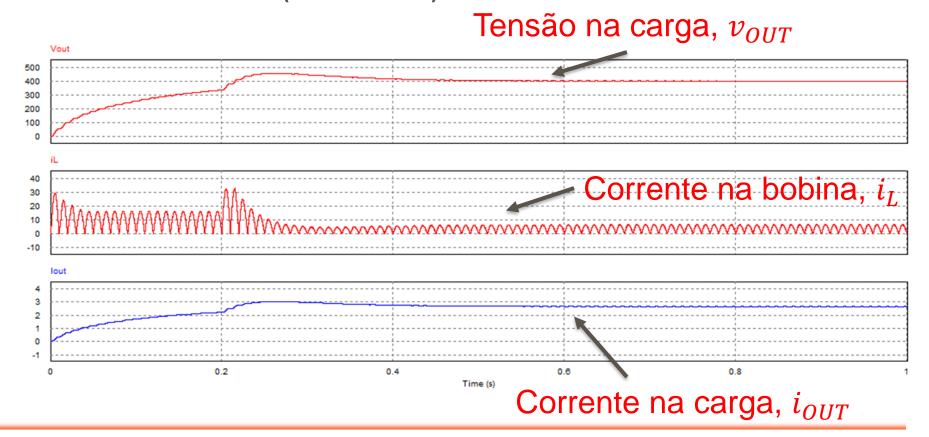
2ª Etapa – Controlo por corrente de referência do lado da rede e tensão de referência





#### **PSIM:**

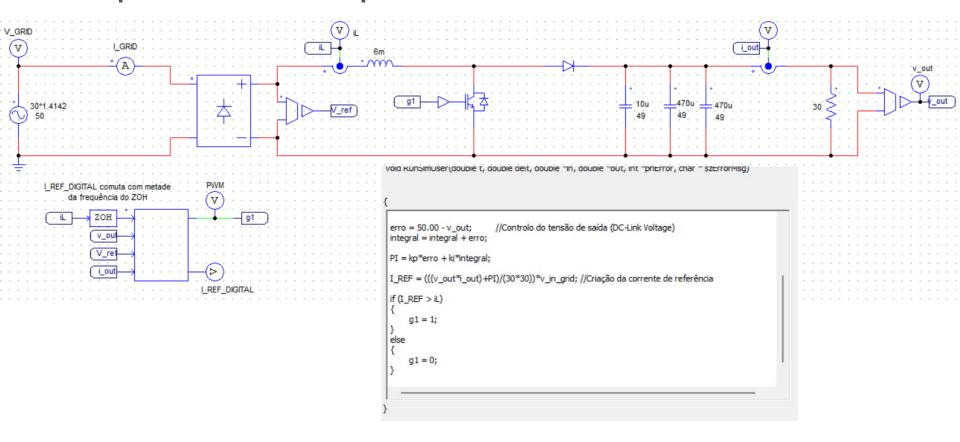
2ª Etapa – Controlo por corrente de referência do lado da rede e tensão de referência (Resultados)





## PSIM:

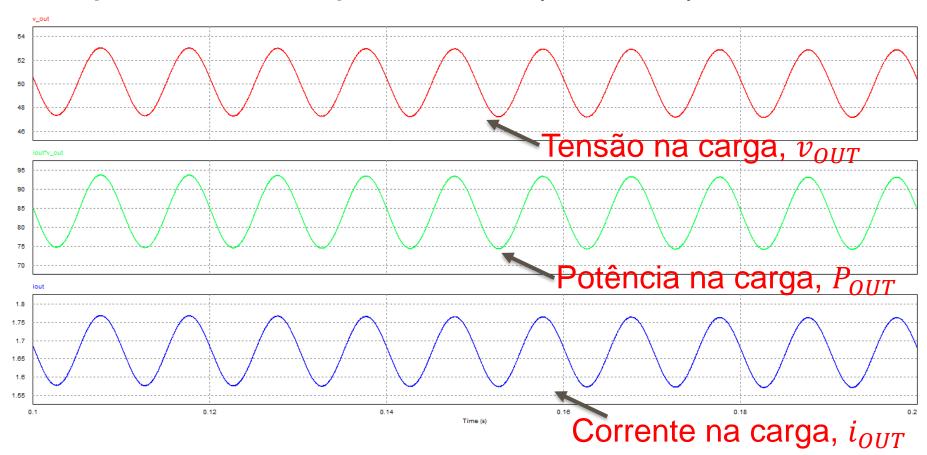
3ª Etapa – Bloco C e componentes reais





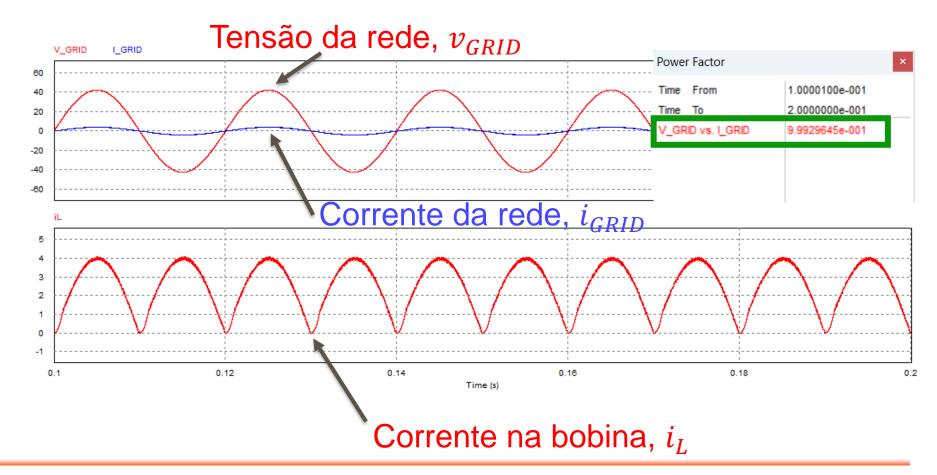
PSIM:

3ª Etapa – Bloco C e componentes reais (Resultados)





PSIM: 3ª Etapa – Bloco C e componentes reais (Resultados)



# Etapas do trabalho desenvolvido



### Montagem do circuito:

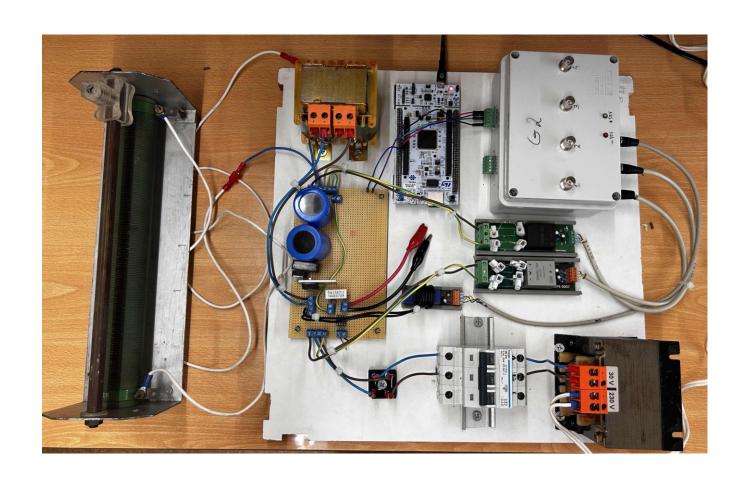
- Implementar o conversor CC/CC Boost:
  - a) Soldagem dos componentes;
  - b) Teste de funcionamento para uma entrada DC com PWM de controlo fixo.
- 2. Implementação do conversor CA/CC na entrada do Boost;
- Calibração e teste dos sensores;
- Teste de leitura dos sensores pelo microcontrolador (com PWM fixo);
- 5. Implementação do controlo em malha fechada com PWM variável.



#### **Material Utilizado:**

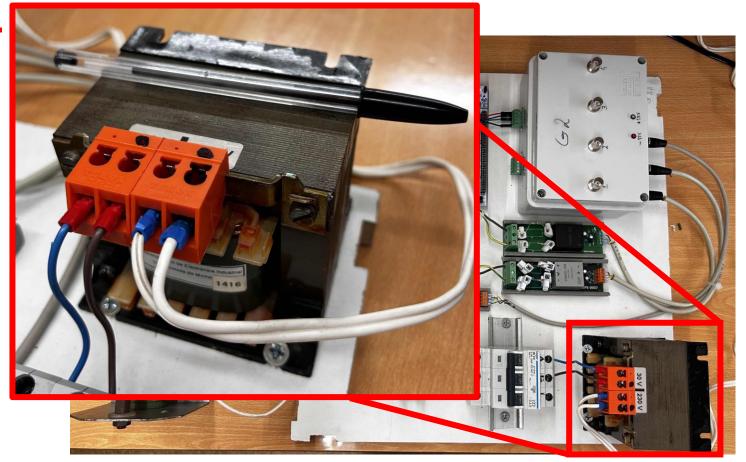
- 1. 1 Transformador 230V/30V;
- 2. 1 Disjuntor Tripolar e 1 Ponte retificadora GBPC40;
- 3. 1 Bobina 6mH;
- 4. 2 Sensores de Tensão e 1 Sensor de Corrente;
- 5. 2 Condensadores Eletrolíticos 470uF e 1 de filme 10uF;
- 6. 1 Diodo Schottky;
- 7. 1 IGBT e Driver (HCPL3120);
- 8. Caixa de acondicionamento de sinal;
- 9. STM32 Núcleo F767ZI;
- 10. Resistência 30Ω 120W.





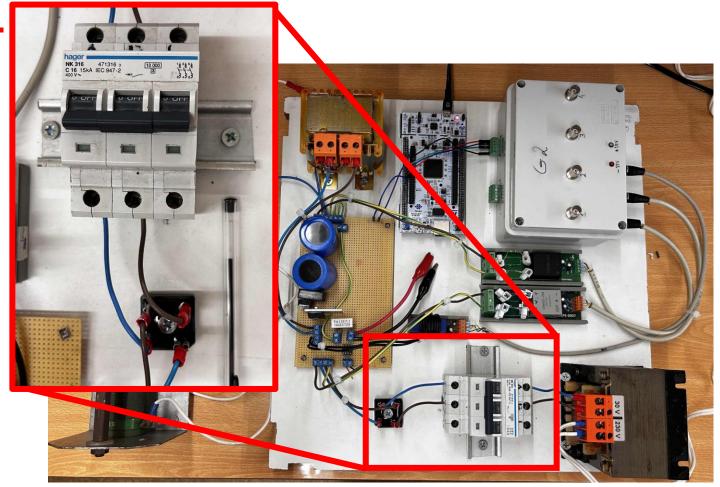


1.

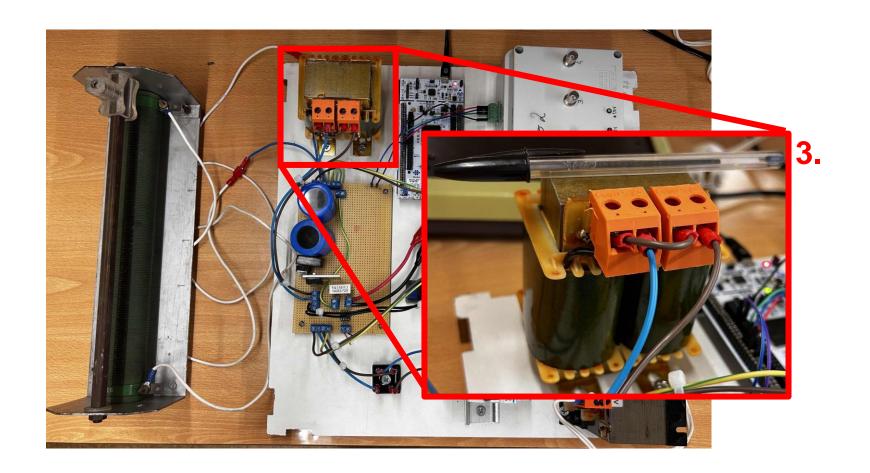




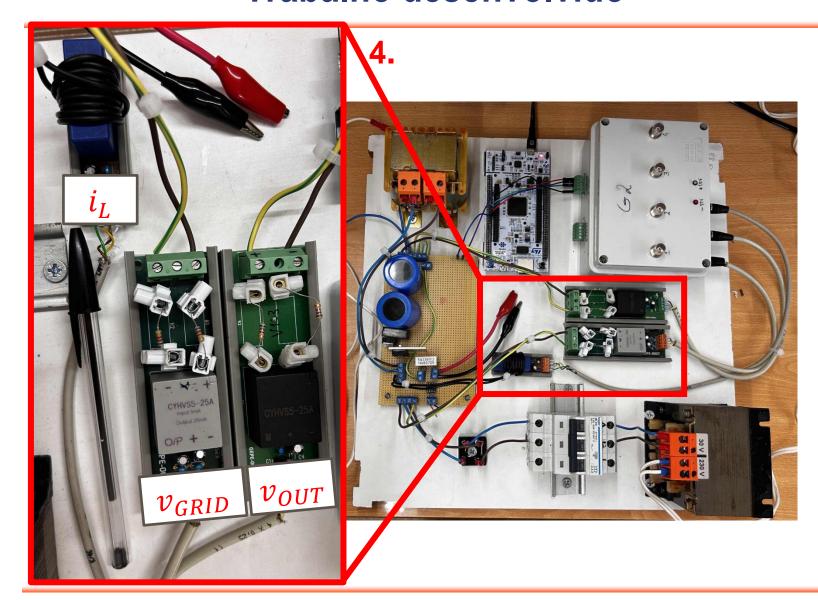
2.



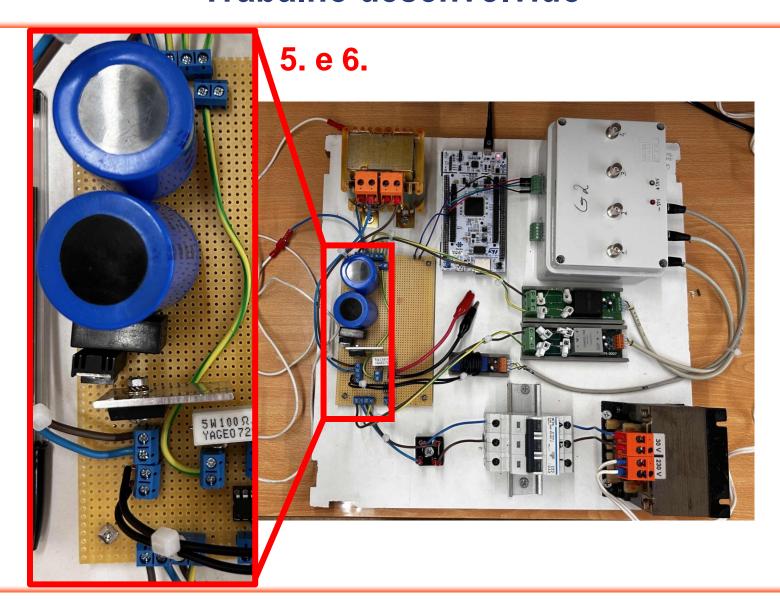




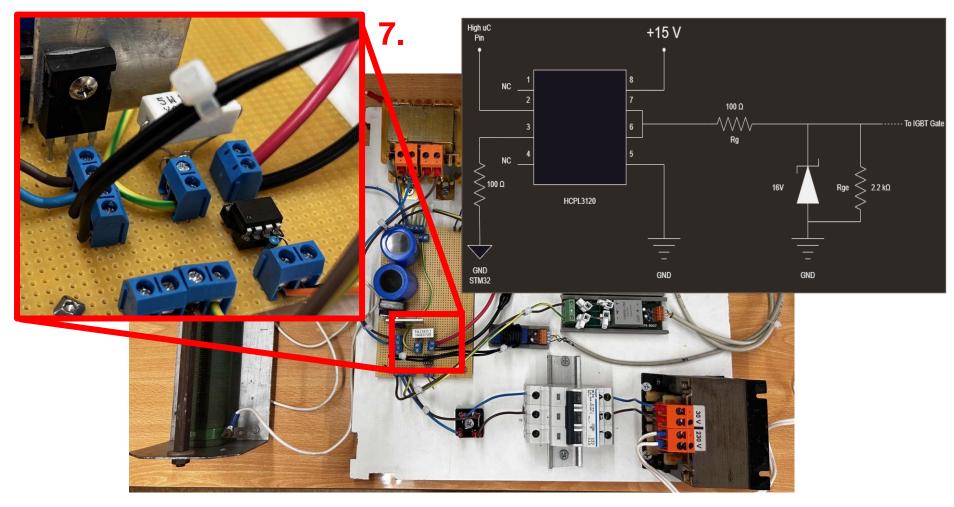






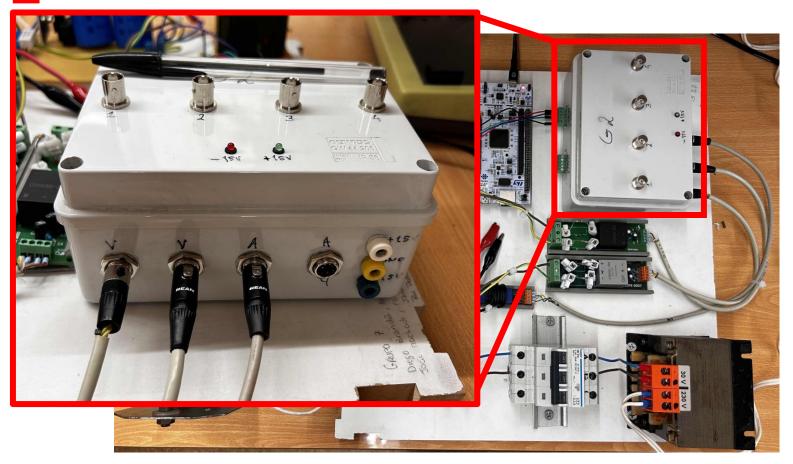






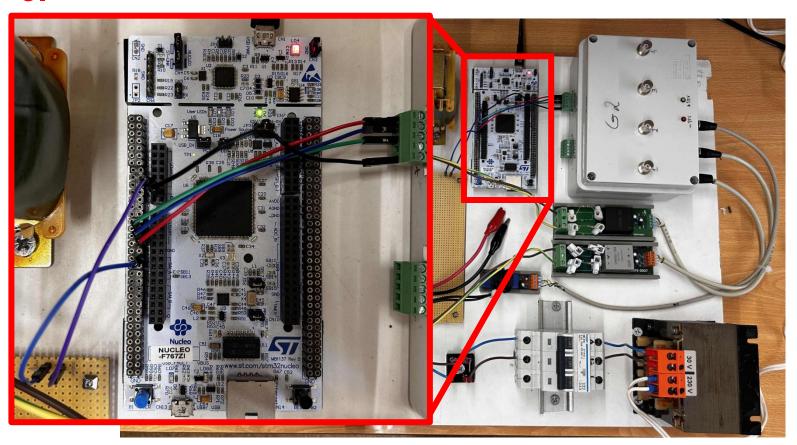


8.

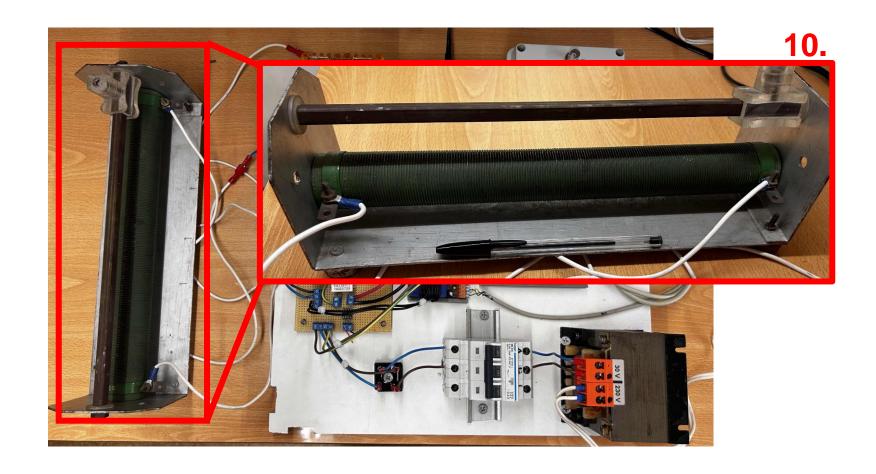




9.









#### Software:

```
define RX MAX SIZE
define SIGNAL PORT
                         GPIOD
define SIGNAL PIN
                        GPIO PIN 3 // SIGNAL OUTPUT PIN
                         3.0
                        0.001
define VIN RMS SQUARED 900
define VOUT REF
define VOUT_FACTOR
define VIN_FACTOR
                       70.59
                        35.4
define IL FACTOR
define RESISTOR
define VOUT_OFFSET define VIN_OFFSET
                       1.51
                      1.535
define IL OFFSET
                      1.521
define VOUT CHANNEL
                        ADC CHANNEL 8
define VIN CHANNEL
                        ADC CHANNEL 11
define IL CHANNEL
                        ADC CHANNEL 4
```

```
// ------ CONTROL VARIABLES -----
double iL = 0.0;
double v_out = 0.0;
double v_in_grid = 0.0;
double i_out = 0.0;
double erro = 0.0, integral = 0.0;
double PI = 0.0;
double I_REF = 0.0;
```

Parâmetros do Sistema



#### Software:

```
HAL TIM PeriodElapsedCallback(TIM HandleTypeDef*htim)
if(htim->Instance == TIM7 && status == 1)
             = (getValueFromADCChannel(VOUT CHANNEL, V) - VOUT OFFSET) * VOUT FACTOR;
   v out
   v in grid = (getValueFromADCChannel(VIN CHANNEL, V) - VIN OFFSET) * VIN FACTOR;
             = (getValueFromADCChannel(IL CHANNEL, V) - IL OFFSET) * IL FACTOR;
   i out
             = v out / RESISTOR;
   erro = VOUT REF - v out;
   integral += erro;
   PI = KP*erro + KI*integral;
   if(PI>20)
       PI = 20;
   else if(PI<-20)
       PI = -20;
   I REF = (((v out*i out)+PI)/(VIN RMS SQUARED))*v in grid; // Criação da corrente de referência
   if (abs(I REF) > iL)
       HAL_GPIO_WritePin(SIGNAL PORT, SIGNAL PIN, GPIO PIN SET);
       HAL GPIO WritePin(SIGNAL PORT, SIGNAL PIN, GPIO PIN RESET);
```

Callback do Timer 7 – Realiza o algoritmo do PFC a cada 50us



#### Software:

```
processCommand(uint8 t * buffer)
if(compare buffer(buffer, "EN", 2))
    printf("Enabled\r\n");
    state = 1;
    status = 1;
else if(compare buffer(buffer, "DS", 2))
    printf("Disabled\r\n");
    state = 2;
    status = 0;
    HAL GPIO WritePin (SIGNAL PORT, SIGNAL PIN, GPIO PIN RESET);
else if(compare buffer(buffer, "IR", 2))
    printf("Reading\r\n");
    state = 3;
else if(compare buffer(buffer, "SR", 2))
    printf("Stopped reading\r\n");
    state = 4;
```

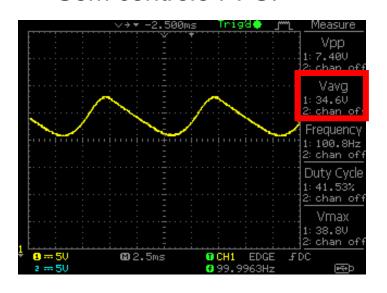
Enable ou Disable Do Controlo

Comandos do Sistema

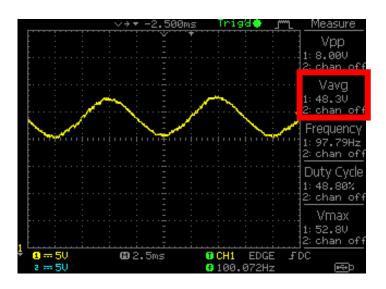


#### **Resultados Finais:**

Sem controlo PFC:



Com controlo PFC:



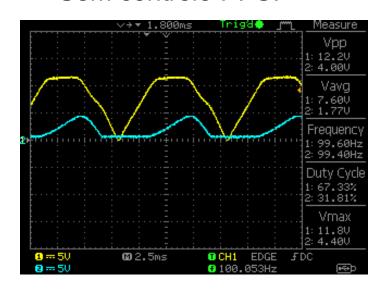
Channel 1: V<sub>out</sub>

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R} = \frac{2333V}{31,3\Omega} = 74,5W$$

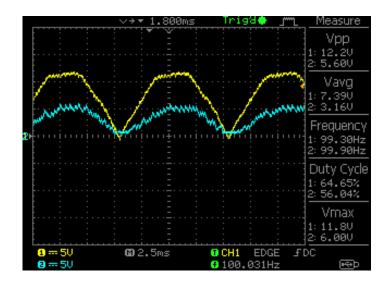


#### **Resultados Finais:**

Sem controlo PFC:



Com controlo PFC:

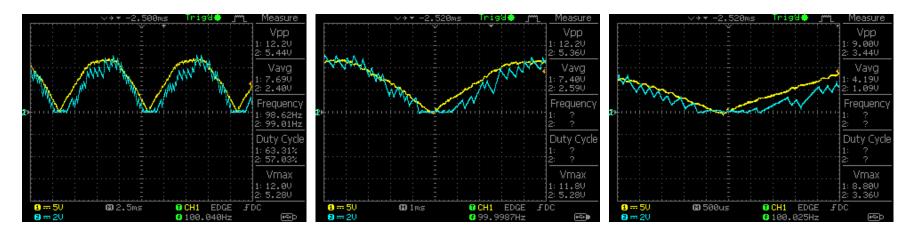


Channel 1:  $V_{in}(retificado)$ Channel 2:  $I_I$ 



#### **Resultados Finais:**

Fator de Potência:

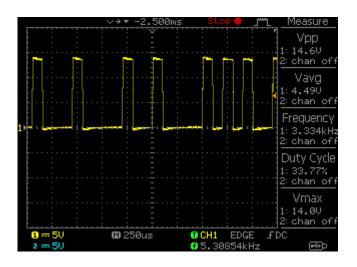


Channel 1:  $V_{in}(retificado)$ Channel 2:  $I_l$ 

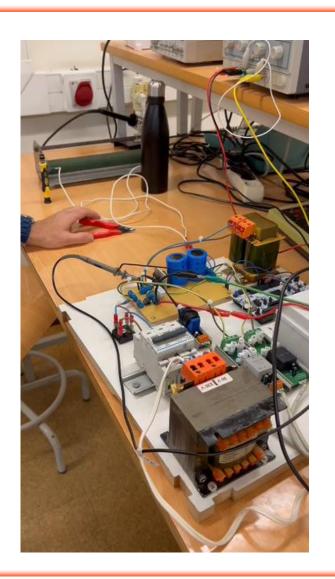


#### **Resultados Finais:**

PWM gate IGBT:



**Channel 1:**  $V_{gate}$ 



### Conclusões



Em suma, o conversor de potencia com controlo por PFC evidencia-se como uma tecnologia importante para a melhoria da eficiencia e desempenho dos sistemas onde são aplicados. Este conversor provou ser uma solução fiável para melhorar o fator de potência global dos sistemas, conduzindo a uma melhor utilização da energia.

Além disso, a capacidade do PFC Boost para moldar ativamente a forma de onda da corrente de entrada não só optimizou o fornecimento de energia, como também contribuiu para um funcionamento mais sustentável.

Ao minimizar a potência reactiva, este conversor não só reduz a carga sobre a rede de distribuição de energia, como também ajuda a reduzir os custos de energia e a mitigar o impacto ambiental.

# **Bibliografia**



- Vítor Monteiro, Andrés A. Nogueiras Meléndez, João L. Afonso, "Novel Single-Phase Five-Level VIENNA-Type Rectifier with Model Predictive Current Control", IEEE IECON Industrial Electronics Conference, pp. 6413-6418, Beijing China, Oct. 2017. DOI: 10.1109/IECON.2017.8217117 ISBN: 978-1-5386-1127-2
- J. Martins, G. Pinto Slides da Unidade Curricular de Eletrónica de Potência e Acionamentos Elétricos, Out. 2021
- João L. Afonso, Vítor Monteiro Slides da Unidade Curricular de Energias Renováveis e Sustentabilidade, Out. 2022