

HÉLDER DA
COSTA MATEUS

SISTEMAS DE APOIO À GESTÃO DE ENERGIA DE UM QUADRO AVAC



Relatório de Dissertação Mestrado em
Engenharia eletrotécnica e de Computadores

ORIENTADOR
Prof. Jorge Martins

Setembro de 2022

Citação

"I have a dream."

Martin Luther King Jr.

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração e ao contributo, de forma direta ou indireta, de algumas pessoas e entidades, às quais gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento.

Em primeiro lugar, ao meu orientador, o Professor Dr. Jorge Martins, pelo seu apoio e disponibilidade, pelo modo como me acompanhou e incentivou, e pela total abertura e autonomia para que eu pudesse dar largas á minha criatividade durante a realização deste trabalho. Agradeço-lhe, também, pelo seu espírito crítico e por todas as sugestões que permitiram incrementar a qualidade deste projeto e ultrapassar os obstáculos que foram surgindo. Finalmente, um último obrigado pela revisão cuidadosa deste texto.

Também gostaria de agradecer à empresa Mger Engenharia, Lda. Antes de mais, por acreditarem neste projeto e por me terem proporcionado todo o apoio possível, quer humano quer material, providenciando os recursos necessários. Aqui, um obrigado especial pelo esforço e disponibilidade para assegurar todos os custos do protótipo. Pela autonomia que me foi dada e pela abertura que sempre me transmitiram para poder contribuir com novas ideias para melhorar os métodos de trabalho.

Um muito obrigado ao Ásio Conceição, pela disponibilidade, encorajamento e colaboração nas muitas horas em que ficámos a adiantar este trabalho.

Quero também agradecer aos meus três grandes amigos, Alexandre Garcia, Nuno Melo e Miguel Melo, pelo apoio, incentivo e ideias para o resultado final deste trabalho e, claro, por estarem sempre presentes nas minhas lutas.

Por fim, quero agradecer à Liliana Reis pelo apoio incondicional, pela paciência e pelo incentivo. Muito obrigado por estares sempre presente nos momentos mais importantes da minha vida.

Resumo

Esta tese visa implementar e testar um novo sistema de gestão de energia de um quadro AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), com o objetivo de efetuar uma gestão remota e mais eficiente da energia. A elaboração deste sistema consistiu no desenvolvimento de um protótipo, com *hardware* e *software* específicos para o efeito. Este é composto por um Módulo Remoto, baseado no módulo ESP32-S2, e por uma Unidade Central, que recebe informação do contador de energia através da comunicação RS485 e é constituída por um módulo *Raspberry Pi* com um ecrã. A Unidade Central e o Módulo Remoto comunicam entre si, via *WiFi*. Neste projeto, recorreu-se ao uso das linguagens de programação *Python*, *JavaScript*, *JSON*, *CSS*, *HTML*, *SQLite* e *C*, assim como da *framework Django* e do protocolo de comunicação de mensagem *MQTT*, que permite a troca de dados entre o Módulo Remoto e a Unidade Central. Os ensaios efetuados produziram os resultados esperados, comprovando que o sistema contribui para uma gestão eficiente da energia, sendo capaz de armazenar e reproduzir dados relevantes para o utilizador final, no sentido de este compreender o seu funcionamento e assegurar a respetiva manutenção, de forma fácil e remota.

Palavras-chave: AVAC, Quadro Inteligente, Gestão de Energia, Módulo *Raspberry Pi*, Módulo ESP32-S2, e protocolo *MQTT*.

Abstract

This thesis aims to implement and test a new energy management system for an HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) electrical board, with the purpose of making energy management, remote and more efficient. For this purpose, we created a prototype with specific hardware and software. This one consists of a Remote Module, based on ESP32-S2 module, and a Central Unit, that receives information from the energy meter via RS485 communication and is composed by a Raspberry Pi module with a screen. The Central Unit and the Remote Module communicate with each other through WiFi. In this project, we used several programming languages as Python, JavaScript, JSON, CSS, HTML, SQLite and C. As well as the Django framework and the MQTT message communication protocol, which allows the exchange of data between the Remote Module and the Central Unit. The tests carried out produced the expected results, proving that the system contributes to an efficient energy management. Being able to store and reproduce relevant data for the end user, in order that he can understand its operation and ensure its maintenance, in an easy and remote way.

Key-words: HVAC, Smart Board, Energy Management, *Raspberry Pi* Module, ESP32-S2 Module, MQTT protocol.

Índice

Citação.....	ii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstrat.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiv
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Mais-Valias do Protótipo	6
1.4 Estrutura da Tese	8
2 Módulo de Desenvolvimento ESP32-S2.....	9
2.1 Introdução.....	9
2.2 Arquitetura do ESP32-S2	10
2.3 Coprocessador	12
2.4 Módulo <i>Direct Memory Access</i> (DMA)	13
2.5 Módulo <i>Central Processing Unit</i> (CPU).....	14
2.6 Módulo da Memória Interna	14
2.7 Módulo Rádio	15
2.8 Módulo do Temporizador Universal	15
2.9 Módulo do Relógio do Sistema	16
2.10 Módulo do Contador de Impulsos	17
2.11 Módulo <i>General Purpose Input Output</i> (GPIO)	18
2.12 Conversores ADC e DAC	18
2.13 Módulo <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	19
2.14 Sensor de Toque	19
2.15 Sensor de Temperatura	20
2.16 Módulo de Comunicação UART	21
2.17 Módulo de Comunicação I2C	23
2.18 Módulo de Comunicação I2S	24
2.19 Módulo Remoto por Infravermelho.....	25
2.20 Módulo de Comunicação SPI.....	25
2.21 Módulo do Acelerador <i>Hardware</i>	26
3 Módulo de Desenvolvimento <i>Raspberry Pi</i> 4.....	27
3.1 Introdução.....	27
3.2 Arquitetura do <i>Raspberry Pi</i> 4	28
3.3 Módulo <i>General Purpose Input Output</i> (GPIO)	30
3.4 Módulo de Relógio (GPCLK).....	31
3.5 Módulo <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	31
3.6 Módulo <i>Display Parallel Interface</i> (DPI)	32
3.7 Módulo <i>Pulse Code Modulation</i> (PCM).....	33
3.8 Módulo de Comunicação UART	34
3.9 Módulo de Comunicação I2C	35
3.10 Módulo de Comunicação SPI.....	36

4	Descrição do <i>Hardware</i> do Protótipo	39
4.1	Introdução.....	39
4.2	Desenvolvimento do Quadro Elétrico.....	40
4.3	Caixa Bres64.....	44
4.4	Interruptor Diferencial.....	46
4.5	Porta Fusível e Borne Fusível.....	47
4.6	Sinalização de Fases.....	47
4.7	Contador de Energia.....	48
4.8	Disjuntor Térmico.....	48
4.9	Contactores.....	49
4.10	Disjuntor.....	49
4.11	Contactos Auxiliares.....	50
4.12	Variador de Velocidade e Motor Elétrico.....	51
4.13	Interruptor.....	52
4.14	Fonte de Alimentação 5 VDC e 24 VDC.....	52
4.15	Transformador.....	53
4.16	<i>Power Bank</i>	53
4.17	Iluminação do Quadro Elétrico.....	54
4.18	Ventilador do Quadro Elétrico.....	54
4.19	Sensor de Temperatura e Humidade.....	55
4.20	Relés de Interface de 230 V e 24 V.....	55
4.21	Desenvolvimento do Módulo Remoto e da Unidade Central.....	56
4.22	Opto Acoplador.....	56
4.23	Módulo de Resistências.....	57
4.24	Módulo de Relé 5 V.....	57
4.25	Módulo Remoto (ESP32-S2).....	58
4.26	Módulo de Comunicação USB RS485.....	59
4.27	LCD <i>Touch Screen</i>	59
4.28	Unidade Central (<i>Raspberry Pi</i>).....	60
4.29	Bornes de Potência e Comando.....	61
4.30	Caixa de Teste.....	62
5	Descrição do <i>Software</i> do Protótipo	64
5.1	Introdução.....	64
5.2	Implementação do Sistema no Módulo Remoto.....	64
5.3	Sistema de Falha de Comunicação com a Unidade Central.....	66
5.4	Sistema de Ativação e Desativação do <i>Access Point</i>	67
5.5	Implementação do Sistema na Unidade Central.....	67
5.6	Base de Dados.....	69
5.7	Comunicação RS485.....	71
5.8	Aplicação do Módulo Remoto.....	71
5.9	Estado do <i>LED</i> no ESP32-S2 Conforme a Ligação no <i>WiFi</i>	72
5.10	<i>WiFi Access Point</i>	73
5.11	Página Principal (<i>Home page</i>).....	74
5.12	Página <i>Login</i> (Administrador).....	75
5.13	Página <i>Dashboard</i>	76
5.14	Página Definições.....	77
5.15	Página Estados.....	78
5.16	Página IP Externo.....	78
5.17	Página Atualização.....	79
5.18	Página Falha na Comunicação do <i>Server</i>	79

5.19	Aplicação da Unidade Central	80
5.20	Página Principal.....	81
5.21	Página Ventiladores	81
5.22	Página Fração	83
5.23	Página Quadro	84
5.24	Página Histórico	85
5.25	Página Administrador	85
6	Análise geral do sistema.....	87
6.1	Ensaio e Principais Resultados	87
6.2	Principais Conclusões dos Resultados Obtidos.....	94
7	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	96
7.1	Considerações Finais	96
7.2	Perspetivas de Trabalho Futuro	97
	Bibliografia	99
	Anexo 1 - Diagrama Elétrico do Protótipo	104

Lista de Figuras

Figura 1 – Estrutura de um Quadro AVAC.	2
Figura 2 – Representação dos <i>LEDs</i> e comutadores na porta do quadro AVAC.	3
Figura 3 – Mini autónomo [3].	3
Figura 4 – Quadro da gestão técnica.	4
Figura 5 – Diagrama de blocos do protótipo.	5
Figura 6 – Protótipo do quando AVAC.	6
Figura 7 – Módulo do ESP32-S2 [12].	9
Figura 8 – Diagrama de bloco do ESP32-S2 [12].	10
Figura 9 – Estrutura do sistema e mapa de endereçamento [10].	11
Figura 10 – Visão geral do coprocessador ULP [10].	12
Figura 11 – Comparação dos dois coprocessadores [10].	13
Figura 12 – Módulo com DMA e transferência de dados compatíveis [10].	14
Figura 13 – Microprocessador do ESP32-S2 [5].	14
Figura 14 – ESP32-S2 incorpora o módulo <i>WiFi</i> e <i>Bluetooth</i> [14].	15
Figura 15 – Módulo do temporizador universal [10].	15
Figura 16 – Relógio do sistema [10].	17
Figura 17 – Arquitetura do contador de impulsos [10].	17
Figura 18 – Representação dos pinos GPIOs [15].	18
Figura 19 – Conversores ADC e DAC [15].	19
Figura 20 – Arquitetura PWM [10].	19
Figura 21 – GPIOs para sensores de toque [15].	20
Figura 22 – Estrutura do sensor de temperatura no ESP32-S2 [10].	20
Figura 23 – Estrutura do módulo da UART [10].	21
Figura 24 – GPIOs para UART [15].	22
Figura 25 – Arquitetura <i>master</i> [10].	23
Figura 26 – Arquitetura <i>slave</i> [10].	23
Figura 27 – Diagrama do sistema de interface I2S [10].	24
Figura 28 – Arquitetura do módulo remoto por infravermelho [10].	25
Figura 29 – Diagrama de bloco do controlador SPI [10].	26
Figura 30 – Módulo do acelerador de <i>hardware</i> [12].	26
Figura 31 – Alguns modelos do <i>Raspberry Pi</i> [17].	27
Figura 32 – Módulo do <i>Raspberry Pi</i> 4 Model B [16].	28
Figura 33 – Diagrama de blocos do <i>Raspberry Pi</i> 4.	29
Figura 34 – Representação dos pinos GPIOs [18].	30

Figura 35 – Representação dos pinos de relógio GPCLK [18].	31
Figura 36 – Diagrama de bloco do módulo PWM [20].	32
Figura 37 – Representação dos pinos GPIO PWM [18].	32
Figura 38 – Representação dos pinos de interface DPI [18].	33
Figura 39 – Representação do <i>timing</i> típico de uma interface áudio PCM [20].	33
Figura 40 – Representação dos pinos de interface PCM [18].	34
Figura 41 – Representação dos pinos de interface UART [18].	35
Figura 42 – Representação dos pinos de interface I2C [18].	36
Figura 43 – Modo SPI [20].	37
Figura 44 – Modo bidirecional [20].	37
Figura 45 – Modo LoSSI [20].	38
Figura 46 – Representação dos pinos de interface SPI [18].	38
Figura 47 – Arquitetura do Protótipo.	39
Figura 48 – Sistema de Potência do quadro elétrico.	40
Figura 49 – Fontes de tensões de comando 230 V, 24 VAC, 24 VDC e 5 VDC.	41
Figura 50 – Com. 24 VAC, tensão de com., CDI, interruptor manual e UTA 1.	42
Figura 51 – Comando 24 VAC, UE1 VED P.-1 1ª velocidade.	43
Figura 52 – Comando 24 VAC, VED P.-1 2ª vel., sinais de input e output do VV.	44
Figura 53 – Caixa Bres64.	45
Figura 54 – Vista frontal dos equipamentos no protótipo.	46
Figura 55 – Interruptor diferencial [24].	46
Figura 56 – Porta fusível e borne fusível [25] [26] [27].	47
Figura 57 – Sinalização de fases [28].	47
Figura 58 – Diagrama de ligação do contador de energia [29].	48
Figura 59 – Disjuntor térmico [30].	49
Figura 60 – Contactores [31] [32].	49
Figura 61 – Disjuntor [33] [34].	50
Figura 62 – Contactos auxiliares de disparo (SD) e posição (OF) [35] [36] [37].	50
Figura 63 – Montagem do VV com o motor e os sinais de pot. e com. [39].	51
Figura 64 – Interruptor [40].	52
Figura 65 – Fonte de alimentação 24 VDC e 5 VDC [41] [42].	52
Figura 66 – Transformador de 24VAC [43].	53
Figura 67 – <i>Power bank</i> [44].	53
Figura 68 – Iluminação e sensor da porta [45] [46].	54
Figura 69 – Ventilação do quadro.	54
Figura 70 – Sensor de temperatura DHT11 [48].	55
Figura 71 – Relés de interface de 230 V e 24 V [49] [50] [51].	55

Figura 72 – Diagrama de blocos do protótipo.....	56
Figura 73 – Módulo Opto Acoplador [52].....	57
Figura 74 – Mont. do DHT11, módulo de resistências, ESP32-S2 e F.A.24VDC.....	57
Figura 75 – Módulo de relé de 5 V e Opto Acoplador.....	58
Figura 76 – Módulo Remoto.....	58
Figura 77 – Diagrama de ligação do Módulo Remoto.....	59
Figura 78 – Conversor RS485 para USB [53].....	59
Figura 79 – LCD <i>Touch Screen</i> [54].....	60
Figura 80 – Unidade Central (lado esquerdo) e LCD <i>Touch Screen</i> (lado direito).	60
Figura 81 – Esq. de ligação da Unidade Central, contador de energia e LCD.	61
Figura 82 – Ligação dos bornes de potência e comando.	62
Figura 83 – Caixa de teste.	63
Figura 84 – Aplicações <i>Web</i> do Módulo Remoto e Unidade Central.	64
Figura 85 – Diagrama de bloco do sistema do Módulo Remoto.....	66
Figura 86 – Sistema de falha de comunicação com a Unidade Central.....	66
Figura 87 – Diagrama de ativação/desativação do <i>Access Point</i>	67
Figura 88 – Diagrama de bloco do sistema da Unidade Central.....	69
Figura 89 – Diagrama do Modelo Relacional.....	70
Figura 90 – Estrutura do servidor <i>Web</i> no Módulo Remoto.....	72
Figura 91 – Estado do <i>LED</i> no ESP32-S2.....	72
Figura 92 – Página do <i>WiFi Access Point</i>	73
Figura 93 – <i>WiFi AP</i> ligação com sucesso.	74
Figura 94 – Página principal.....	74
Figura 95 – <i>Login</i> administrador.....	76
Figura 96 – Página do <i>Dashboard</i> geral.....	77
Figura 97 – Página das Definições da Conta, <i>WiFi</i> e Comunicação com Server.....	77
Figura 98 – Página dos estados da entrada, saídas e analógicas.....	78
Figura 99 – Página dos IPs externos.....	78
Figura 100 – Página da atualização do sistema.....	79
Figura 101 – Página falha na comunicação com o servidor MQTT.....	80
Figura 102 – Estrutura do servidor <i>Web</i> na Unidade Central.....	80
Figura 103 – Menu página principal.	81
Figura 104 – Visualização da página ventiladores.....	82
Figura 105 – Visualização da página do Consumo de energia.....	83
Figura 106 – Visualização da página fração.....	83
Figura 107 – Visualização da página do quadro.....	84
Figura 108 – Visualização da página do Histórico.....	85

Figura 109 – Visualização da página do administrador.	86
Figura 110 – Ventilador da Unidade Exterior 1 ligado.....	87
Figura 111 – Ventilador da UE1 ligado, com <i>setpoint</i> da temperatura 23 °C.....	88
Figura 112 – Ventilador da UE1 desligado, com a janela aberta.	88
Figura 113 – Ventilador da UE1 desligado, com a porta aberta.....	89
Figura 114 – Alterar o valor do <i>setpoint</i> da temperatura para 28.0 °C.	89
Figura 115 – Ventilador da UE1 desligado, com <i>setpoint</i> da temp. 28.0 °C.	90
Figura 116 – Atribuição da potência máxima (consumo <i>set on</i>).....	91
Figura 117 – Atribuição de prioridades nos ventiladores.	91
Figura 118 – Ventiladores UTA e Unidade Exterior ligados.	92
Figura 119 – Ventilador UE 1, com energia ativa em tempo real 1.82 kW.	92
Figura 120 – Ventilador UE 1, com energia ativa em tempo real 0.01 kW.	93
Figura 121 – Estado inicial dos ventiladores em ensaios.....	93
Figura 122 – Ventilador VED P.-1 ligado, com o motor elétrico na 2ª velocidade.	94

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Pinos de tensão 5 V, 3 V, <i>Ground</i> e reserva [18].	30
Tabela 2 – Configuração duas velocidades [38].	51
Tabela 3 – Bornes de potência.	61
Tabela 4 – Bornes de comando.	61
Tabela 5 – Endereços do contador de energia Socomec. [65]	71

Lista de Siglas e Acrónimos

ADC: Analógico para Digital, 10
AES: o Advanced Encryption Standard, 11
AP: Access Point, 67
AVAC: Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, 1
CAN: Controller Area Network, 9
CDI: Central de Detecção de Incêndio, 42
CO: Monóxido de Carbono, 51
CPU: Central Processing Unit, em português, Unidade Central de Processamento, 9
CSI: Camara Serial Interface, 28
CSS: Cascading Style Sheets, 65
DAC: Digital para Analógico, 10
DMA: Direct Memory Access, 13
DPI: Display Parallel Interface, 29
DSI: Display Serial Interface, 29
EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, 30
GPCLK: General Purpose Clock, 29
GPIO: General Purpose Input Output, 9
GPU: Graphics Processing Unit, 28
HDMI: High-Definition Multimédia Interface, 29
HEVC: High Efficiency Vídeo Coding, 28
HMAC: o Hash Message Authentication Code, 11
I2C: Inter-Integrated Circuit, 10
I2S: Inter-Integrated Sound, 10
IK: Proteção contra os choques mecânicos, 44
IoT: Internet Of Things em português Internet das Coisas, 9
IP: Índice de proteção, 44; Internet Protocol (Protocolo de internet), 73
IrDA: Infrared Data Association, em português, Associação de Dados Infravermelhos, 21
JSON: JavaScript Object Notation, 65
JTAG: Joint Test Action Group, 14
LCD: Liquid Crystal Display, 5
LED: Light Emitting Diode, 1
LPDDR4: Low-Power Double Data Rate, 28
MAC: Media Access Control, 15
MQTT: Message Queuing Telemetry Transport, 65
PCM: Pulse-Code Modulation, 29
PLL: Phase-Locked Loop, em português, Malha de Captura de Fase, 16
PMU: Power Management Unit, em português, Unidade de Gestão de Energia, 11
PWM: Pulse-Width Modulation, em português, Modulação por Largura de Impulso, 10, 19
QE: Quadro Elétrico, 84
RAM: Random Access Memory, 28

RGB: Red, Green and Blue, 72
RNG: Random Number Generator, 11
ROM: Read Only Memory, 14
RSA: Rivest Shamir Adleman, 11
RTC: Real Time Clock, 11
SHA: Secure Hash Algorithm, 11
SoC: System-on-Chip, 28
SPI: Serial Peripheral Interface, 10
SPIFFS: Serial Peripheral Interface Flash File Storage, 65
SRAM: Static Random-Access Memory, 14
SSID: Service Set Identifier (nome da rede WiFi), 73
TWI: Two Wire Interface, 35
UE1: Unidade Exterior 1, 40
UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter, em português Recetor e Emissor Assíncrono Universal, 10
ULP: Ultra Low Power, 12
UPS: Uninterruptible Power Supply, 53
USB OTG: Universal Serial Bus On-The-Go, 10
UTA: Unidade de Tratamento de Ar, 40
VED P.-1: Ventilador de Extração de Desenfumagem Piso -1, 43
VV: Variador de Velocidade, 1
WDT: Watchdog, 15
WLAN: Wireless Computer Network, 29

1 Introdução

Neste primeiro capítulo, pretende-se fazer um enquadramento geral sobre o tema que será abordado ao longo de todo o trabalho. Tratando-se de um projeto de sistema de apoio à gestão de energia de um quadro de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), começa-se por explicar a constituição e o funcionamento de um quadro AVAC, explorando o estado atual do mercado nesta área e terminando com uma proposta de solução, a ser desenvolvida nos capítulos subsequentes. Além destes pontos, serão também identificados os objetivos a alcançar com este projeto e explicitada a estrutura desta Tese.

1.1 Enquadramento

Este projeto de sistema de gestão de energia pretende ser uma solução para os quadros AVAC [1] [2] convencionais, permitindo o controlo da alimentação das máquinas de ventilação, extração, unidade exterior e interior, registos, etc.

Na Figura 1, pode-se observar o exemplo de um quadro elétrico AVAC genérico, que contém uma componente de potência e outra de comando.

A potência é constituída por:

- Interruptor geral;
- Porta fusíveis;
- Sinalização de fases;
- Interruptor diferencial;
- Disjuntores monofásicos;
- Disjuntores térmicos;
- Contador de energia;
- Variador de Velocidade (VV).

O comando é composto por:

- Placa de díodos e ponte retificadora;
- Teste de *Light Emitting Diode (LEDs)*;
- *LEDs*;
- Contactores;
- Comutadores;
- Mini autómato;
- Relés;

- Termostato.

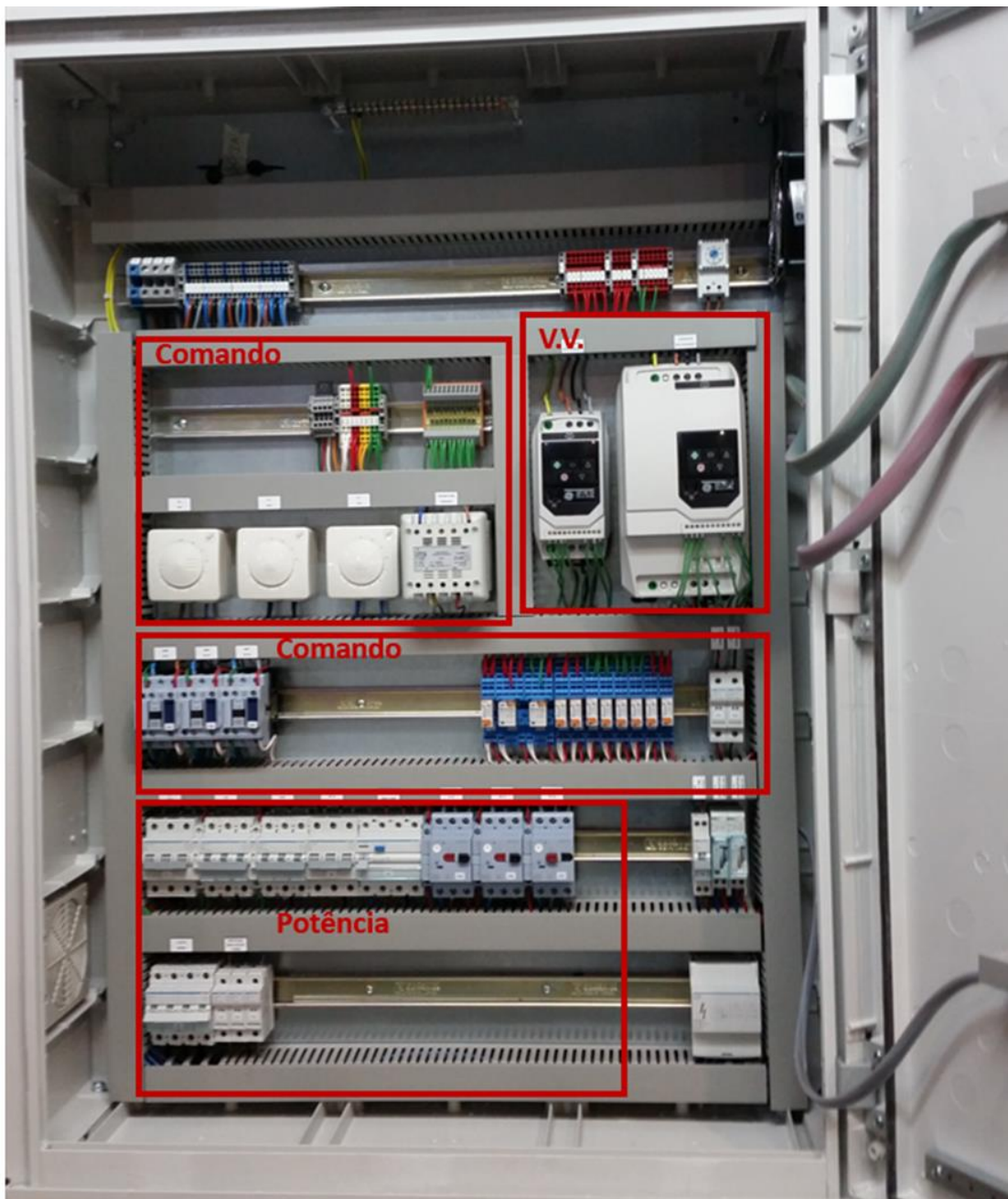


Figura 1 – Estrutura de um Quadro AVAC.

Na Figura 2, está representada a placa de LEDs e os comutadores. A placa de LEDs possibilita sinalizar o estado das máquinas ou dos registos ao nível do funcionamento do sistema e de eventuais avarias. Os comutadores permitem acionar as bobinas dos contactores através dos modos manual, zero ou automático. Existe a possibilidade de incluir algumas soluções adicionais, como avisos sonoros ou luminosos.



Figura 2 – Representação dos LEDs e comutadores na porta do quadro AVAC.

Quando os comutadores estão em modo automático, por norma, trabalham através de um mini autónomo (ver Figura 3) ou de sinais de informação provenientes da gestão técnica. O mini autónomo permite a programação de um relógio, possibilitando ligar ou desligar a alimentação de uma máquina de ventilação. Também pode ser utilizado, por exemplo, para efetuar o comando de alternâncias entre duas máquinas.

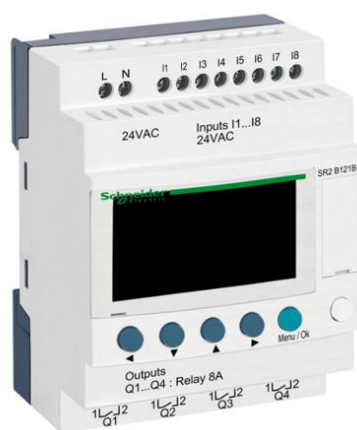


Figura 3 – Mini autónomo [3].

O quadro AVAC contém sinais de saídas que permitem enviar as informações sobre o disparo de proteção (disjuntores), funcionamento (contactores), estado do comutador, entre outras informações para o quadro da gestão técnica (ver Figura 4), que, por sua vez, possui um ou mais módulos de entrada (digitais ou analógicas) e de saída (digitais). Também contém

sinais de entrada, que permitem o funcionamento em modo automático de uma determinada máquina, através de comando enviado pela gestão.



Figura 4 – Quadro da gestão técnica.

Estes sistemas são tipicamente manuais e o controlo é feito localmente, o que pode tornar o processo de manutenção/reparação mais moroso e difícil, uma vez que até as tarefas mais simples necessitam de intervenção local (ex. regular temperatura do termostato). Assim, de forma a colmatar esta limitação, pretende-se desenhar um sistema de quadro AVAC que seja controlado remotamente e que tenha capacidade para armazenar dados relevantes para o cliente. Esta solução permitirá o uso de inteligência artificial, uma vez que utiliza equipamentos de contagem, sensores de temperatura, porta e janela, relógio, entre outros componentes que podem ser configurados através de programação inteligente, por forma a possibilitar o registo de informação numa base de dados, para consulta posterior pelo utilizador.

Paralelamente, além de contribuir para ultrapassar a limitação identificada, esta solução também permite efetuar uma gestão mais racional da energia, já que, entre outras coisas, possibilita a definição de horários específicos em que o sistema irá ter maior atividade (podendo tratar-se das horas em que a energia é mais barata, por exemplo), bem como o controlo do consumo de eletricidade. Adicionalmente, este sistema conta com alguns sensores que permitem efetuar a gestão da temperatura ambiente, tornando-o mais eficiente. Por fim, também possibilita uma gestão dos equipamentos ligados, através do deslastre das cargas.

1.2 Objetivos

O aumento da população mundial tem incrementado substancialmente a construção de edifícios. A temperatura, a humidade, a iluminação e a velocidade do ar são componentes essenciais na garantia do conforto do ser humano, embora este varie de indivíduo para indivíduo, consoante a idade e o organismo de cada um [4]. Esta realidade, aliada às preocupações ambientais e aos elevados custos, humanos e económicos, que daí podem advir, torna urgente e fundamental criar soluções que permitam efetuar uma gestão eficiente dos recursos, nomeadamente da energia. Além de toda a poupança resultante, uma gestão racional da energia é, também, mais sustentável.

Projetou-se, então, um protótipo de sistema de gestão de energia em quadro AVAC. Na Figura 5, está representado o diagrama de blocos do protótipo. Este sistema é constituído por um ou mais Módulos Remotos, baseados no ESP32-S2 [5], e por uma Unidade Central, constituída por um *Raspberry Pi* [6] com *LCD Touch Screen* [7]. A Unidade Central e os Módulos Remotos comunicam via *WiFi* [8]. O contador de energia transmite os dados à Unidade Central por meio da comunicação RS485. [9]

O objetivo deste projeto passa por recorrer ao uso da Indústria 4.0 como forma de racionalizar o consumo de energia em sistemas AVAC. O intuito é robustecer o processo de construção dos quadros AVAC, tornando-os mais eficientes do ponto de vista energético e facilitando eventuais intervenções/reparações.

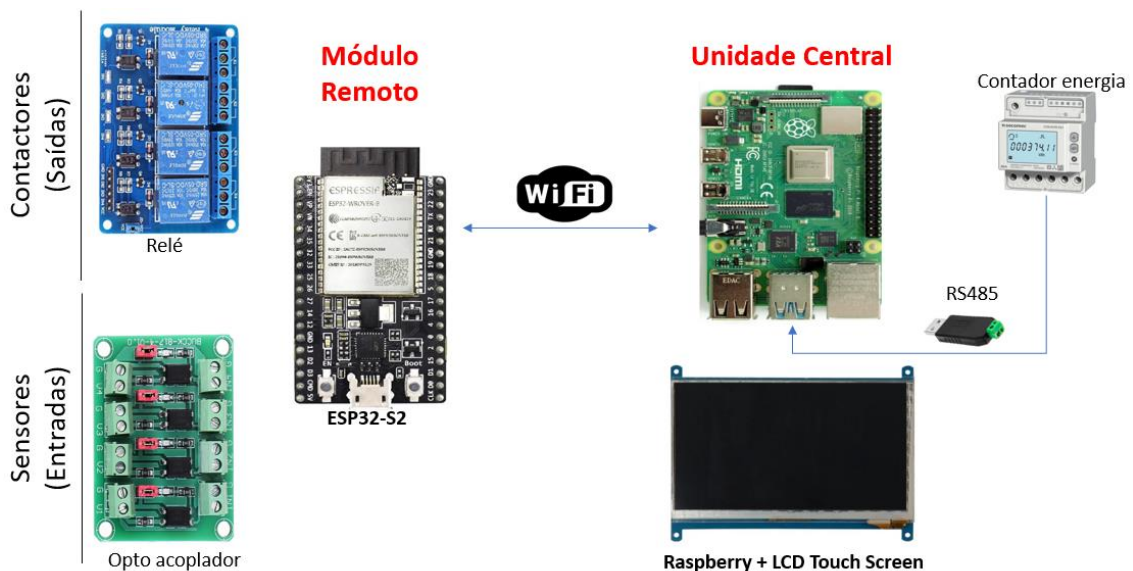


Figura 5 – Diagrama de blocos do protótipo.

Quanto ao protótipo projetado, conforme observado no diagrama de blocos (ver Figura 5), o Módulo Remoto deve poder receber comandos da Unidade Central e atuar sobre o sistema AVAC, bem como realizar a função inversa, isto é, deve efetuar a aquisição de sinais de sistema

AVAC e enviá-los para a Unidade Central.

A Unidade Central deverá refletir toda a informação da gestão da energia, nomeadamente o funcionamento e eventuais avarias da máquina, o número de manobras dos contactores, o consumo de energia, o estado dos sensores e o horário. Este controlo será efetuado através de uma aplicação intuitiva para o utilizador final.

Na Figura 6, está representado o protótipo desenvolvido do sistema de gestão de energia em quadro AVAC.



Figura 6 – Protótipo do quando AVAC.

1.3 Mais-Valias do Protótipo

Este projeto apresenta-se como uma alternativa vantajosa face a soluções similares atualmente existentes no mercado. Na verdade, uma das suas grandes mais-valias reside no preço - enquanto que os mini autómatos utilizados para programar os horários têm um custo unitário de 100 euros, um ESP32-S2 custa apenas 12 euros, com o benefício adicional de permitir uma maior flexibilidade no desenvolvimento de aplicações, oferecendo soluções mais personalizadas de acordo com os requisitos/objetivos do Cliente. Como o ESP32-S2 já tem um

relógio incorporado, possibilita a programação de horários a um baixo custo, resultando numa poupança de cerca de 50 euros (custo unitário de um relógio, que permite programar apenas um horário, enquanto que com o mini autómato o utilizador consegue programar vários horários).

Por outro lado, por constituir uma solução tipicamente remota e digital, este sistema é ecológico e dispensa a utilização de equipamentos físicos, nomeadamente comutadores e placas de leds. A maior aposta está, assim, na componente do *software*, que permite aceder a uma base de dados que contém toda a informação sobre o estado e o funcionamento do sistema. Esta especificidade pode ser extremamente útil em caso de avaria, quer para o utilizador, quer para a equipa de manutenção, já que possibilita um melhor conhecimento sobre a anomalia em questão, assim como uma intervenção remota, sendo por isso mais rápida e segura face aos sistemas convencionais, que requerem um contacto direto com o equipamento.

Paralelamente, o *software* desenvolvido permite uma gestão energética mais eficiente. Assim, enquanto que com os quadros elétricos convencionais, o utilizador tem que consultar os dados diretamente no contador de energia (localmente no quadro elétrico) ou então necessita adquirir *softwares* próprios que algumas marcas comercializam, a fim de tornar esta solução mais digital. O *software* desenvolvido no protótipo já possibilita a consulta dos dados de consumo das últimas 24 horas, através de uma aplicação intuitiva criada para o efeito. Este facto constitui uma clara vantagem comparativamente aos sistemas convencionais, já que estes não fornecem dados em função das tarifas nacionais, o que dificulta uma utilização plena da máxima valência do contador de energia por parte dos Clientes. Desta forma, com este novo sistema, o utilizador pode escolher opções mais eficientes, já que será capaz de controlar os seus consumos, evitando ultrapassar a potência máxima contratada e tendo a opção de efetuar o deslastre das cargas sem perder qualidade e eficiência. Isto só é possível graças a sistemas de controlo da temperatura do ambiente e aos sensores de porta e janela, que também são um claro benefício deste projeto. A sua utilização gera dados que são armazenados no sistema, permitindo traçar o perfil do utilizador através dos seus hábitos de consumo. Os sistemas convencionais não possuem estes componentes, que permitem regular a temperatura dos espaços conseguindo um uso mais racional da energia.

Além das vantagens já mencionadas, este projeto tem a mais-valia de oferecer flexibilidade ao Cliente, já que o sistema desenvolvido pode ser utilizado de acordo com as necessidades de cada utilizador. Na verdade, é possível e fácil adicionar novos módulos remotos ao sistema, facilmente programáveis, sempre que haja essa necessidade.

Por fim, mas não menos importante, os dados armazenados no sistema podem ser

utilizados pela inteligência artificial.

1.4 Estrutura da Tese

Esta dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, o primeiro dos quais é a presente introdução, na qual se enquadra o protótipo, definem-se os objetivos, descreve-se a estrutura da dissertação e enumeram-se as contribuições originais do trabalho realizado.

No segundo capítulo, faz-se uma breve introdução ao módulo de desenvolvimento ESP32-S2, descreve-se a estrutura do sistema e apresentam-se os principais módulos do diagrama de blocos do ESP32-S2.

No terceiro capítulo, faz-se uma breve introdução ao módulo de desenvolvimento *Raspberry Pi 4* e descrevem-se os principais sistemas.

No quarto capítulo, apresentam-se todos os equipamentos do *hardware* que o protótipo contém e descreve-se a montagem do variador de velocidade no protótipo.

No quinto capítulo, descreve-se a implementação dos sistemas desenvolvidos no Módulo Remoto e na Unidade Central. Faz-se, também, a análise do sistema que permite a comunicação entre os dois equipamentos e a descrição do sistema que permite a ligação da Unidade Central com o contador de energia. Além disso, são descritos os *softwares* desenvolvidos para o Módulo Remoto e para a Unidade Central.

O sexto capítulo contém o detalhe dos ensaios e testes realizados no protótipo, abordando os principais resultados obtidos e as conclusões que se podem extrair desses mesmos resultados.

O sétimo capítulo refere as conclusões e considerações finais, obtidas após o desenvolvimento da presente tese e, ainda, a possibilidade de desenvolvimentos futuros.

2 Módulo de Desenvolvimento ESP32-S2

Este capítulo, inteiramente dedicado ao módulo de Desenvolvimento ESP32-S2, inicia-se com uma breve introdução sobre a mesma, abordando a sua origem, evolução, modo de funcionamento, estado atual no mercado e aplicabilidade. Posteriormente, é explicada a arquitetura do ESP32-S2, com detalhe das especificações técnicas e dos componentes que o constituem, concluindo com uma análise mais aprofundada dos seus componentes.

2.1 Introdução

Económico e com um baixo nível de consumo de energia, o ESP32-S2 é um dos microcontroladores mais utilizados no mercado. Tem comunicação *WiFi* e *Bluetooth* incorporada e uma antena de radiofrequência (RF) de última geração, cuja potência, aliada ao seu bom desempenho, contribuem para que este tipo de controlador seja usado em diversas aplicações relacionadas com a *Internet Of Things (IoT)*, em português, Internet das Coisas.

O ESP32-S2 foi desenvolvido por uma empresa chinesa, a *Espressif Systems*, e funcionou como um *upgrade* face ao ESP8266, também produzido pelo mesmo grupo. Na verdade, o ESP32-S2 é muito mais potente quando comparado com o ESP8266 – tem uma *Central Processing Unit (CPU)*, em português, Unidade Central de Processamento de 32 *bits*, denominada *Xtensa LX7*, que, embora seja semelhante à CPU do ESP8266, conta com dois núcleos, é mais rápida e possui uma maior memória de dados. Tem também, mais *General Purpose Input Output (GPIOs)* e um conversor analógico para digital (ADC) de alta resolução, com conectividade de barramento *Controller Area Network (CAN)*. Adicionalmente, tem um módulo de comunicação *Bluetooth*, que possibilita que o microprocessador se comunique com equipamentos compatíveis com *Bluetooth*. Na Figura 7, pode-se observar a estrutura de um ESP32-S2 vista de cima [10] [11].

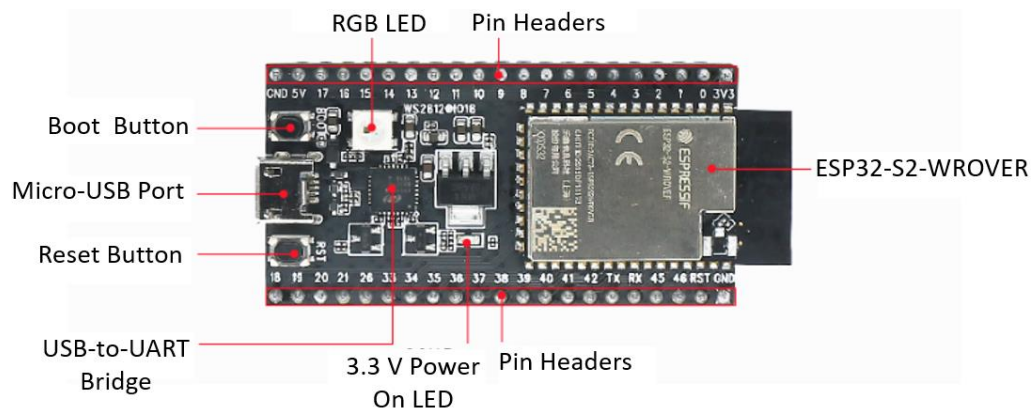


Figura 7 – Módulo do ESP32-S2 [12].

2.2 Arquitetura do ESP32-S2

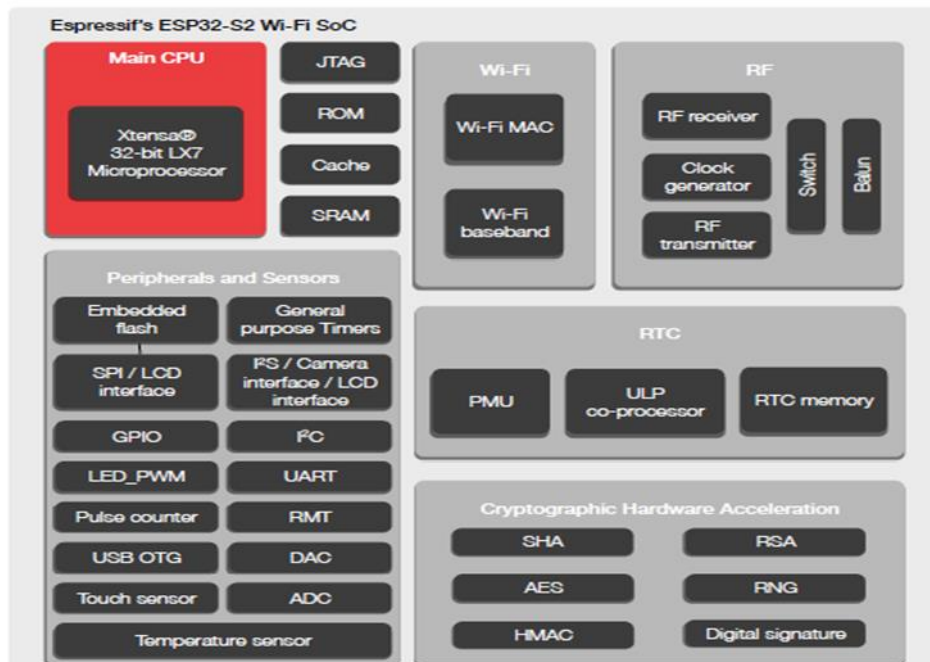


Figura 8 – Diagrama de bloco do ESP32-S2 [12]

O diagrama de blocos do microcontrolador ESP32-S2, que pode ser observado na Figura 8, é constituído pelos seguintes blocos [10] [11]:

- A Unidade Central de Processamento, que incorpora um microprocessador *dual-core Xtensa LX7*;
- O bloco dos sensores e periféricos, composto por:
 - 43 *General Purpose Input Output* (GPIO);
 - 14 Sensores de toque;
 - 2 Conversores de Digital para Analógico (DAC);
 - 2 Conversores de Analógico para Digital (ADC);
 - 8 *Canais de Pulse Width Modulation* (PWM), em português, modulação por largura de impulso;
 - Contador de impulsos;
 - *Universal Serial Bus On-The-Go* (USB OTG);
 - *Inter-Integrated Sound* (I2S),
 - 2 *Inter-Integrated Circuit* (I2C),
 - 2 *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART), em português recetor e emissor assíncrono universal;
 - 4 *Serial Peripheral Interface* (SPI);
 - Comunicação por Infravermelhos;

- Sensor de temperatura.
- O bloco da radiofrequência (RF), composto por:
 - Transmissor/recetor;
 - Gerador de relógio;
- O módulo *Real Time Clock* (RTC), que contém:
 - *Power Management Unit* (PMU), em português, Unidade de Gestão de Energia;
 - Coprocessador;
 - Memória de recuperação.
- Os módulos do *WiFi* e *Bluetooth*;
- O bloco de aceleração do *hardware* criptográfico, que contém:
 - *Secure Hash Algorithm* (SHA);
 - *Rivest Shamir Adleman* (RSA);
 - *Advanced Encryption Standard* (AES);
 - *Random Number Generator* (RNG);
 - *Hash Message Authentication Code* (HMAC);
 - Assinatura digital.

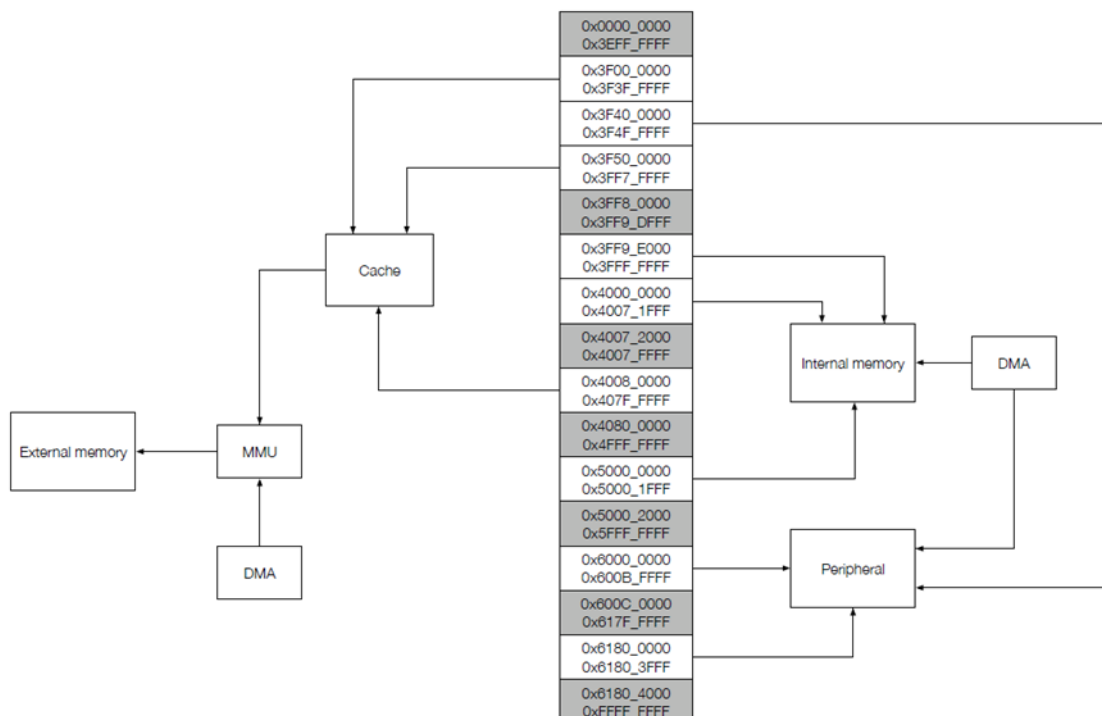


Figura 9 – Estrutura do sistema e mapa de endereçamento [10].

Na Figura 9, está representada a estrutura do sistema ESP32-S2 e o respetivo mapa de endereçamento. Esta estrutura é baseada na arquitetura Harvard, em que o acesso do

processador às memórias interna e externa e aos periféricos é efetuado através de dois canais distintos - dados e instruções. No mapa de endereçamento pode-se observar as várias zonas de endereço reservadas para as memórias interna e externa e para os periféricos.

2.3 Coprocessador

O coprocessador é um processador *Ultra Low Power* (ULP). Este mantém-se ligado quando o *chip* está em modo de suspensão, o que possibilita que os utilizadores possam guardar na memória RTC um programa para o coprocessador comunicar com equipamentos periféricos, sensores internos e registos do RTC, durante o período de suspensão [10].

Na Figura 10, está representada a visão geral do coprocessador. A CPU principal ativa o modo de suspensão, por forma a reduzir o consumo de energia. Simultaneamente, o coprocessador é ligado através do timer ULP. De seguida, monitoriza o ambiente externo ou efetua comunicação com o circuito externo, controlando os equipamentos periféricos, tais como: RCTIO, RTC I2C, ADC ou sensor de temperatura (TSENS). O coprocessador ativa a CPU principal no momento em que uma condição de ativação é alcançada [10].

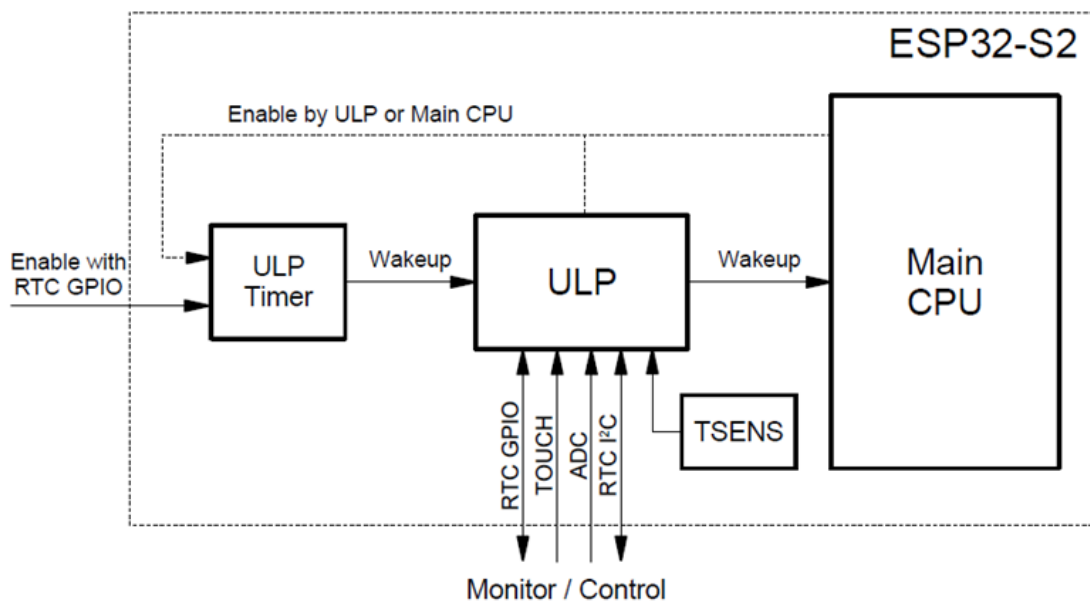


Figura 10 – Visão geral do coprocessador ULP [10].

O ESP32-S2 contém dois coprocessadores ULP. O primeiro é baseado na arquitetura do conjunto de instruções RISC-V (ULP-RISC-V) e o segundo na máquina de estados finitos (ULP-FSM). Os dois coprocessadores, ULP-FSM e ULP-RISC-V, não podem ser utilizados em simultâneo, já que o utilizador apenas pode selecionar um coprocessador de cada vez, de acordo com as suas necessidades e com o resultado pretendido. Na Figura 11, pode-se observar um comparativo das características de cada coprocessador, que evidencia as

diferenças existentes entre ambos [10].

Feature		Coprocessors	
		ULP-FSM	ULP-RISC-V
Memory (RTC Slow Memory)		8 KB	
Work Clock Frequency		8 MHz	
Wakeup Source		ULP Timer	
Work Mode	Normal Mode	Assist the main CPU to complete some tasks after the system is woken up.	
	Monitor Mode	Control sensors to do tasks such as monitoring environment, when the system is in sleep.	
Control Low-Power Peripherals		ADC0/ADC1	
		DAC0/DAC1	
		RTC I2C	
		RTC GPIO	
		Touch Sensor	
		Temperature Sensor	
Architecture		Programmable FSM	RISC-V
Development		Special instruction set	Standard C compiler

Figura 11 – Comparação dos dois coprocessadores [10].

2.4 Módulo *Direct Memory Access* (DMA)

O módulo *Direct Memory Access* (DMA), possibilita a transferência, em alto débito, de dados dos periféricos para a memória e entre blocos de memórias. Nesta situação, a CPU torna-se mais eficiente, porque não está incluída na transferência da DMA [10].

O ESP32-S2 contém três tipos de DMA: DMA interno, EDMA e DMA cópia. O DMA interno só tem acesso à RAM interna e é utilizado para efetuar a transferência de dados entre a RAM interna e os periféricos. O EDMA tem acesso à RAM interna e externa, possibilitando a transferência de dados entre RAM interna e externa e periféricos. O DMA cópia só tem acesso à RAM interna e torna possível a transferência de dados da mesma para outro local [10].

O ESP32-S2 possui oito periféricos com métodos DMA. Como se pode observar na Figura 12, os módulos UART0 e UART1 partilham um DMA interno; os módulos SPI3 e os controladores ADC partilham um DMA interno; os aceleradores AES e o SHA partilham um EDMA (*Crypto DMA*); e os módulos SPI2 e I2S0 têm o seu EDMA individual. Adicionalmente, o módulo periférico da CPU também conta com um DMA cópia [10].

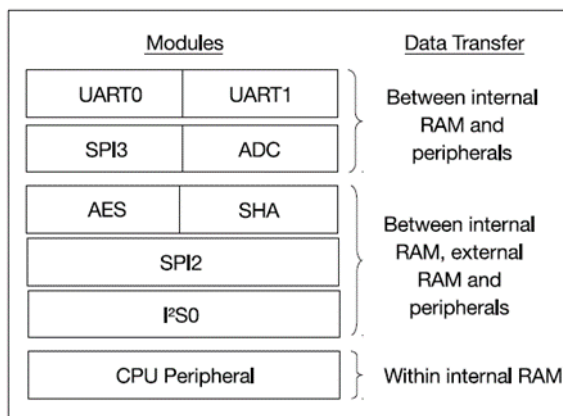


Figura 12 – Módulo com DMA e transferência de dados compatíveis [10].

2.5 Módulo *Central Processing Unit* (CPU)

A *Central Processing Unit* (CPU) tem uma frequência de *clock* até 240 MHz e suporta um *pipeline* de 7 andares, com um conjunto de instruções de 16 ou 24 *bits*. Contém 32 interrupções de seis níveis e suporta 32 *bits* para o multiplicador e 32 *bits* para o divisor. A depuração pode ser feita através da *Joint Test Action Group* (JTAG) [13]. Na Figura 13, está representado o microprocessador *Xtensa* LX7 do ESP32-S2 [11] [12].

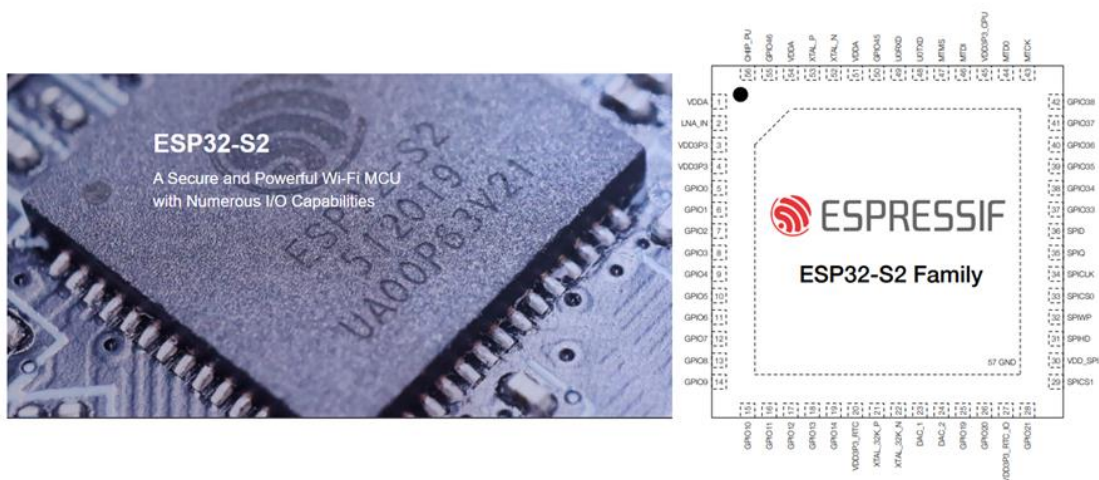


Figura 13 – Microprocessador do ESP32-S2 [5].

2.6 Módulo da Memória Interna

A memória interna no ESP32-S2 é composta por quatro segmentos, a saber [10] [12]:

- 128 kB para a *Read Only Memory* (ROM);
- 320 kB de *Static Random-Access Memory* (SRAM);
- 8 kB de SRAM em cada módulo RTC, de memória de acesso rápido e lento.
- 4 kbit de *eFuse* (uma tecnologia criada pela IBM, que possibilita a reprogramação

de *chips* de computador em tempo real), contando com 1792 *bits* disponíveis para a configuração do *chip* e endereço *Media Access Control* (MAC).

2.7 Módulo Rádio

O microcontrolador ESP32-S2 possui módulos internos de transmissão e recepção de 2,4 GHz, para comunicação *WiFi* e *Bluetooth* (ver Figura 14) [12].

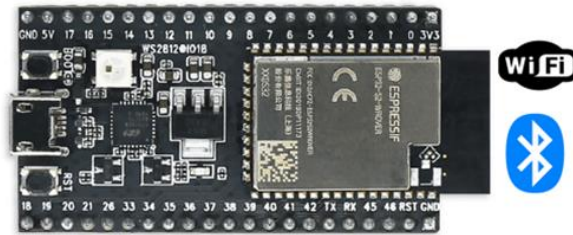


Figura 14 – ESP32-S2 incorpora o módulo *WiFi* e *Bluetooth* [14].

2.8 Módulo do Temporizador Universal

Os temporizadores universais têm diversas aplicações, podendo ser utilizados para controlar com maior precisão um intervalo de tempo, ativar uma interrupção após um intervalo específico (periódico ou aperiódico) ou acionar um relógio do *hardware*. Na Figura 15, estão representados os dois grupos de temporizadores que o ESP32-S2 contém - o grupo de temporizador 0 e o grupo de temporizador 1. Cada um destes grupos é constituído por dois temporizadores universais (T0 e T1) e um temporizador *watchdog* (WDT). Todos os temporizadores contêm pré-escaladores de 16 *bits* (divisão de 2 a 65535) e permitem o recarregamento automático dos contadores ascendentes e descendentes de 64 *bits* [10].

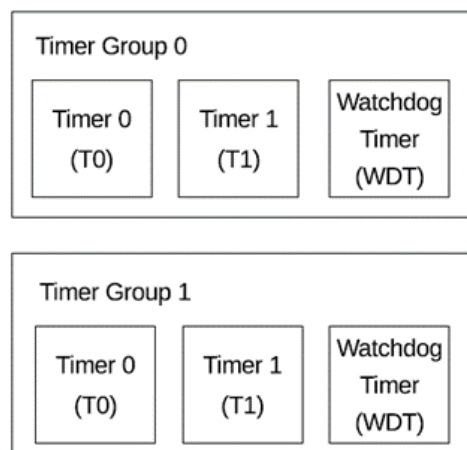


Figura 15 – Módulo do temporizador universal [10].

Os temporizadores *watchdog* são temporizadores do *hardware* que permitem a deteção e recuperação de avarias. Para garantir um bom funcionamento, devem ser alimentados

periodicamente, isto é, deve ser efetuado um *reset*, de modo a evitar o tempo limite. Por exemplo, quando um sistema/*hardware* tem um comportamento inesperado (estar preso num *loop* do *software* ou em eventos atrasados), haverá uma falha na alimentação no *watchdog*, o que, por consequência, ativará um tempo limite do *watchdog*. Assim, os temporizadores *watchdog* são boas soluções para detetar e lidar com comportamentos incorretos do sistema/*hardware* [10].

2.9 Módulo do Relógio do Sistema

O ESP32-S2 oferece múltiplas fontes de relógio, que possibilitam com que a CPU, o *WiFi*, os periféricos e o RTC funcionem em diferentes frequências, assegurando uma maior flexibilidade no encontro dos requisitos de vários cenários de aplicação. A estrutura do relógio do sistema ESP32-S2, que pode ser observada na Figura 16, é constituída por três tipos de velocidade do relógio [10]:

- O relógio de alta velocidade;
- O relógio de baixa velocidade;
- O relógio de áudio.

O relógio de alta velocidade, utilizado em dispositivos de alta frequência como a CPU e os periféricos digitais, é composto por um relógio *Phase-Locked Loop* (PLL), em português, Malha de Captura de Fase, com uma frequência de 320 MHz ou 480 MHz (PLL_CLK), e um relógio de cristal externo, com uma frequência de 40 MHz (XTAL_CLK) [10].

O relógio de baixa velocidade, aplicado em dispositivos de baixa frequência como a unidade de gestão de energia e os periféricos de baixa potência, é composto pelos seguintes elementos [10]:

- Relógio de cristal externo, com uma frequência de 32 kHz (XTAL32K_CLK);
- Oscilador interno de divisão por N de 8 MHz (valor por omissão de 8 MHz), com frequência ajustável (RTC8M_CLK);
- Relógio interno (RTC8M_D256_CLK), com uma frequência de 31.250 kHz derivado da divisão do RTC8M_CLK por 256;
- O oscilador interno (RTC_CLK), com frequência ajustável (valor por omissão 90 kHz).

O relógio de áudio, utilizado nos dispositivos relacionados com áudio, é composto por um relógio PLL de áudio interno, com o intervalo de frequência de 16 MHz até 128 MHz (APLL_CLK) [10].

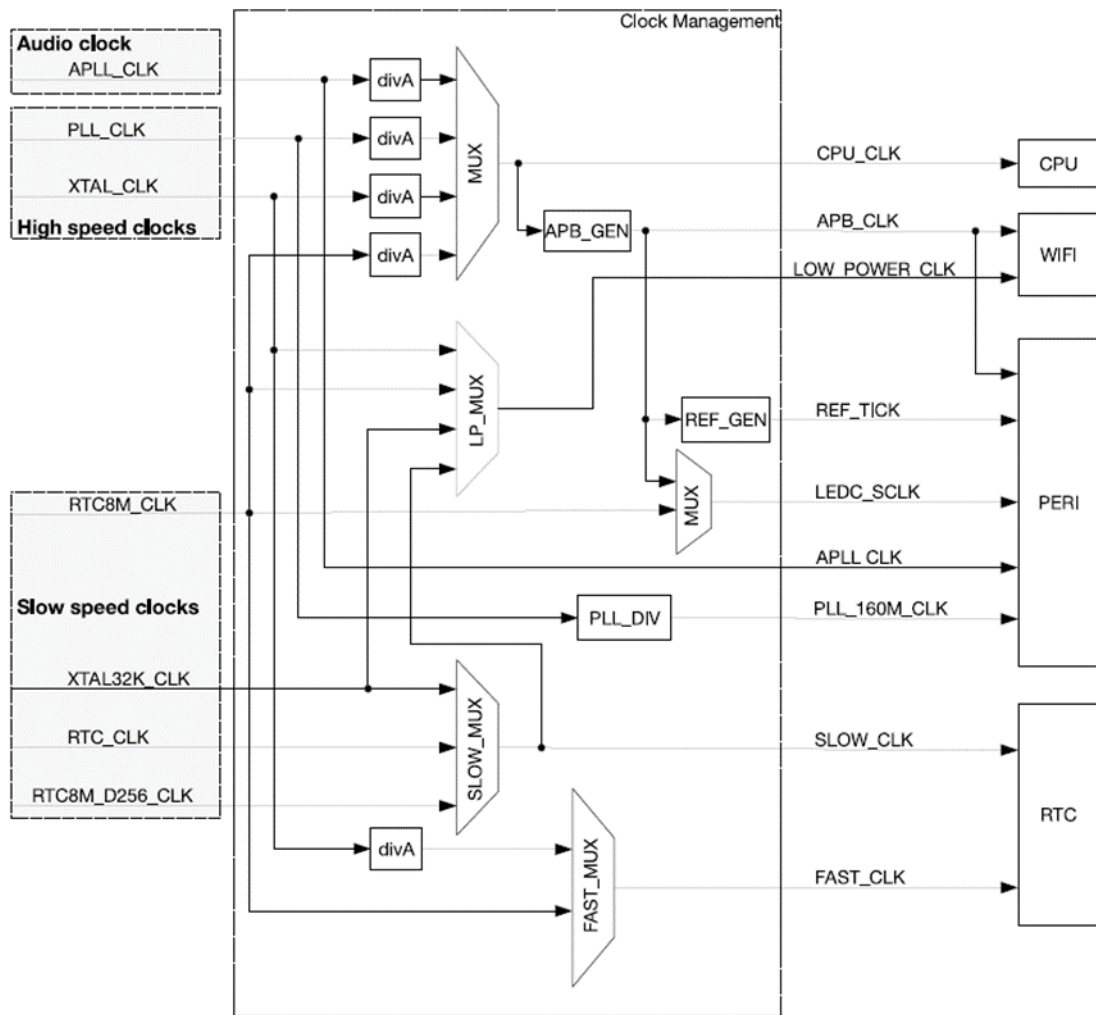


Figura 16 – Relógio do sistema [10].

2.10 Módulo do Contador de Impulsos

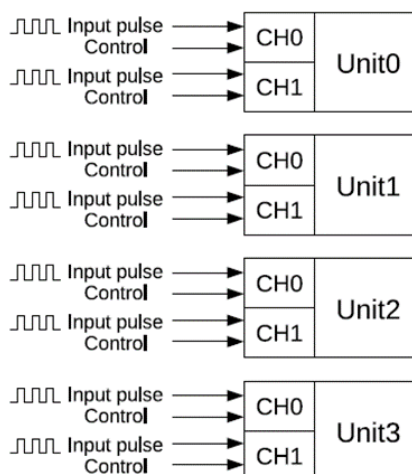


Figura 17 – Arquitetura do contador de impulsos [10].

O módulo do contador de impulsos é utilizado para contar os impulsos de entrada e gerar interrupções. Na Figura 17, está representada a arquitetura do contador de impulso, que

contém 8 canais. Das quatro unidades representadas, cada uma suporta 2 canais de contagem de impulso [10].

2.11 Módulo *General Purpose Input Output* (GPIO)

O ESP32-S2 contém 43 pinos *General Purpose Input Output* (GPIO), que podem ser configurados para uso de sinal digital, analógico ou sensor de toque. Os GPIOs digitais podem ser configurados, por forma a adicionar resistência *pull-up* ou *pull-down* interna ou ficarem num estado de alta impedância [10] [11].

Os pinos de entrada podem ser configurados para aceitar interrupções conforme as mudanças de estado. Na Figura 18, estão representados a verde alguns dos pinos GPIOs [10].

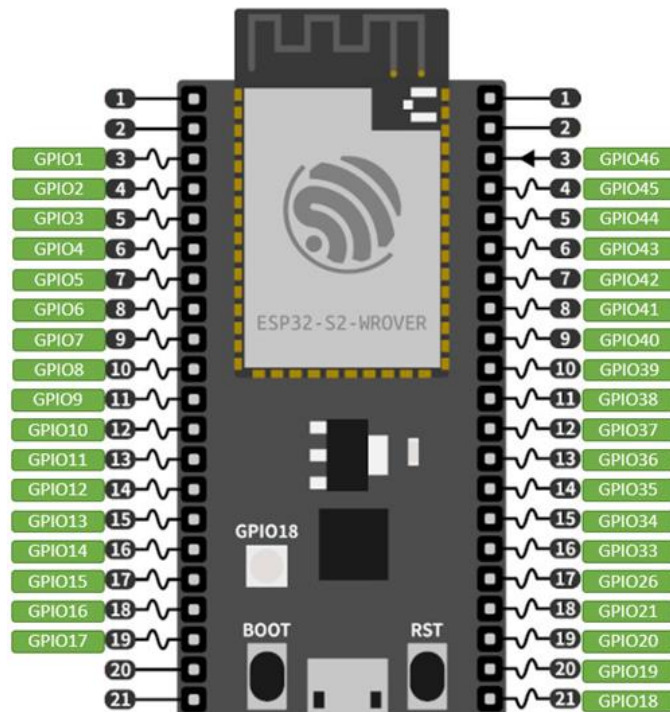


Figura 18 – Representação dos pinos GPIOs [15].

2.12 Conversores ADC e DAC

Na Figura 19, estão representados a roxo os dois conversores ADC1 e ADC2 de 12 *bits* e os 20 canais, sendo que cada conversor suporta 10 canais. O ESP32-S2 incorpora, também, dois conversores DAC1 e DAC2 de 8 *bits*, representados na Figura 19 a amarelo. Os conversores ADC e DAC operam numa gama de 0 a 5 V [10].

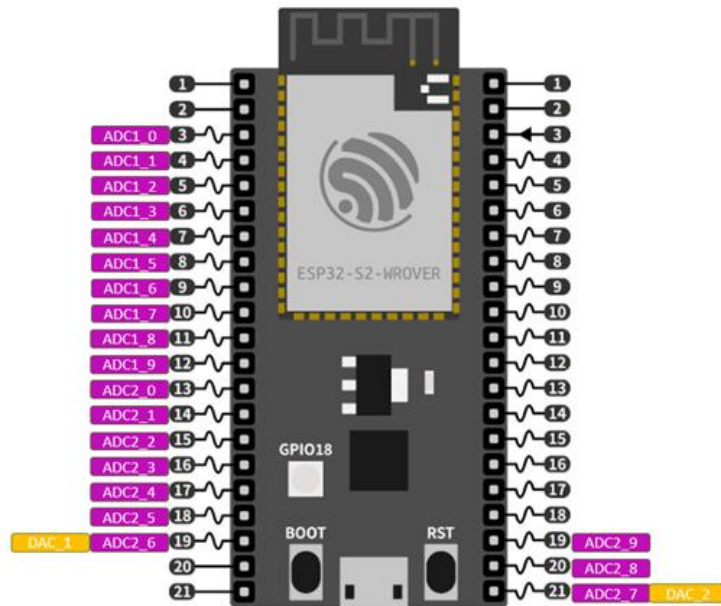


Figura 19 – Conversores ADC e DAC [15].

2.13 Módulo *Pulse Width Modulation* (PWM)

O módulo *Pulse Width Modulation* (PWM) é utilizado para controlar equipamentos como *LEDs*, motores, aquecedores elétricos, luzes inteligentes e similares. Conta com temporizadores de 14 *bits* e geradores de forma de onda. Na Figura 20, está representada a arquitetura do módulo PWM, com os seus quatro temporizadores e os oito geradores de forma de onda, que produzem os sinais PWM. [10]

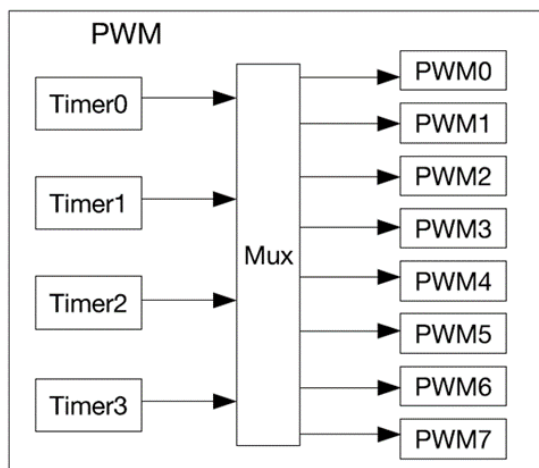


Figura 20 – Arquitetura PWM [10].

2.14 Sensor de Toque

A família ESP32-S2 dispõe de 14 sensores de toque capacitivos que podem ser ligados. Os pinos GPIOs permitem detetar as alterações capacitivas produzidas através do contacto direto

com um dedo ou um objeto adequado. Na Figura 21, estão representadas a castanho as entradas que podem ser utilizadas pelos sensores de toque [10].

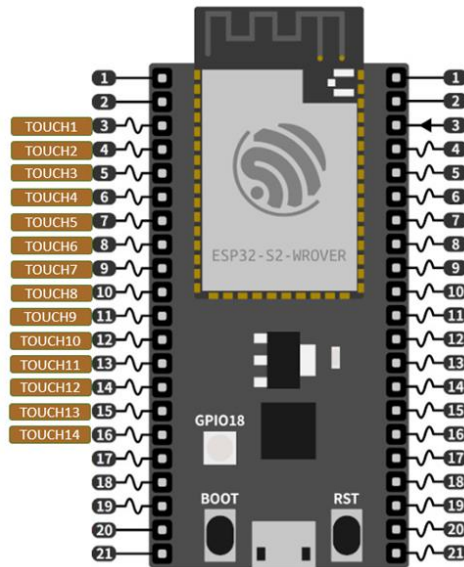


Figura 21 – GPIOs para sensores de toque [15].

2.15 Sensor de Temperatura

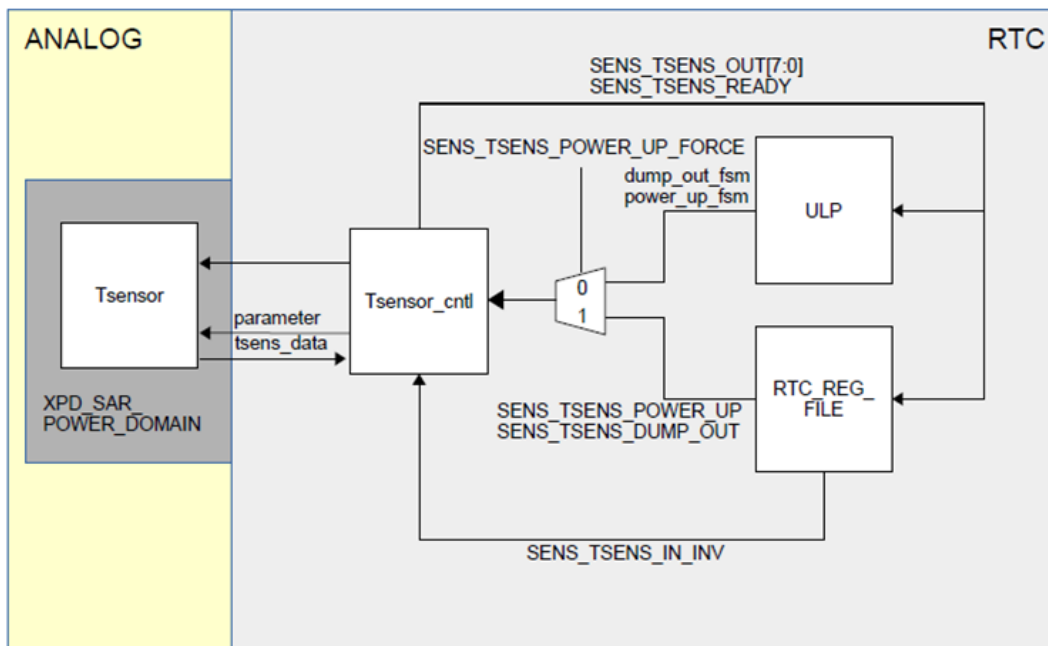


Figura 22 – Estrutura do sensor de temperatura no ESP32-S2 [10].

O microprocessador ESP32-S2 tem um sensor de temperatura analógico interno, com uma gama de -20 °C a 110 °C. A temperatura medida é convertida para valor digital, internamente, por ação do conversor ADC [10].

Como se pode observar na Figura 22, o sensor de temperatura pode ser ativado através do

software ou do coprocessador ULP. Quando o sensor é iniciado através do *software*, ou seja, pela CPI ou ULP_RISC-V, os registos relacionados são configurados e o sensor de temperatura é ativado por meio dos registos SENS_TSENS_POWER_UP_FORCE e SENS_TSENS_POWER_UP [10].

2.16 Módulo de Comunicação UART

O ESP32-S2 suporta duas *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UARTs), com velocidades até 5 Mbps, que são utilizadas para a comunicação série (RS232, RS485 e IrDA) [10].

Na Figura 23, está representada a estrutura do módulo UART, que contém duas fontes de relógio, com as referências a APB_CLK (80 MHz) e a outro REF_TICK, que são seleccionadas através da configuração do UART_TICK_REF_ALWAYS_ON. A fonte de relógio escolhida sofre a ação de um divisor, de modo a gerar sinais de relógio para ativar o controlador da UART. O divisor é configurado através da UART_CLKDIV_REG, que é composta pela parte integral (UART_CLKDIV) e pela parte fracionária (UART_CLKDIV_FRAG) [10].

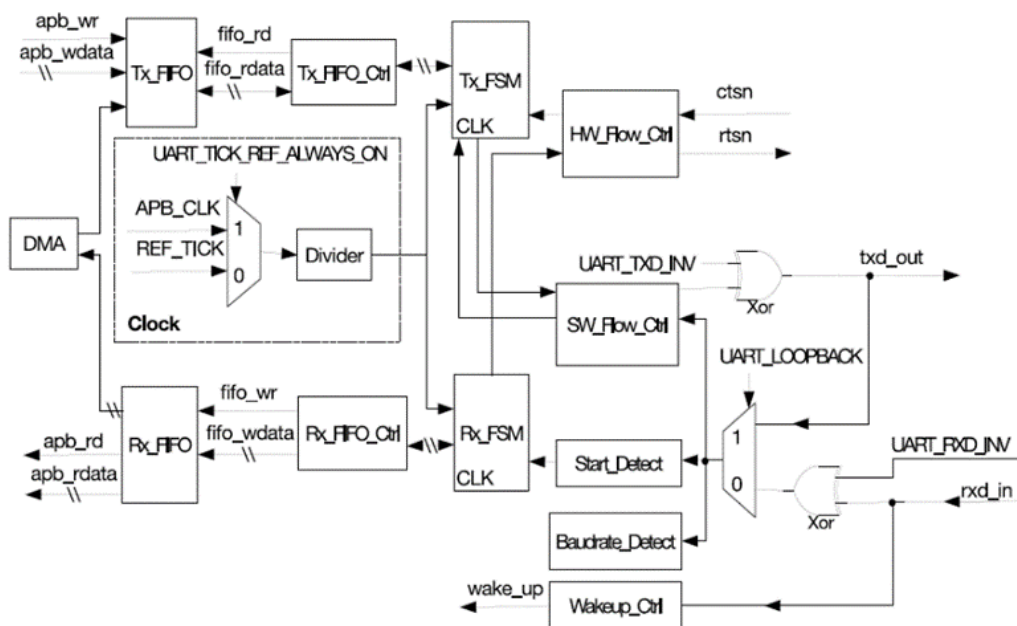


Figura 23 – Estrutura do módulo da UART [10].

O controlador da UART contém um recetor e um transmissor. O transmissor integra um Tx_FIFO, que possibilita armazenar em buffer os dados a serem enviados. Além disso, o transmissor conta com os seguintes elementos [10]:

- Tx_FIFO_Ctrl, que controla a escrita e a leitura no Tx_FIFO;
- Tx_FSM, que faz a leitura dos *bits* através do Tx_FIFO_Ctrl, convertendo-os num

fluxo de *bits* quando o Tx_FIFO contém dados;

- Registo UART_TXD_INV, que permite inverter os níveis do sinal de saída (txd_out).

O recetor integra um Rx_FIFO que permite guardar em *buffer* os dados a serem processados. Além disso, o recetor conta com outros elementos [10]:

- Registo UART_TXD_INV, que possibilita inverter os níveis do sinal de entrada (rx_d_in);
- Baudrate_Detect, que permite medir a taxa de transmissão do sinal de entrada (rx_d_in), detetando a largura de pulso mínima;
- Star_Detect, que torna possível detetar o bit inicial dos dados da *frame*;
- Rx_FSM, que armazena os *bits* de dados na *frame* de dados em Rx_FIFO, através do Tx_FIFO_Ctrl, caso o bit inicial seja detetado;
- HW_Flow_Ctrl, que permite o controlo dos fluxos de dados rx_d_in e txd_out através dos sinais de controlo de fluxo UART RTS e CTS (rtsn_out e ctsn_in);
- SW_Flow_Ctrl, que controla os fluxos de dados através da associação automática de caracteres especiais nos dados de saída e deteta caracteres especiais nos dados de entrada.

Na Figura 24, estão representados a cinzento os pinos GPIOs que podem ser utilizados pelas UART no ESP32-S2 [10].

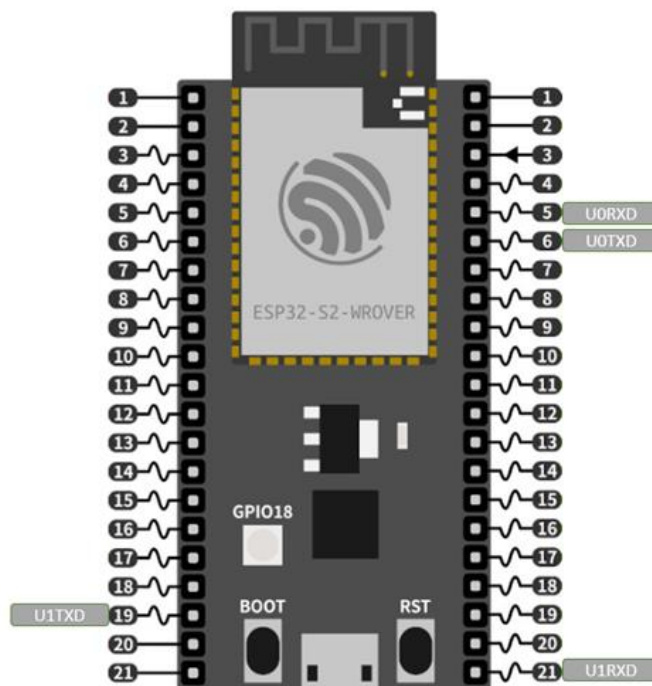


Figura 24 – GPIOs para UART [15].

2.17 Módulo de Comunicação I2C

O microprocessador ESP32-S2 tem duas interfaces de barramento *Inter-Integrated Circuit* (I2C), que podem ser configuradas nos modos *master* (ver Figura 25) ou *slave* (ver Figura 26). Cada interface do barramento I2C possui duas linhas - uma linha de dados série (SDA) e outra referente ao relógio série (SCL) [10].

As interfaces de barramento I2C suportam o modo de transferência rápida de 400 kbit/s, com envio entre 7 e 10 *bits*. É possível efetuar a ligação de componentes externos a estas linhas, com interface compatível com barramento I2C [10].

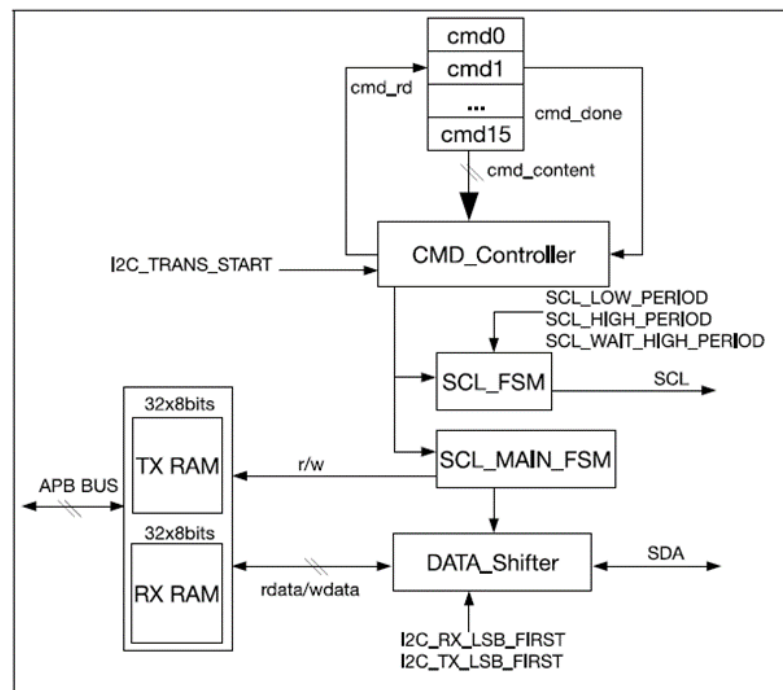


Figura 25 – Arquitetura *master* [10].

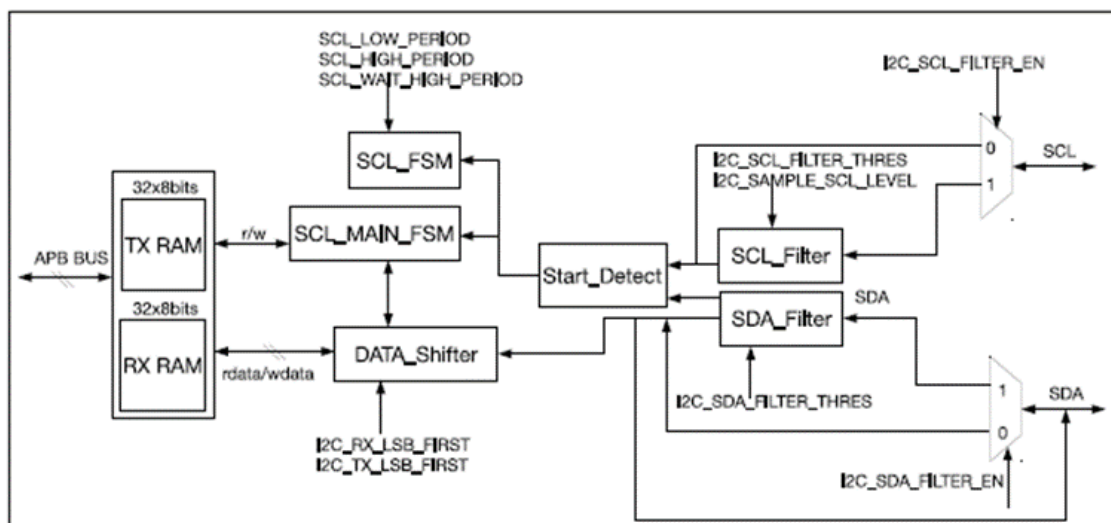


Figura 26 – Arquitetura *slave* [10].

Na Figura 25, pode-se observar a arquitetura de um *master* e na Figura 26 a arquitetura de um *slave*. A interface I2C conta com os seguintes módulos [10]:

- Memória de transmissão e recepção (TX/RX RAM);
- Controlador de comando (CMD_Controller);
- SCL controlador do relógio (SCL_FSM);
- Controlador de dados (SCL_MAIN_FSM);
- Conversor de dados série para paralelo (DATA_Shifter);
- Filtro para o SCL (SCL_Filter) e filtro para o SDA (SDA_Filter).

2.18 Módulo de Comunicação I2S

O microprocessador ESP32-S2 inclui uma interface de barramento *Inter-Integrated Sound* (I2S), em modo *master* ou *slave*, em operação *full* ou *half* duplex. A frequência do relógio pode variar entre os 10 kHz e os 40 MHz. A interface de comunicação I2S no ESP32-S2 é flexível para as aplicações de áudio digital e LCD (modo *master*) e câmara (modo *slave*). Na Figura 27, está representado o diagrama do sistema de interface do I2S, composto por [10]:

- Um módulo de transmissão (TX control);
- Um módulo de recepção (RX control);
- A unidade do *timing* de *input* e *output* (I/O Timing);
- Um divisor de relógio (*Clock Generator*), um TX FIFO e um RX FIFO.

O módulo I2S utiliza o controlador EDMA. Os módulos TX control e RX control têm três linhas de interface [10]:

- BKC (linha do *bit* de *clock*);
- WS (linha selecionada);
- SD (linha de dados série).

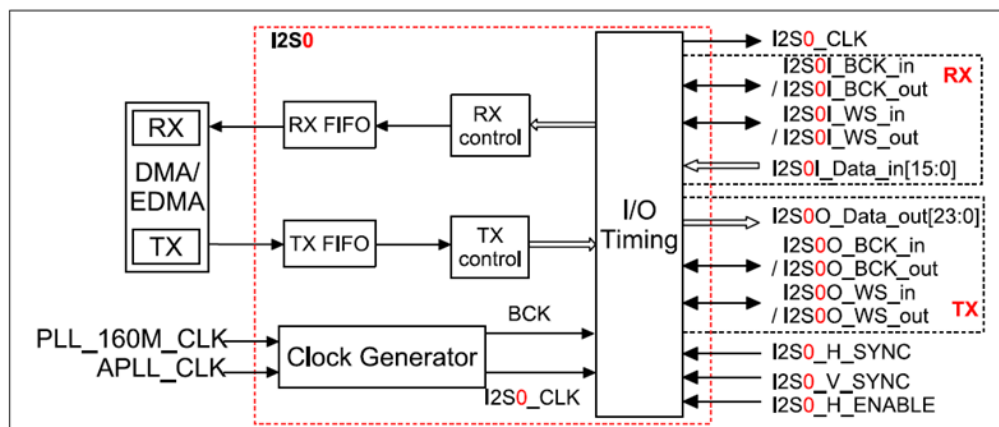


Figura 27 – Diagrama do sistema de interface I2S [10].

2.19 Módulo Remoto por Infravermelho

O ESP32-S2 suporta 4 canais de um controlador remoto por infravermelho programável. As formas de onda de transmissão e recepção podem ser armazenadas numa memória compartilhada de 256x32 *bits*. Na Figura 28, está representada a arquitetura do módulo remoto por infravermelho, sendo que cada canal contém um divisor de relógio, um contador, um transmissor e um recetor. Para o bom funcionamento do transmissor e do recetor, apenas um canal deve estar ativado [10].

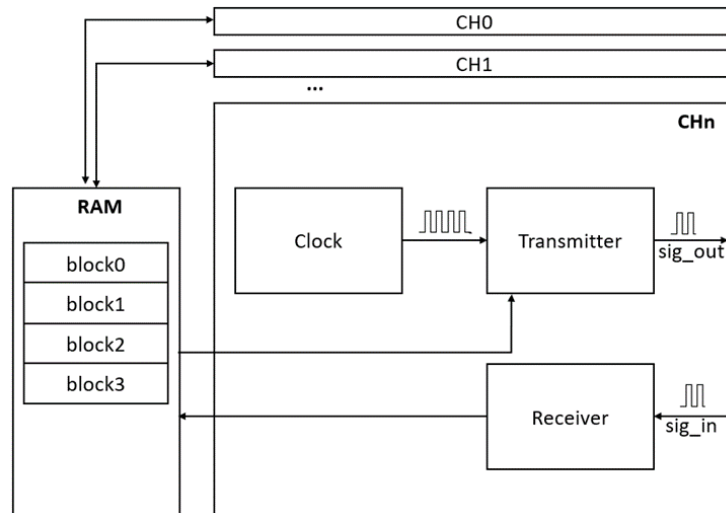


Figura 28 – Arquitetura do módulo remoto por infravermelho [10].

2.20 Módulo de Comunicação SPI

Na Figura 29, pode-se observar as quatro interfaces *Serial Peripheral Interface* (SPI) do ESP32-S2.

O SPI0, que tem duas linhas de seleção do *chip* CS0 (para a flash) e CS1 (para a RAM externa), é utilizado para os seguintes efeitos [10]:

- Pela *cache* ESP32-S2 ou EDMA, para a leitura dos dados de RAM externa;
- Para armazenar os dados da RAM externa;
- Para efetuar a leitura dos dados de uma *flash* externa, que é aplicável apenas para a *cache*.

O SPI1 é utilizado pela CPU para vários acessos à *flash* externa e tem duas linhas CS0 e CS1. O SPI2 é um controlador SPI de uso geral, que contém o seu próprio canal DMA e pode funcionar como *master* ou *slave*. O SPI3 também é um controlador de uso geral, mas que compartilha o canal com os módulos ADC e DAC [10].

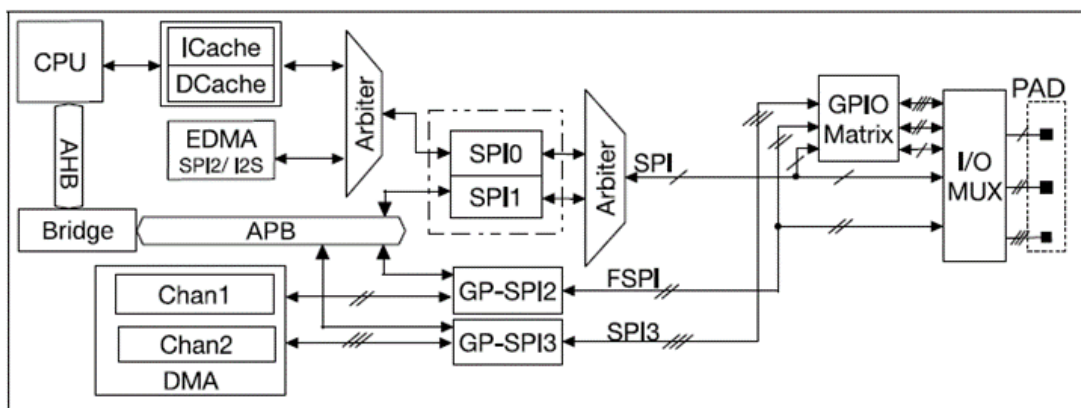


Figura 29 – Diagrama de bloco do controlador SPI [10].

2.21 Módulo do Acelerador *Hardware*

O ESP32-S2 suporta aceleradores de *hardware* (ver Figura 30) para operações de integridade e cifração de dados, nomeadamente [10]:

- Função de integridade (SHA), que suporta a família:
 - SHA-1, SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512/224, SHA-512/256, SHA-512;
- Função de cifração simétrica AES, que suporta a família:
 - AES-128, AES-192 e AES-256;
- Mecanismo de integridade e autenticidade HMAC, que suporta a família:
 - HMAC-SHA-256.
- Chaves pública e privada RSA;
- Mecanismo de números aleatórios RNG;
- Função RSA (pública e privada) digital DS.

Estes aceleradores ajudam a aumentar a velocidade de processamento, reduzindo a complexidade do *software* [11].

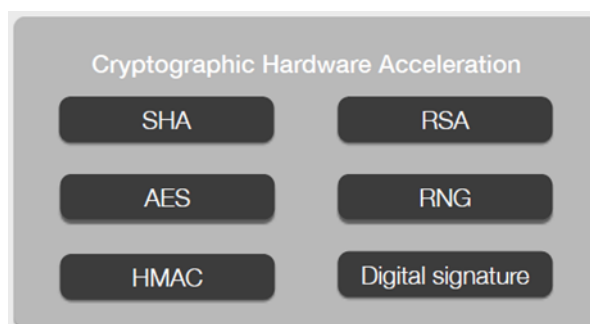


Figura 30 – Módulo do acelerador de *hardware* [12].

3 Módulo de Desenvolvimento *Raspberry Pi* 4

O terceiro capítulo descreve ao módulo de Desenvolvimento *Raspberry Pi* 4. Inicia com uma breve introdução sobre a mesma, explicando a sua origem, evolução, modo de funcionamento, estado atual no mercado e aplicabilidade. De seguida, é apresentada a arquitetura do *Raspberry Pi* 4, com detalhe das especificações técnicas e dos componentes que o constituem, concluindo com uma análise mais aprofundada de alguns componentes relevantes para o seu correto funcionamento.

3.1 Introdução

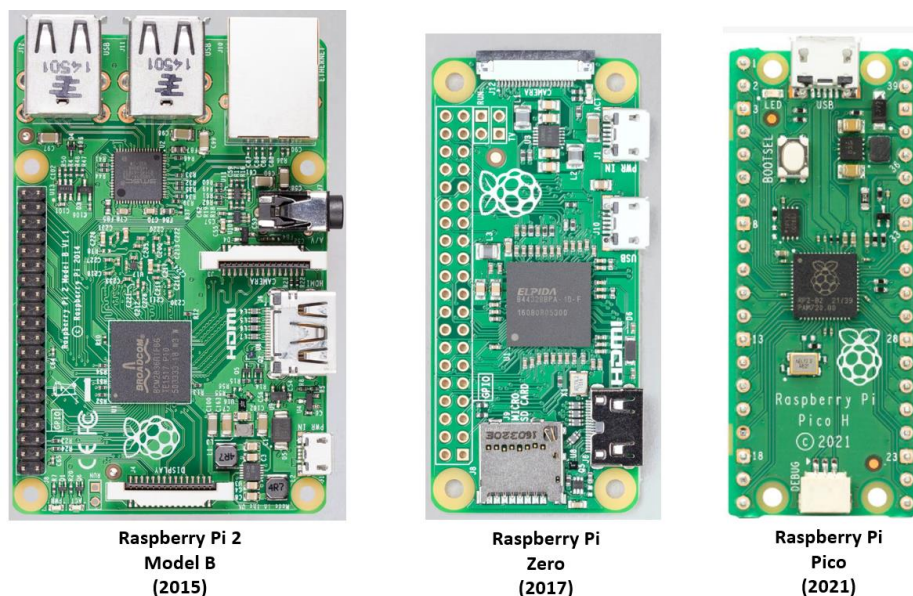


Figura 31 – Alguns modelos do *Raspberry Pi* [17].

O módulo *Raspberry Pi* funciona como um minicomputador, de baixo custo, capaz de desempenhar as tarefas de um computador comum, como por exemplo: navegar na *Internet*, ouvir música, ver um filme ou jogar. Atendendo a que o módulo possui um barramento de expansão, é possível adicionar facilmente *hardware* externo e criar programação para a implementação de inúmeros projetos nas áreas de controlo, automação, inteligência artificial, entre outras. [16].

Os módulos *Raspberry Pi*, criadas pela *Raspberry Pi Foundation* [17] (uma fundação sem fins lucrativos), foram desenvolvidas com o objetivo de promover o conhecimento informático, tornando-o mais prático e menos teórico. Não se esperava que este dispositivo se tornasse tão popular. Inicialmente, em 2012, foram produzidos apenas poucos milhares para a testagem de águas, os quais esgotaram rapidamente. Assim, a produção aumentou e, desde então, venderam-se milhões de módulos para todo o mundo, que são usadas nas salas de aula, para

efeitos educativos, mas também em residências, escritórios, fábricas, centros de armazenamento de dados e até em balões espaciais, onde têm grande aplicação prática [16].

Até hoje, já foram lançados vários modelos do *Raspberry Pi* (ver Figura 31), cada um apresentando desenvolvimentos e novas especificações face ao anterior.

Todavia, todos os modelos *Raspberry Pi* são compatíveis, pelo que o *software* escrito num determinado modelo poderá ser executado em qualquer outro modelo. A Figura 32 mostra os principais componentes de um *Raspberry Pi 4 Modelo B* [16].

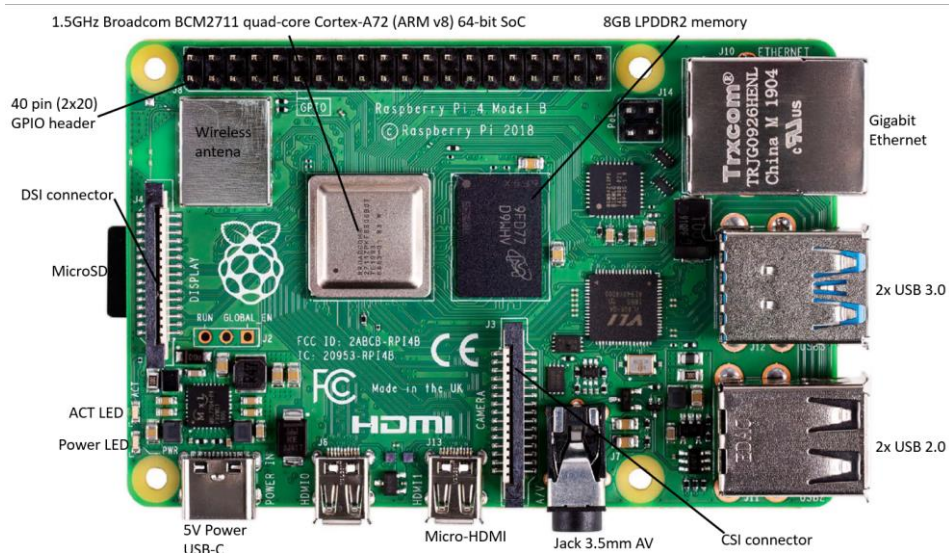


Figura 32 – Módulo do *Raspberry Pi 4 Modelo B* [16].

3.2 Arquitetura do *Raspberry Pi 4*

O diagrama de blocos do *Raspberry Pi 4*, que pode ser observado na Figura 33, é constituído pelos seguintes blocos [18]:

- Processador, que utiliza o *System-on-Chip* (SoC) BCM2711:
 - CPU: *quad-core Cortex A-72A* (ARM V8) 64-bit SOC @1.5 GHz;
 - *Graphics Processing Unit* (GPU): *VideoCore VI @500 MHz, OpenGL ES, 3.0 graphics*;
- Memória *Low-Power Double Data Rate* (LPDDR4), que é partilhada pela CPU e GPU:
 - Capacidade da memória *Random Access Memory* (RAM), que pode ser de 1, 2, 4 ou 8 GB dependendo do modelo do *Raspberry*.
- Multimédia (formatos de codificação de vídeo):
 - H.264 (1080p60 *decode*, 1080p30 *encode*);
 - H.265 ou *High Efficiency Video Coding* (HEVC) (4Kp60 *decode*).
- Vídeo e áudio:
 - *Câmara Serial Interface* (CSI), que possibilita a ligação do módulo de

- câmara;
- *Display Serial Interface* (DSI), que permite a ligação do *touch display*;
 - 2 *Micro-High-Definition Multimédia Interface* (HDMI) 2.0, que permitem a transferência do sinal de áudio e vídeo;
 - Jack 3.5mm AV, que é utilizado para ligar auscultadores ou colunas externas. Também contém um sinal de vídeo, que pode ser ligado a televisões, projetores ou outros monitores.
- *Interfaces de comunicação*:
 - *Bluetooth* 5.0;
 - *Wireless Computer Network* (WLAN) 2.4 GHz e 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac;
 - Controlador USB 3.0 e 2.0 (VL805), com taxa de transferência entre 5 Gbps a 1.5 Mbps;
 - *Gigabit Ethernet* (controlador BCM54213PE), que permite uma taxa máxima de transferência de 1 Gbps.
 - Existem 40 pinos, mas só 26 podem ser utilizados como GPIO:
 - 6 UART;
 - 6 I2C;
 - 5 SPI;
 - 3 *General Purpose Clock* (GPCLK);
 - 2 Canais PWM;
 - *Display Parallel Interface* (DPI);
 - *Pulse-Code Modulation* (PCM).

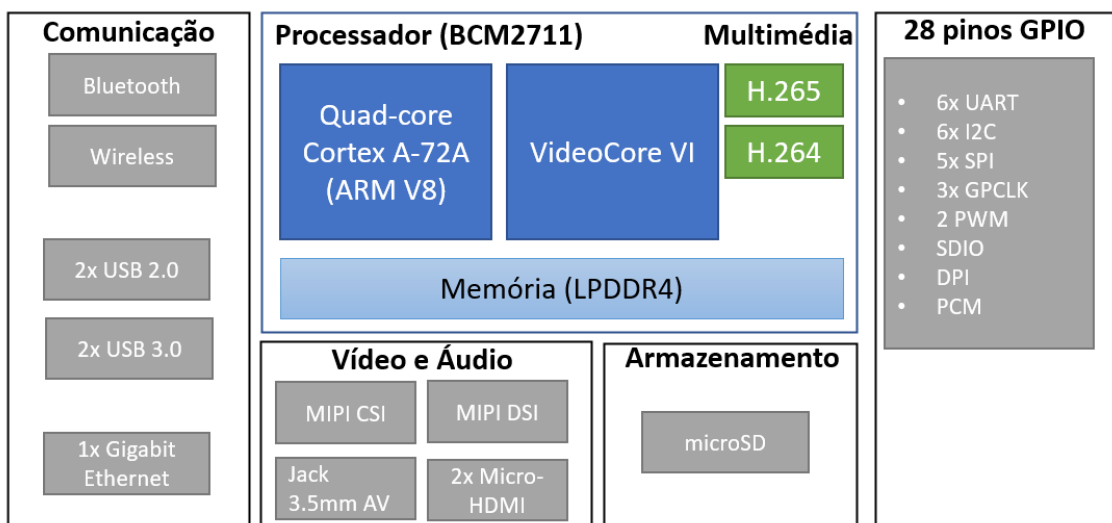


Figura 33 – Diagrama de blocos do *Raspberry Pi* 4.

3.3 Módulo *General Purpose Input Output* (GPIO)

O *Raspberry Pi 4* tem 40 pinos, que podem ser facilmente configurados para integrar com *hardware* adicional, nomeadamente: *LEDs*, botões, sensores de temperatura, *joysticks* e monitorização da pulsação. Dos 40 pinos existentes, apenas 26 pinos podem ser configurados como pinos de *General Purpose Input Output* (GPIO) (ver os pinos representados com a cor azul, na Figura 34), e estão disponíveis para serem multiplexados para várias funções diferentes [18] [19].

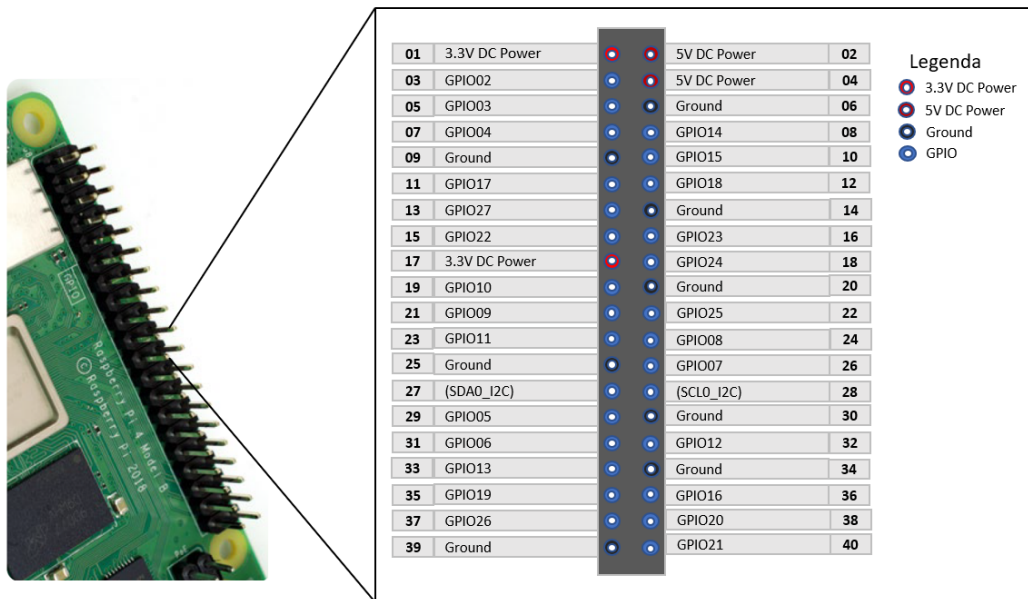


Figura 34 – Representação dos pinos GPIOs [18].

Na Tabela 1 – Pinos de tensão 5 V, 3 V, *Ground* e reserva, estão representados os números de alguns pinos que têm tensão à saída de 5 V e 3.3 V, bem como os pinos ligados ao *Ground* e os pinos de reserva.

Tabela 1 – Pinos de tensão 5 V, 3 V, *Ground* e reserva [18].

Nº pinos	Descrição
1 e 17	Pinos com tensão 3.3 V.
2 e 4	Pinos com tensão 5 V.
6, 9, 14, 20, 25, 30, 34, 39	Pinos ligados à massa (<i>Ground</i>).
27 e 28	Pinos de reserva para a comunicação I2C e <i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (EEPROM).

3.4 Módulo de Relógio (GPCLK)

Na Figura 35, estão representados, com a cor roxa e um retângulo vermelho, os três *General Purpose Clock* (GPCLK0, GPCLK1 e GPCLK2), que possibilitam o envio do sinal de relógio nos pinos através das fontes de relógio dos periféricos [18] [20]. Pode-se obter várias frequências através da equação do divisor de relógio:

$$\frac{source_frequency}{DIVI + n} \quad (1)$$

A frequência do relógio não pode ser superior a 25 MHz, devido ao filtro de MASH (1), o n varia entre 0 e 3 [20].

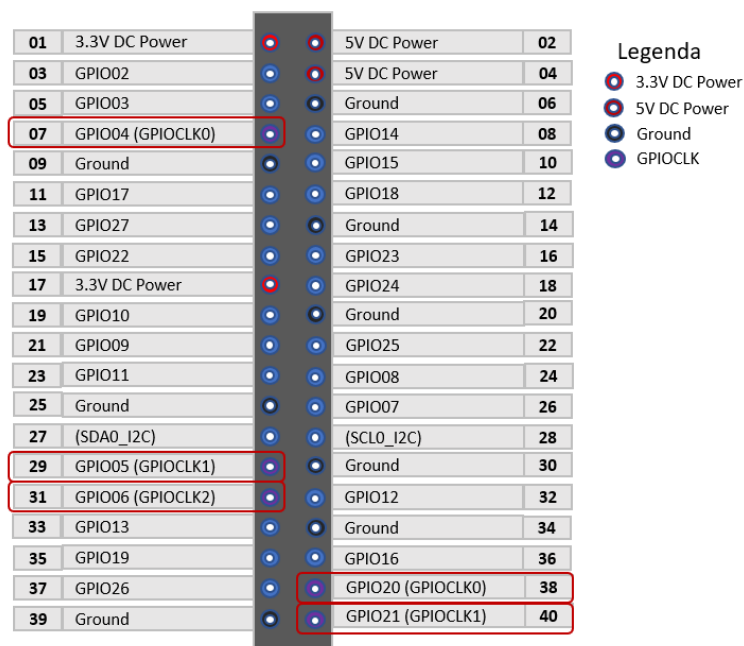


Figura 35 – Representação dos pinos de relógio GPCLK [18].

3.5 Módulo *Pulse Width Modulation* (PWM)

O *Raspberry Pi* contém o módulo *Pulse Width Modulation* (PWM), que permite efetuar a conversão (DAC) ou gerar sinais para o controle do motor.

Na Figura 36, está representado o diagrama de blocos do módulo PWM do *Raspberry Pi*, que possibilita a conversão DAC ou o controle de equipamentos com motores, luzes inteligentes e simuladores. Este controlador tem dois canais e cada canal conta com duas saídas PWM [18] [20].

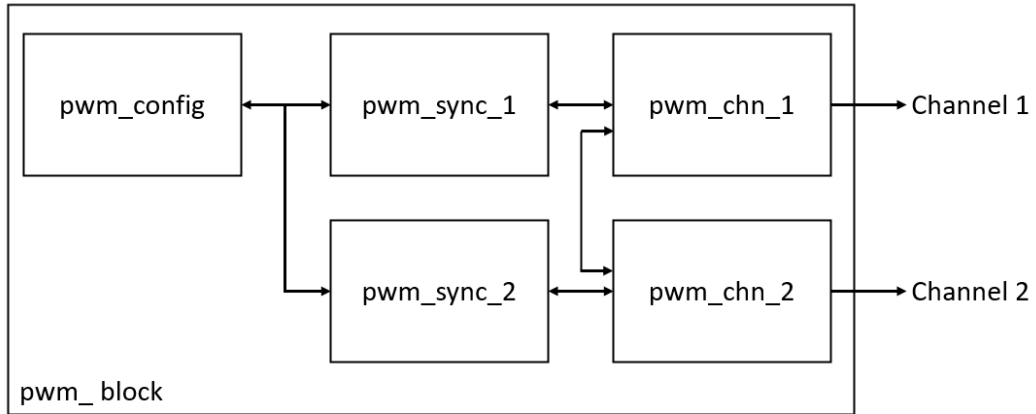


Figura 36 – Diagrama de bloco do módulo PWM [20].

Na Figura 37, pode-se observar, com a cor verde e um retângulo vermelho, os 4 sinais GPIO com saída PWM no módulo *Raspberry Pi*.

01	3.3V DC Power	02	5V DC Power
03	GPIO02	04	5V DC Power
05	GPIO03	06	Ground
07	GPIO04	08	GPIO14
09	Ground	10	GPIO15
11	GPIO17	12	GPIO18 (PWM_0)
13	GPIO27	14	Ground
15	GPIO22	16	GPIO23
17	3.3V DC Power	18	GPIO24
19	GPIO10	20	Ground
21	GPIO09	22	GPIO25
23	GPIO11	24	GPIO08
25	Ground	26	GPIO07
27	(SDA0_I2C)	28	(SCL0_I2C)
29	GPIO05	30	Ground
31	GPIO06	32	GPIO12 (PWM_0)
33	GPIO13 (PWM_1)	34	Ground
35	GPIO19 (PWM_1)	36	GPIO16
37	GPIO26	38	GPIO20
39	Ground	40	GPIO21

Legenda

- 3.3V DC Power
- 5V DC Power
- Ground
- GPIOPWM

Figura 37 – Representação dos pinos GPIO PWM [18].

3.6 Módulo *Display Parallel Interface (DPI)*

O módulo *Display Parallel Interface (DPI)* é uma interface paralela de 24 *bits*, com sinais de relógio e sincronização. Esta interface possibilita que um segundo monitor RGB seja adicionado aos pinos GPIO *Raspberry Pi*, nos modos RGB24 (8 *bits* para vermelho, verde e azul) ou RGB666 (6 *bits* por cor) ou RGB565 (6 *bits* para verde e 5 *bits* para vermelho e azul). O DPI está disponível na função na alternativa 2 (ALT2). Na Figura 38, estão representados os 28 pinos, com a cor amarela e um retângulo vermelho, com a ligação do modo RGB24 [20].

01	3.3V DC Power	02	5V DC Power
03	GPIO02 (V-SYNC)	04	5V DC Power
05	GPIO03 (H-SYNC)	06	Ground
07	GPIO04 (Blue 0)	08	GPIO14 (Green 2)
09	Ground	10	GPIO15 (Green 3)
11	GPIO17 (Green 5)	12	GPIO18 (Green 6)
13	GPIO27 (Red 7)	14	Ground
15	GPIO22 (Red 2)	16	GPIO23 (Red 3)
17	3.3V DC Power	18	GPIO24 (Red 4)
19	GPIO10 (Blue 6)	20	Ground
21	GPIO09 (Blue 5)	22	GPIO25 (Red 5)
23	GPIO11 (Blue 7)	24	GPIO08 (Blue 4)
25	Ground	26	GPIO07 (Blue 3)
27	(SDA_I2C)	28	(SCL0_I2C)
29	GPIO05 (Blue 1)	30	Ground
31	GPIO06 (Blue 2)	32	GPIO12 (Green 0)
33	GPIO13 (Green 1)	34	Ground
35	GPIO19 (Green 7)	36	GPIO16 (Green 4)
37	GPIO26 (Red 6)	38	GPIO20 (Red 0)
39	Ground	40	GPIO21 (Red 1)

Legenda

- 3.3V DC Power
- 5V DC Power
- Ground
- DPI

Figura 38 – Representação dos pinos de interface DPI [18].

3.7 Módulo *Pulse Code Modulation* (PCM)

O *Pulse Code Modulation* (PCM) é um método utilizado para representar o sinal analógico da amostragem em modo digital. No *Raspberry Pi*, esta é uma forma de saída de áudio digital, que pode ser utilizada por um DAC para produzir som de alta qualidade.

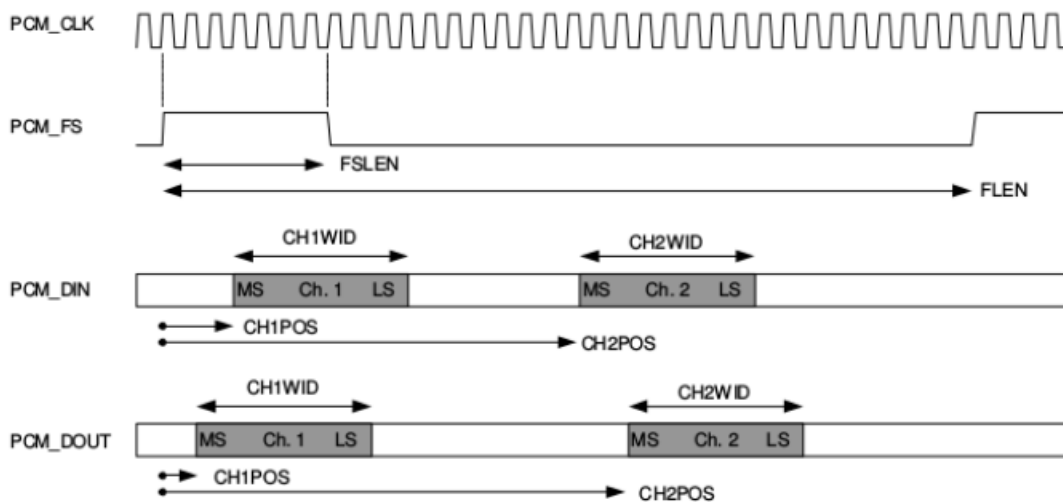


Figura 39 – Representação do *timing* típico de uma interface áudio PCM [20].

Na Figura 39, está representado o *timing* típico de uma interface áudio PCM. A interface de áudio PCM contém 4 sinais:

- PCM_CLK, que representa o bit do relógio;
- PCM_FS, que representa a *frame* do sinal síncrono;

- PCM_DIN, que representa a entrada dos dados série;
- PCM_DOUT, que representa a saída dos dados série.

O sinal de sincronização da *frame* (PCM_FS) é usado para definir os dados série em *frame* individual. O comprimento, tamanho e polaridade da *frame* são programáveis. As *frames* podem ter 1 ou 2 canais de áudio/dados em cada direção, sendo que cada canal pode ter entre 8 a 32 *bits* de largura e pode ser posicionado em qualquer área dentro da *frame* [20].

Na Figura 40, pode-se observar a ligação PCM no módulo *Raspberry Pi*, representada com a cor laranja e um retângulo vermelho.

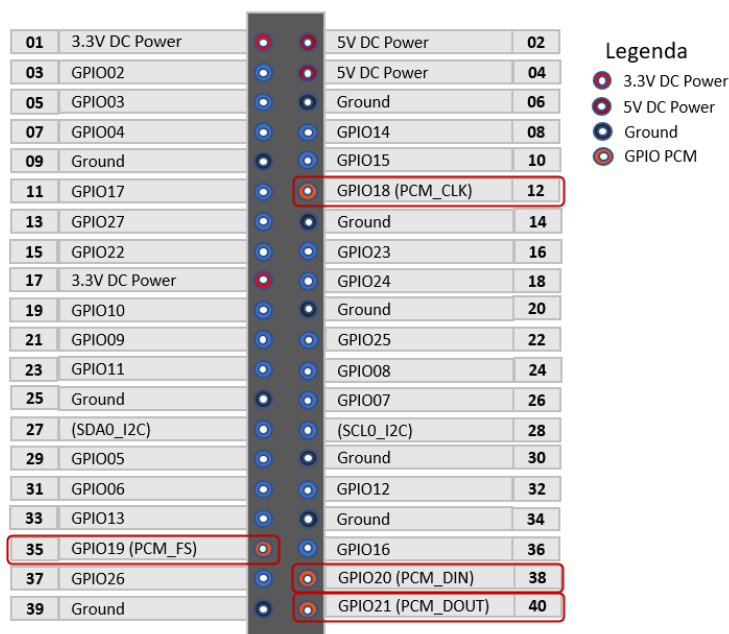


Figura 40 – Representação dos pinos de interface PCM [18].

3.8 Módulo de Comunicação UART

A *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART) é um protocolo de comunicação série assíncrono (RS232, RS485 ou RS422), que permite a transferência de um byte de informação de cada vez. A informação enviada é constituída por um *start bit*, por *bits* de dados (entre 5 a 9 *bits*) e por um *stop bit* [21]. A ligação série fornecida é *full duplex*, ou seja, possibilita a transmissão e receção de dados em simultâneo.

O *Raspberry Pi* é constituído por seis UARTs:

- 1 Mini UART (UART1);
- 5 PL011 UARTs (UART0, UART2, UART3, UART4 e UART5).

A PL011 UART é implementada através da ARM. Esta UART tem um melhor desempenho que a mini UART, sendo que a mini UART tem um desempenho baixo e é utilizada na consola

do Linux. Existem algumas funcionalidades que a UART do *Raspberry Pi* não suporta, nomeadamente a IrDA e *Serial InfraRed* (SIR) e o protocolo *Encoder/Decoder* (ENDEC) [20].

Na Figura 41, estão representados os pinos e os GPIOs que permitem efetuar a comunicação UART (x representa o número da UART):

- TXDx, que permite enviar os dados para outro equipamento;
- RXDx, que permite receber os dados de outro equipamento.

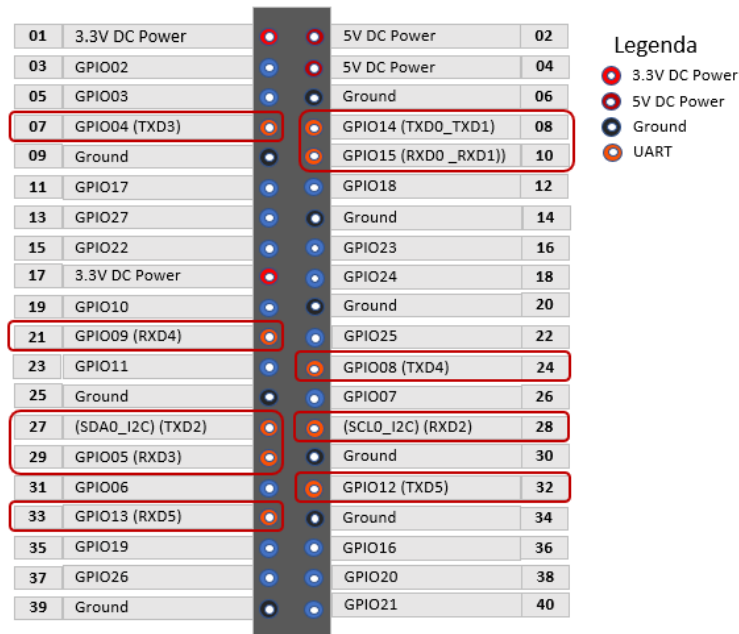


Figura 41 – Representação dos pinos de interface UART [18].

3.9 Módulo de Comunicação I2C

O *Inter Integrated Circuit* (I2C) é uma interface de comunicação síncrona, em que a ligação série fornecida é geralmente *full duplex* entre *master* e *slave*, embora possa ter um ou mais *masters* e ser utilizada para comunicação de curta distância. A principal diferença entre o SPI e o I2C, é que o SPI permite apenas um *master* e o I2C pode ter vários *masters*. O protocolo de comunicação chama-se *Two Wire Interface* (TWI) [21].

A interface de barramento I2C é utilizada em muitas aplicações, tais como: leitura de RTC, acesso a memória EEPROM externa, sensores giroscópio, magnetómetro, etc. [21].

O *Raspberry Pi* contém um processador *Broadcom*, o *Broadcom Serial Controller* (BSC), que é um controlador *master* de modo rápido (400 kB/s). O barramento BSC é compatível com o barramento da Philips I2C e suporta endereçamento de 7 e 10 *bits*. Os *masters* BSC2 e o BSC7 são exclusivos para o uso das interfaces HDMI e não são acessíveis para os programas do utilizador [20].

O *Raspberry Pi* tem duas interfaces de barramento I2C, que podem ser configuradas nos modos *master* ou *slave*. Cada interface do barramento I2C possui duas linhas: uma linha de dados série (SDA) e outra referente ao relógio série (SCL).

O *Raspberry Pi* contém 6 blocos de comunicação - I2C (BSC0, BSC1, BSC3, BSC4, BSC5 e BSC6). Na Figura 42, pode-se observar as seis ligações I2C no módulo *Raspberry Pi*, representadas com a cor verde e um retângulo vermelho.

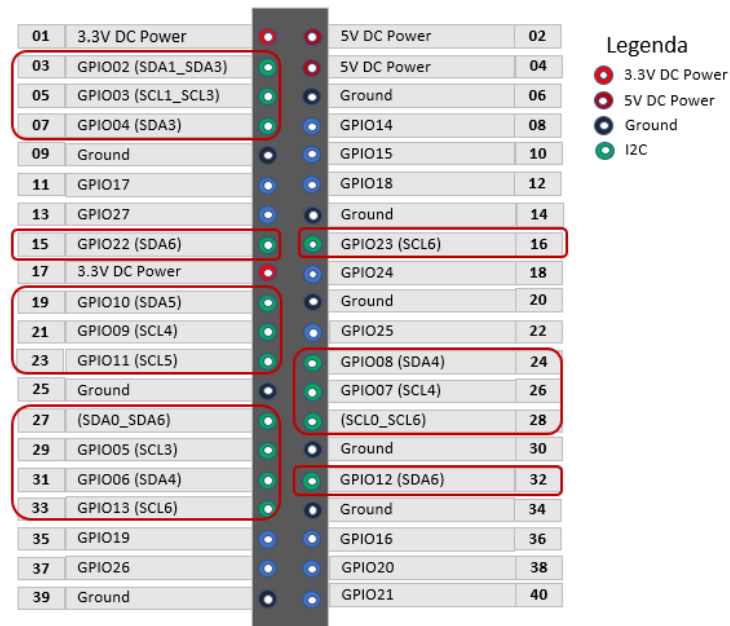


Figura 42 – Representação dos pinos de interface I2C [18].

3.10 Módulo de Comunicação SPI

O *Serial Peripheral Interface* (SPI) é uma interface de comunicação síncrona e a ligação série fornecida entre *master* e *slave* é *full duplex*, sendo utilizada para comunicação de curta distância [20].

O módulo do SPI no *Raspberry Pi* é constituído por 4 pinos [18]:

- MOSI: O *Raspberry Pi*, que envia dados para um equipamento através do pino *master out slave in*;
- MISO: O *Raspberry Pi*, que recebe dados de outro equipamento através do pino *master in slave out*;
- CE: Utilizado para ativar ou desativar a integração de circuitos (*Chip Enable*);
- SCLK: Relógio de comunicação.

O barramento de comunicação SPI no *Raspberry Pi* pode ser implementado através de três modos [20]:

- Master SPI ou *Synchronous Serial Protocol* (SSP);

- Bidirecional;
- *Low Speed Serial Interface (LoSSI)*.

No modo Master SPI, o barramento de comunicação é implementado através de 3 fios. Na Figura 43, pode-se observar o exemplo da implementação padrão do SPI, no barramento na comunicação entre o *master* e os *slaves* 1 e 2. O primeiro fio é utilizado para enviar os dados (MOSI), já o segundo fio destina-se receber os dados e o terceiro fio é o sinal do relógio (SCLK) [20].

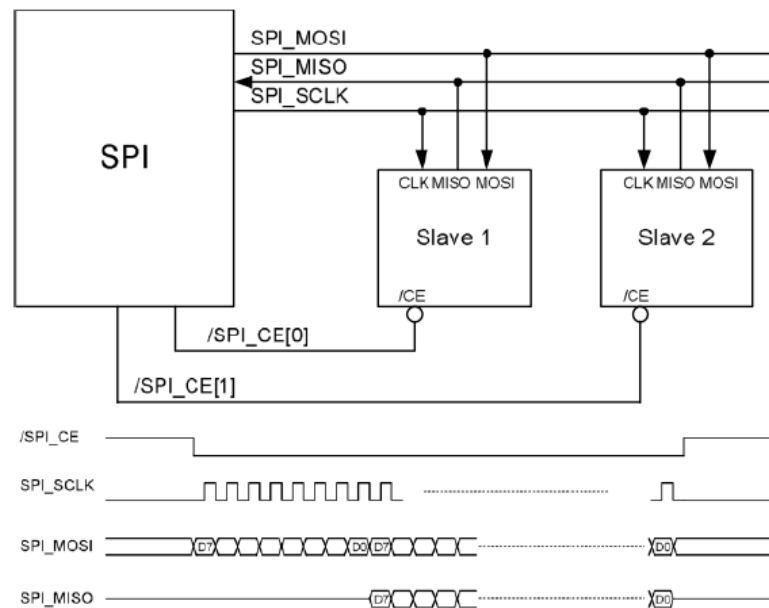


Figura 43 – Modo SPI [20].

No modo bidirecional, o barramento de comunicação é implementado através de 2 fios, como se pode observar na Figura 44. No barramento da comunicação entre o *master* e o *slave* 1 e 2, o primeiro fio é utilizado para enviar e receber os dados (MISO) e o segundo fio é o sinal do relógio (SCLK) [20].

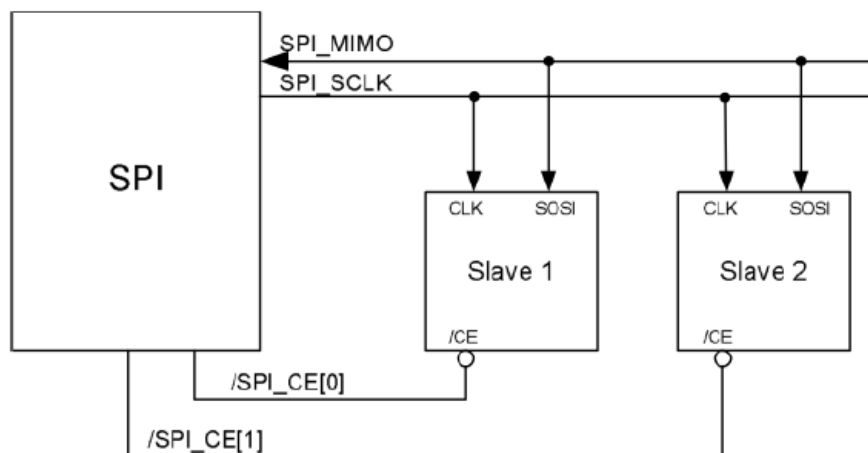


Figura 44 – Modo bidirecional [20].

No modo LoSSI, o barramento de comunicação é implementado através de 2 fios, como no modo bidirecional. Como se pode observar na Figura 45, as diferenças são que o primeiro fio é utilizado para enviar e receber os dados (SDA) e o segundo fio recebe o sinal do relógio (SCL) [20].

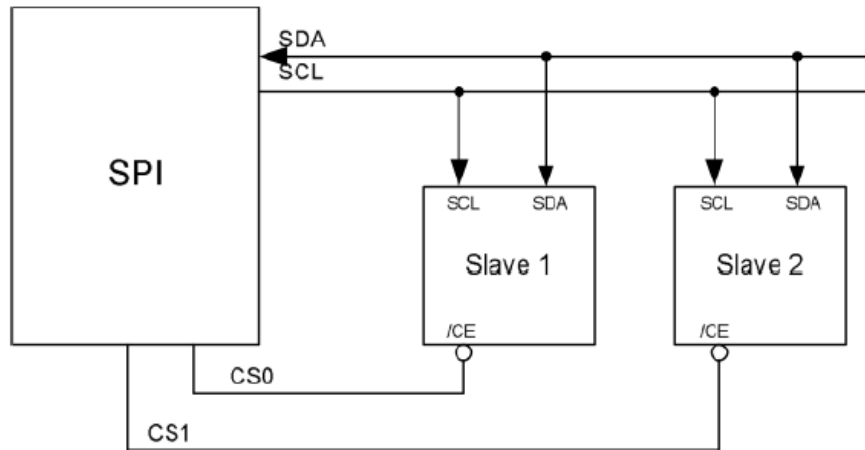


Figura 45 – Modo LoSSI [20].

O *Raspberry Pi* contém 5 blocos de comunicação SPI (SPI0, SPI3, SPI4, SPI5 e SPI6). Na Figura 46, pode-se observar as cinco ligações SPI no módulo *Raspberry Pi*, representadas com a cor castanha e um retângulo vermelho.

01	3.3V DC Power	02	5V DC Power
03	GPIO02 (SPI3_MOSI)	04	5V DC Power
05	GPIO03 (SPI3_SCLK)	06	Ground
07	GPIO04 (SPI4_CEO_N)	08	GPIO14 (SPI5_MOSI)
09	Ground	10	GPIO15 (SPI5_SCLK)
11	GPIO17	12	GPIO18 (SPI6_CEO_N)
13	GPIO27	14	Ground
15	GPIO22	16	GPIO23
17	3.3V DC Power	18	GPIO24
19	GPIO10 (SPI0_MOSI)	20	Ground
21	GPIO09 (SPI0_MISO)	22	GPIO25
23	GPIO11 (SPI0_SCLK)	24	GPIO08 (SPI0_CEO_N)
25	Ground	26	GPIO07 (SPI4_SCLK)
27	(SPI3_CEO_N)	28	(SPI3_MISO)
29	GPIO05 (SPI4_MISO)	30	Ground
31	GPIO06 (SPI4_MOSI)	32	GPIO12 (SPI5_CEO_N)
33	GPIO13 (SPI5_MISO)	34	Ground
35	GPIO19 (SPI6_MISO)	36	GPIO16
37	GPIO26	38	GPIO20 (SPI6_MOSI)
39	Ground	40	GPIO21 (SPI6_SCLK)

- Legenda
- 3.3V DC Power
 - 5V DC Power
 - Ground
 - SPI

Figura 46 – Representação dos pinos de interface SPI [18].

4 Descrição do *Hardware* do Protótipo

No quarto capítulo, apresenta-se o *hardware* do protótipo desenvolvido para a realização deste projeto, na sequência da solução proposta no capítulo 1. Será, também, apresentado um resumo do diagrama de blocos, que contém toda a informação técnica referente ao projeto, aprofundando, de seguida, cada um dos componentes que constituem o *hardware* do protótipo.

4.1 Introdução

Na Figura 47, pode-se observar a arquitetura do protótipo. Este sistema é constituído por uma Unidade Central, pelo Módulo Remoto e pelos blocos de comando e de potência. A Unidade Central recebe e envia informações para o Módulo Remoto, via *WiFi*, e recebe dados do contador de energia através da comunicação RS485. O Módulo Remoto recebe sinais e efetua o controlo dos equipamentos do comando. O bloco de comando contém todos os componentes de controláveis, tais como: bobines dos contactores, relés, etc. O bloco de potência é constituído pelos principais equipamentos que permitem a alimentação das cargas.

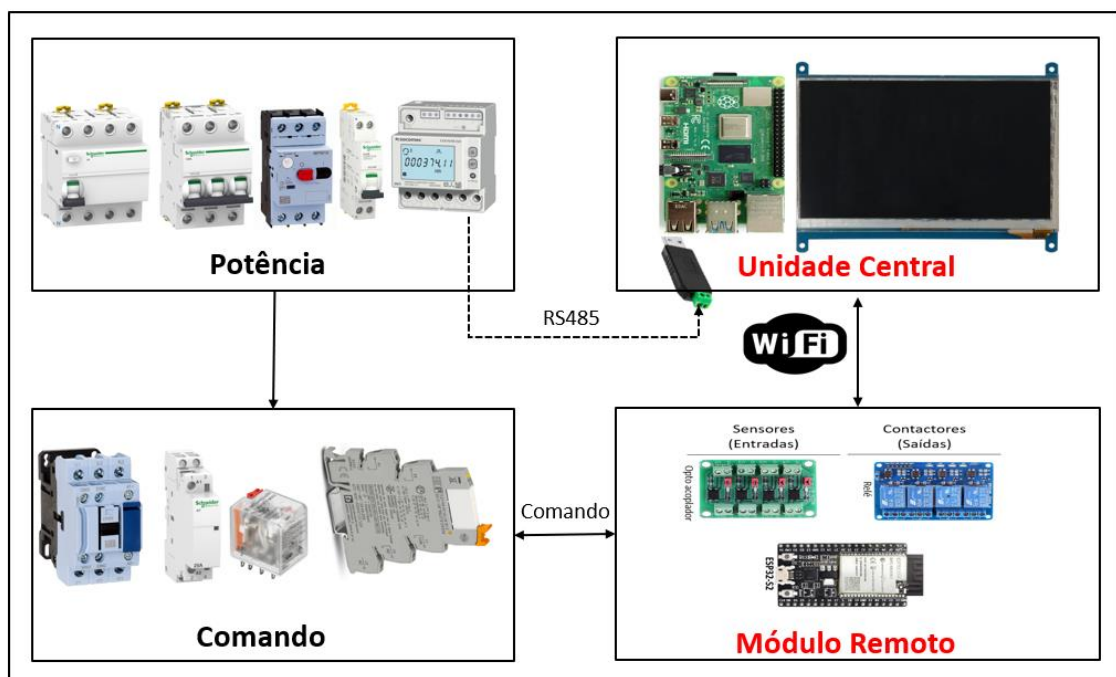


Figura 47 – Arquitetura do Protótipo.

4.2 Desenvolvimento do Quadro Elétrico

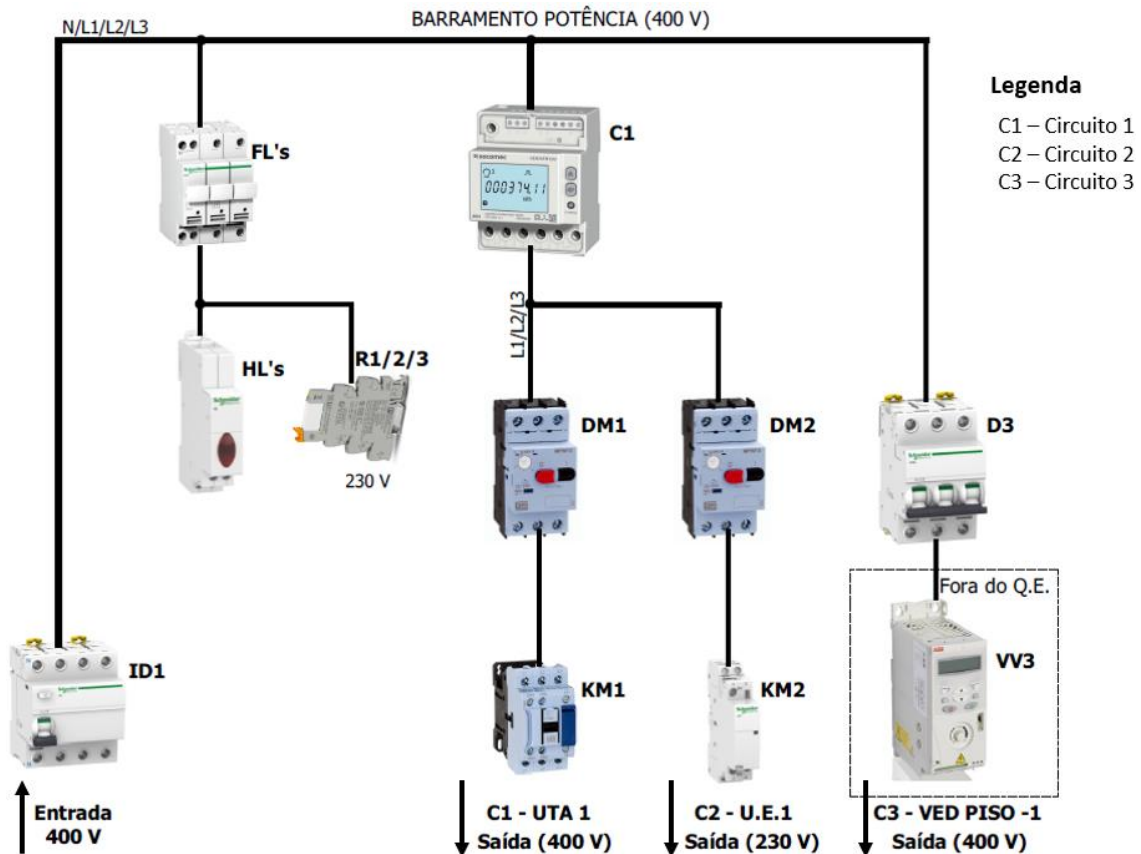


Figura 48 – Sistema de Potência do quadro elétrico.

Na Figura 48, estão representados os componentes de potência do quadro elétrico. Este sistema é constituído por:

- Interruptor diferencial trifásico “ID1”, que permite a entrada da alimentação do quadro elétrico;
- Bornes de fusíveis “FL’s”, que possibilitam a proteção da sinalização de fases “HL’s” e dos relés de 230 V “R1/2/3”;
- Relés de 230 V “R1/2/3”, que permitem o envio da informação das fases no Módulo Remoto, acionando as bobinas na presença de tensão em cada fase;
- Contador de energia “C1” trifásico, que permite a medir o consumo dos circuitos 1 Unidade de Tratamento de Ar 1 (UTA 1) e 2 Unidade Exterior 1(UE1);
- Os circuitos 1 e 2, que são duas saídas de potência que contêm:
 - Disjuntor térmico e contactor (possibilita o controlo da carga) trifásicos;
 - Disjuntor térmico e contactor monofásicos;
- O circuito 3, que é uma saída de potência que permite a alimentação de um variador de velocidade que, por sua vez, alimenta um motor elétrico. Estes últimos dois equipamentos encontram-se fora do quadro elétrico.

Na construção do quadro elétrico, os cabos de potência têm as seguintes cores:

- Azul representa o neutro;
- Castanho representa a fase L1;
- Preto representa a fase L2;
- Cinzento representa a fase L3.

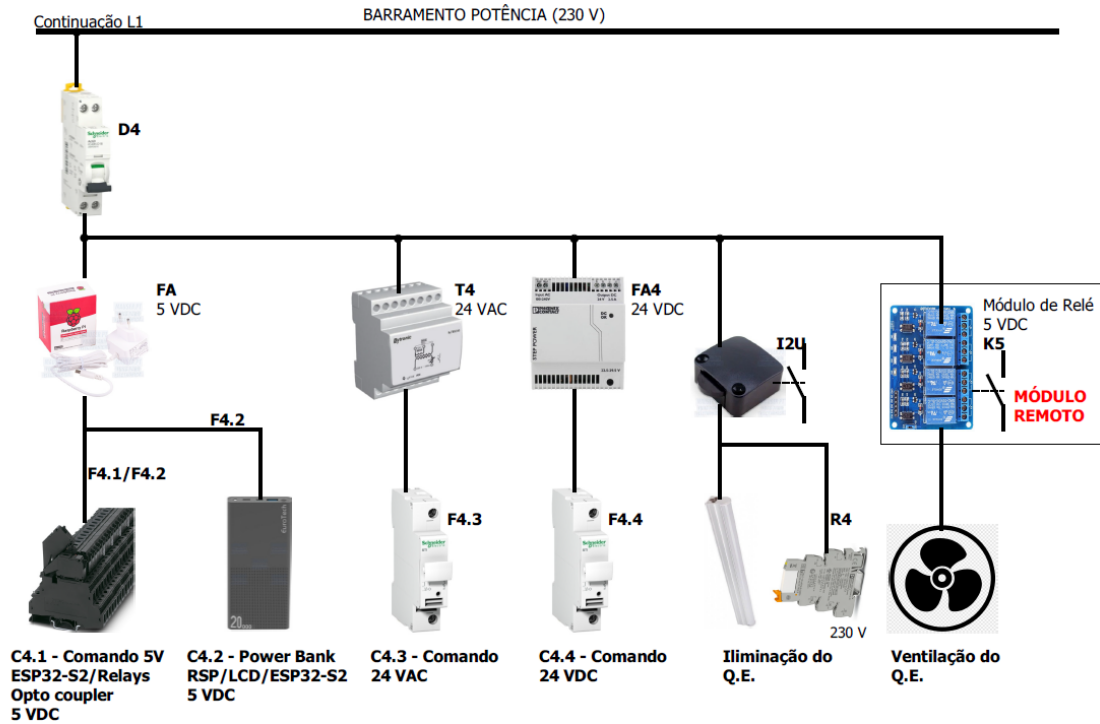


Figura 49 – Fontes de tensões de comando 230 V, 24 VAC, 24 VDC e 5 VDC.

Na Figura 49, pode-se observar os circuitos de tensões de comando 230 V, 24 VAC, 24 VDC e 5 VDC. As tensões de comando:

- 230 V (tensão fornecida pelo “D4”):
 - Possibilita a iluminação do quadro elétrico através do sensor “I2U” e aciona a bobine do relé “R4”;
 - Relé de 230 V “R4”, que permite enviar a informação do estado da porta do quadro elétrico para o Módulo Remoto;
 - Permite ligar a ventilação através da saída “K5” do módulo de relé.
- 24 VAC (tensão fornecida pelo circuito 4.3, através do transformador de 24 VAC);
- 24 VDC (tensão fornecida pelo circuito 4.4, através da fonte de alimentação 24 VDC);
- 5 VDC (tensão fornecida pelos circuitos 4.1 e 4.2, através da fonte de alimentação 5 VDC).

Na construção do quadro elétrico, os cabos de comando têm as seguintes cores:

- Tensão de comando 230 V (0 V cor azul e 230 V cor castanho);
- Tensão de comando 24 VAC (0 VAC cor branco e 24 VAC cor vermelho);
- Tensões de comando 24 VDC e 5 VDC (0 VDC cor amarelo e 24 e 5 VDC cor verde).

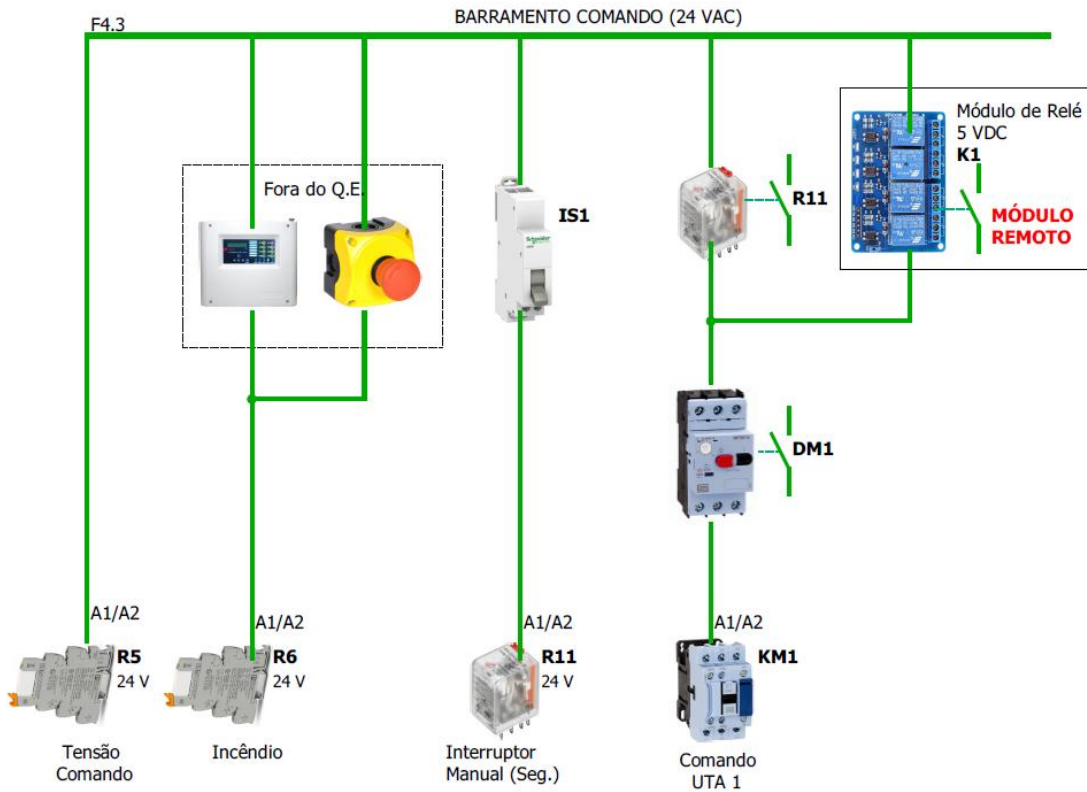


Figura 50 – Com. 24 VAC, tensão de com., CDI, interruptor manual e UTA 1.

Na Figura 50, encontra-se representado o princípio de funcionamento do relé de tensão, Central de Detecção de Incêndio (CDI), interruptor manual e da UTA 1 (circuito 1), descrito abaixo:

- Relé de tensão comando “R5”, que aciona a bobine através da linha de comando 24 VAC “F4.3” e envia a informação para o Módulo Remoto;
- Relé incêndio “R6”, que aciona a bobine através de sinais vindos do exterior, tais como botoneira de emergência e CDI, enviando a informação para o Módulo Remoto.
- Relé de tensão comando “R11”, que aciona a bobine através do interruptor manual e envia a informação para o Módulo Remoto;
- Contactor “KM1” (circuito 1), que aciona a bobine se o contacto do disjuntor térmico “DM1” estiver fechado e a saída “K1” do módulo de relé estiver ligada ou através do interruptor manual.

Na Figura 51, encontra-se representado o princípio de funcionamento da UE1 (circuito 2) e do Ventilador de Extração de Desenfumagem Piso -1 (VED P.-1) 1ª velocidade (circuito 3), descrito abaixo:

- Contactor “KM2” (circuito 2), que aciona a bobine se o contacto do disjuntor térmico “DM2” estiver fechado e a saída “K2” do módulo de relé estiver ligada ou através do interruptor manual;
- Relé início “R7”, que aciona a bobine se o contacto do disjuntor “D3” estiver fechado, sendo que só existe ordem para arrancar o ventilador VED P.-1 quando o disjuntor estiver ligado;
- Relé 1ª Velocidade “R8”, que aciona a bobine se o contacto do relé início “R7” estiver fechado e a saída “K3” do módulo de relé estiver ligada ou através do interruptor manual.

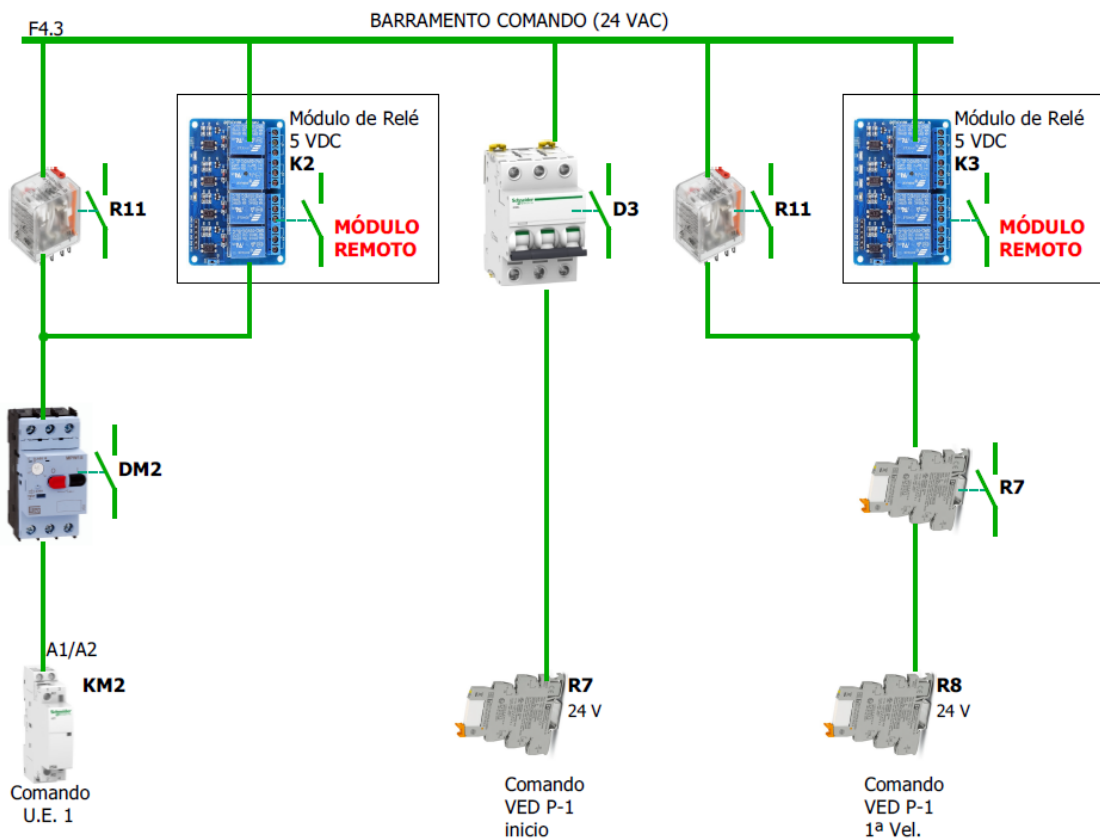


Figura 51 – Comando 24 VAC, UE1 VED P.-1 1ª velocidade.

Na Figura 52, está representado o princípio de funcionamento do VED P.-1 2ª velocidade (circuito 3) e dos sinais de *input* e *output* do variador de velocidade, tal como descrito abaixo:

- Relé 2ª Velocidade “R9”, que aciona a bobine se o contacto do relé início “R7” estiver fechado e a saída “K4” do módulo de relé estiver ligada ou o relé incêndio “R6”;

- Relé avaria VV “R10”, que aciona a bobine através de um sinal enviado pelo variador de velocidade;
- O contacto do relé 1ª velocidade “R8”, que permite acionar a 1ª velocidade no variador de velocidade;
- O contacto do relé 2ª velocidade “R9”, que permite acionar a 2ª velocidade no variador de velocidade. Para entrar a segunda velocidade, tem de acionar primeiro a 1ª velocidade e a seguir a 2ª velocidade.

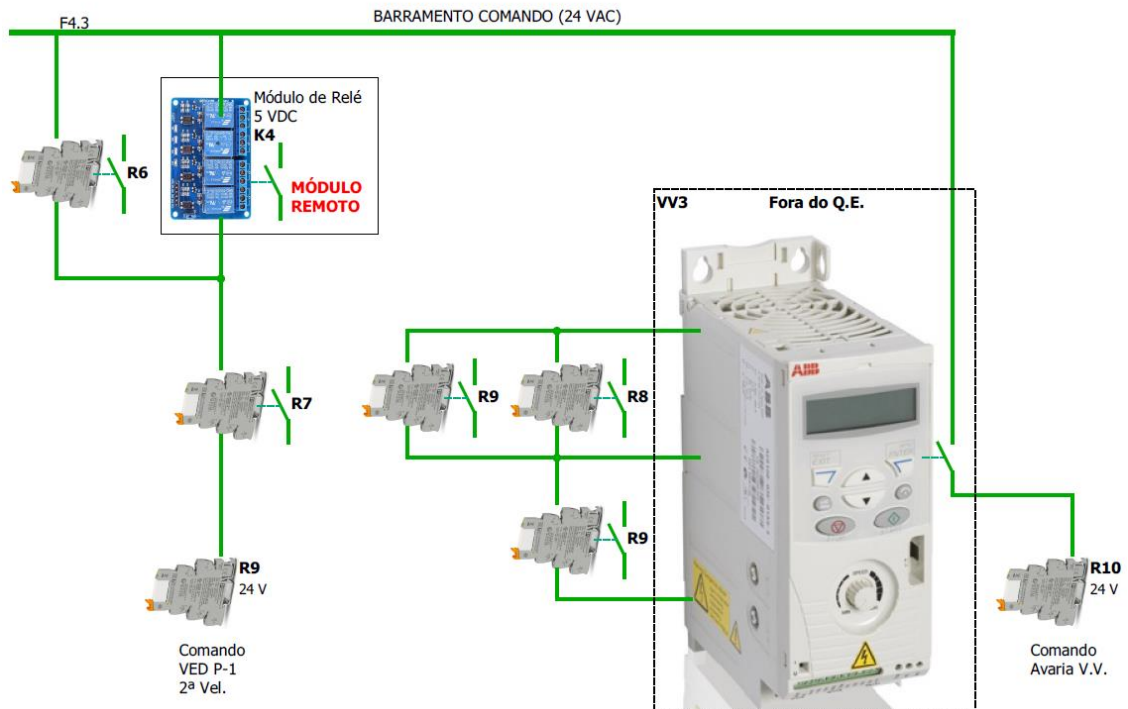


Figura 52 – Comando 24 VAC, VED P.-1 2ª vel., sinais de input e output do VV.

4.3 Caixa Bres64

A Caixa Bres64 foi concebida para ser utilizada em todo o tipo de indústria e instalações, privadas ou públicas, de telecomunicações, eletricidade, água, gás e semáforos. Na Figura 53, está representada a caixa do protótipo. A mesma tem um índice de proteção contra os choques mecânicos (IK) de 10, com classe II e índice de proteção (IP) 60, em que o 1º algarismo indica a proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos e o 2º algarismo indica a proteção contra a penetração de água. No caso específico da imagem, tem índice de proteção (IP) 50 devido ao corte que se efetuou na porta, de modo a instalar o LCD *Touch Screen* [22] [23].



Figura 53 – Caixa Bres64.

Na Figura 54 estão representados os diversos equipamentos utilizados no desenvolvimento do protótipo, tais como:

- Interruptor;
- Porta fusível;
- Contador de energia;
- Disjuntores;
- Contactos auxiliares;
- Transformador;
- Fonte de alimentação;
- Relés;
- Unidade Central;
- Módulo Remoto.

Legenda

- A - Interruptor Diferencial
- B - Porta Fusível/borne fusível
- C - Sinalização de fases
- D - Contador de energia
- E - Disjuntor térmicos
- F - Contatores
- G - Disjuntor trifásico
- H - Disjuntor monofásico
- I - Contactos auxiliares
- J - Interruptor
- K - Fonte de alim. 5/24 VDC
- L - Transformador 24VAC
- M - Power bank
- N - Iluminação do Q.E.
- O - Relés de interface de 24V
- P - Sensor da porta
- Q - Unidade central
- R - Modulo remoto



Figura 54 – Vista frontal dos equipamentos no protótipo.

4.4 Interruptor Diferencial

O interruptor diferencial trifásico, representado na Figura 55, dispõe de identificação “IDG” que permite a proteção de pessoas e animais contra contactos diretos ou indiretos [23]. Serve, também, como corte geral do quadro elétrico e tem uma sensibilidade de 30 mA.



Figura 55 – Interruptor diferencial [24].

4.5 Porta Fusível e Borne Fusível

Na Figura 56, estão representados as portas e os bornes de fusíveis que permitem a proteção contra sobrecargas e curto-circuitos [23]. No protótipo, existem diversas portas de fusíveis:

- As que tem a identificação “FL’s”, que servem para proteger os sinalizadores de fases (HL1, HL2 e HL3);
- O borne de fusível “F4.1”, que permite efetuar a proteção da linha de comando dos 5 VDC que vai ao Módulo Remoto, Opto Acoplador (entradas) e módulo de relé (saídas);
- O borne de fusível “F4.2”, que protege a *Power bank*;
- O corta-circuito “F4.3”, que permite proteger a tensão de comando de 24 VAC, utilizada para acionar as bobines dos contactores e relés de interface de 24 VAC;
- O borne de fusível “F4.4” possibilita a proteção do comando de 24 VDC, usada nos Opto Acopladores (entradas).



Figura 56 – Porta fusível e borne fusível [25] [26] [27].

4.6 Sinalização de Fases

Os sinalizadores de fases, representados na Figura 57, com a identificação “HL’s”, têm como função indicar a existência de tensão em cada uma das fases do quadro elétrico.



Figura 57 – Sinalização de fases [28].

4.7 Contador de Energia

O contador de energia possibilita medir e registrar a energia de circuitos elétricos (por exemplo, o contador está a verificar o consumo do circuito 1 da UTA 1 e o circuito 2 da UE1). Na Figura 58, está representado o diagrama de ligação do contador de energia. As ligações 1, 2 e 3 permitem a comunicação RS485; já as ligações de potência (A-V e A), em que A-V é a entrada da tensão e o A é a saída, possibilitam efetuar a leitura da contagem. Este contador permite efetuar poupanças de energia, pois a tomada de consciência dos consumos realizados facilita a redução/gestão mais eficiente dos mesmos [23]. O contador de energia dispõe de comunicação RS485, que possibilita a comunicação com a Unidade Central, como se pode observar na Figura 58.

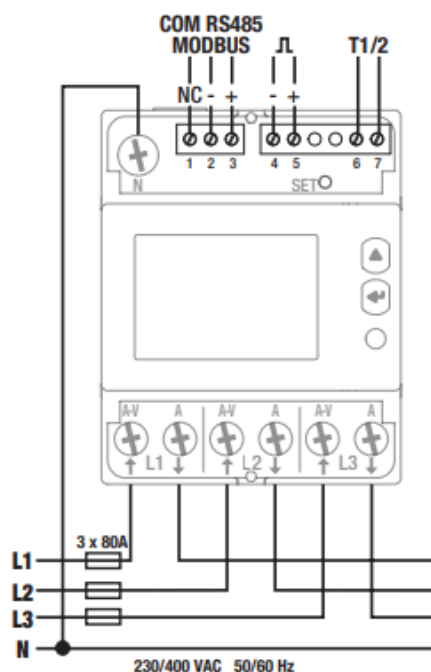


Figura 58 – Diagrama de ligação do contador de energia [29].

4.8 Disjuntor Térmico

Os disjuntores térmicos são dispositivos de proteção contra sobrecargas (através do disparo térmico, regulável) e curto-circuitos (através do disparo magnético) [23]. O disjuntor térmico do circuito 1 permite proteger e alimentar o equipamento trifásico de ventilação (UTA 1 designação do circuito no protótipo) e o circuito 2 possibilita a proteção e alimentação do equipamento monofásico de ventilação (U.E. 1 designação do circuito no protótipo). Este tipo de disjuntor térmico permite adicionar um contacto auxiliar na parte frontal. No protótipo contém a designação “DM1”, “DM2” e encontra-se representado na Figura 59.



Figura 59 – Disjuntor térmico [30].

4.9 Contactores

Os contactores são equipamentos de potência indispensáveis para o comando de circuitos de aquecimento, ventilação, iluminação e gestão de energia [23]. Os contactores no circuito 1 e 2, representados na Figura 60, permitem controlar e efetuar o deslastre dos mesmos. No protótipo contêm a designação “KM1” e “KM2”. O contactor CWB é trifásico e tem um contacto auxiliar acoplado, o contactor iCT é monofásico. A alimentação da bobine dos contactores é conseguida através das ligações entre o A1 e o A2.



Figura 60 – Contactores [31] [32].

4.10 Disjuntor

O disjuntor é um equipamento de proteção contra sobrecargas e curto-circuitos [23]. O disjuntor do circuito 3 possibilita a proteção e a alimentação do variador de velocidade, que se encontra fora do quadro, e o do circuito 4 facilita a proteção da fonte de alimentação 5 VDC, transformador 24 VAC, *Power bank*, iluminação e ventilador do quadro. No protótipo, este elemento contém a designação “D3”, “D4” e está representado na Figura 61. O disjuntor do lado esquerdo é trifásico e o do lado direito é monofásico, sendo que ambos permitem associar contactos auxiliares na sua lateral.



Figura 61 – Disjuntor [33] [34].

4.11 Contactos Auxiliares

Os contactos auxiliares acoplados nos disjuntores, disjuntor térmico e contactores permitem indicar o estado de posição (aberto ou fechado) ou a existência de eventuais defeitos dos mesmos. Os sinais indicados pelos contactos auxiliares, representados na Figura 62, são enviados para o Módulo Remoto. O contacto auxiliar do lado esquerdo indica dois tipos de estados: disparo (SD) e posição (OF). O contacto auxiliar, que se encontra no centro, conta apenas com o estado de posição. O mesmo acontece com o contacto auxiliar do lado direito, que é adicionado na parte frontal do disjuntor térmico.



Figura 62 – Contactos auxiliares de disparo (SD) e posição (OF) [35] [36] [37].

4.12 Variador de Velocidade e Motor Elétrico

Este equipamento trifásico permite a aceleração e o arranque controlados, desaceleração e paragem controladas, inversão do sentido de marcha e variação de velocidade [38]. Possui proteção térmica, proteção contra curto-circuito e desequilíbrios de fases. No protótipo, o variador está programado para ter duas velocidades. O variador alimenta um motor elétrico, como se pode observar na Figura 63. O motor arranca na 1ª velocidade (sentido horário), caso o Monóxido de Carbono (CO) seja igual a 50 PPM, e na 2ª velocidade (sentido horário), caso o Monóxido de Carbono seja igual a 100 PPM, se ocorrer um incêndio ou se o utilizador pressionar na botoneira de emergência. A ligação efetuada no motor é em estrela.



Figura 63 – Montagem do VV com o motor e os sinais de pot. e com. [39].

Na Tabela 2, podemos observar os parâmetros utilizados na configuração do variador de velocidade (arranque nas velocidades 1ª e 2ª e a indicação do funcionamento do variador), de modo a permitir o controlo remoto do mesmo através da Unidade Central.

Tabela 2 – Configuração duas velocidades [38].

Parâmetro	Descrição	Valor
1001	Fontes de controlo	1
1201	Ativação da velocidade constante	7
1202	1ª Velocidade	25Hz
1204	2ª Velocidade	50Hz
1401	Rele 1 – Falha (informação da avaria)	4
9902	Modo de Funcionamento	1

4.13 Interruptor

O interruptor utilizado no protótipo tem como finalidade acionar manualmente todos os comandos de todos os contactores, prevenindo algum problema na Unidade Central ou no Módulo Remoto. No protótipo, o interruptor contém a designação “IS1” e surge representado na Figura 64.



Figura 64 – Interruptor [40].

4.14 Fonte de Alimentação 5 VDC e 24 VDC

No protótipo existem duas fontes de alimentação (5 VDC e 24 VDC). Na Figura 65, do lado direito, está representada a fonte de alimentação de 5 VDC, que alimenta a Unidade Central, o Módulo Remoto, a *Power bank* e todo o comando com a tensão 5 VDC. A fonte de alimentação de 24 VDC, representada na Figura 65, do lado esquerdo, que se encontra por baixo do Módulo Remoto no protótipo, possibilita a tensão do comando para as entradas dos Opto Acopladores.

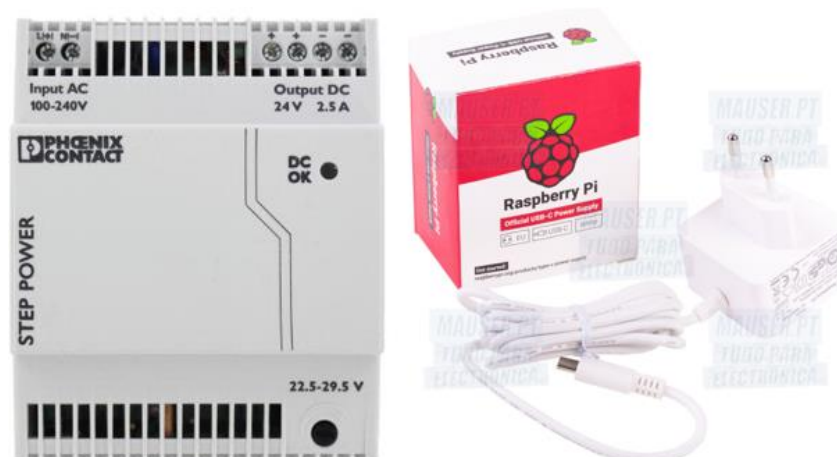


Figura 65 – Fonte de alimentação 24 VDC e 5 VDC [41] [42].

4.15 Transformador

O transformador representado na Figura 66 disponibiliza duas tensões, 12 VAC e 24 VAC, e tem uma potência de 40 VA. A tensão utilizada pelo transformador é de 24 VAC, de modo a permitir a tensão de comando para acionar as bobinas dos contactores e relés. No protótipo, o transformador contém a designação “T4”.



Figura 66 – Transformador de 24VAC [43].

4.16 Power Bank

Na Figura 67, está representada a *Power bank* utilizada no protótipo. A mesma funciona como uma *Uninterruptible Power Supply* (UPS) para o Módulo Remoto e para a Unidade Central, de forma a mantê-la ligada em caso de falta de tensão no quadro elétrico.



Figura 67 – *Power bank* [44].

4.17 Iluminação do Quadro Elétrico

Sempre que a porta do quadro elétrico está aberta, acende a iluminação do quadro, de modo a facilitar a visualização do serviço que o técnico for realizar. Quando a porta está fechada, a luz apaga-se, devido ao sensor que se encontra no meio do quadro, ao canto. Na Figura 68, estão representados o sensor da porta e a iluminação a *LED* utilizados no protótipo.



Figura 68 – Iluminação e sensor da porta [45] [46].

4.18 Ventilador do Quadro Elétrico



Figura 69 – Ventilação do quadro.

O quadro é ventilado por dois ventiladores e um filtro. O filtro, localizado no canto superior esquerdo, representado pela letra B na Figura 69, possibilita a circulação de ar novo. O ventilador inserido no canto inferior esquerdo, representado pela letra C na Figura 69, permite a circulação e entrada de ar novo. O outro ventilador, localizado no canto superior direito, representado na Figura 69 pela letra A, envia o ar quente para fora do quadro. Por norma, o ar quente tende a subir, daí a configuração dos ventiladores.

Este dispositivo é acionado sempre que a temperatura do Módulo Remoto ou do sensor do quadro atingir o limite que o utilizador definiu na aplicação.

4.19 Sensor de Temperatura e Humidade

Este sensor [47] (ver Figura 70) é utilizado para medir a temperatura e a humidade no quadro elétrico, de forma a ligar ou desligar os ventiladores do protótipo. Este equipamento está localizado na parte de baixo do Módulo Remoto. Também existe um outro sensor, no exterior, que permite efetuar a gestão da fração em função da temperatura da mesma.

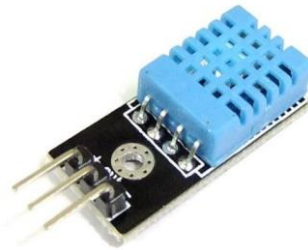


Figura 70 – Sensor de temperatura DHT11 [48].

4.20 Relés de Interface de 230 V e 24 V

Este equipamento (ver Figura 71) é essencial para o comando de sinais internos (sinal de incêndio, tensão do comando, sinal da porta do quadro, etc.) e externos (sinal para o variador arrancar na 1ª velocidade ou na 2ª velocidade) e possui um *LED top* que permite visualizar o estado do relé. Os relés de interface de 230 V (ver Figura 71 lado esquerdo) contêm os sinais da falta de fases e do sensor da porta do protótipo. Os relés de interface de 24 V (ver Figura 71 ao centro) permitem o comando dos sinais interno e externo. Na Figura 71, do lado direito, pode-se observar o relé que permite acionar manualmente todos os contactores quando o interruptor é ligado. No protótipo, o relé de interface contém a designação “R (número)”.



Figura 71 – Relés de interface de 230 V e 24 V [49] [50] [51].

4.21 Desenvolvimento do Módulo Remoto e da Unidade Central

Na Figura 72, pode-se observar novamente o diagrama de blocos do protótipo. Este sistema é composto por um ou mais Módulos Remotos e por uma Unidade Central, que comunicam entre si via *WiFi*. O Módulo Remoto recebe os sinais dos sensores de entrada e aciona as saídas. A Unidade Central recebe os dados do contador de energia, através da comunicação RS485, e possui um LCD *Touco Screen* de modo a visualizar as informações.

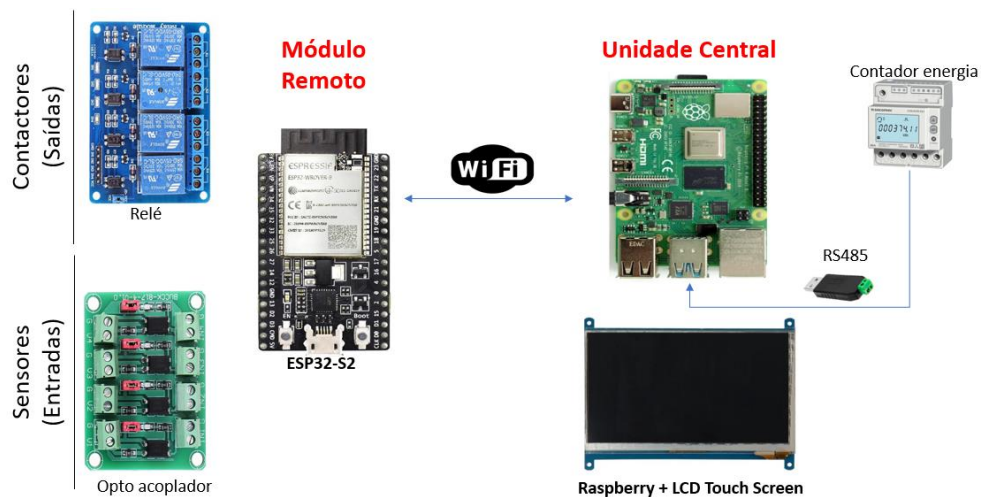


Figura 72 – Diagrama de blocos do protótipo.

4.22 Opto Acoplador

Este equipamento, representado na Figura 73, recebe os sinais provenientes dos sensores (estado dos disjuntores, sensor da porta, sensor da janela, sinal da CDI, sinal do CO, falta de fases, sensor de temperatura), enviando estas informações para o Módulo Remoto. O Opto Acoplador permite efetuar a redução do sinal da tensão 24 VDC para a tensão de 5 VDC. Posteriormente, esse sinal dará entrada no Módulo Remoto, sendo que possui um *LED* que permite visualizar o estado da entrada. No módulo do Opto Acoplador, temos as seguintes designações:

- Em cima (sinais de entrada):
 - IN (entrada do sinal de 24 VDC);
 - G (está ligado ao 0 VDC).
- Em baixo (sinais de saída):
 - V (é ligado á tensão de referência 5 VDC);
 - G (sinal da saída).

No protótipo, o Opto Acoplador contém a designação “E (número)”.

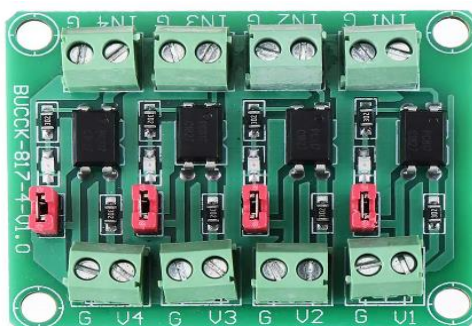


Figura 73 – Módulo Opto Acoplador [52].

4.23 Módulo de Resistências

O módulo de resistências permite reduzir o ruído associado á comutação das entradas no Opto Acoplador. Neste projeto, utilizou-se uma resistência de 10k nas saídas do Opto Acoplador. Na Figura 74, pode-se observar:

- Módulo de resistências, que contém a designação “R’s”;
- Módulo Remoto (ESP32-S2);
- Sensor de temperatura do protótipo, que contém a designação “DHT”;
- Fonte de alimentação de 24 DC, com a designação “FA”.

A fonte de alimentação foi concebida através da tensão de 24 VAC do transformador. No protótipo final não se chegou a utilizar esta fonte, por forma a reduzir o risco do sistema se tornar instável.

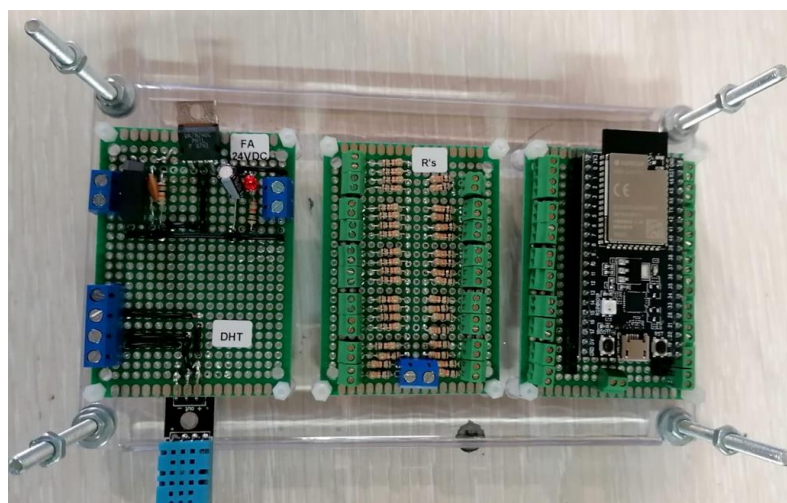


Figura 74 – Mont. do DHT11, módulo de resistências, ESP32-S2 e F.A.24VDC.

4.24 Módulo de Relé 5 V

O módulo de relé de 5 V, representado na Figura 75, é utilizado para acionar os contactores tais como o “KM1” e o “KM2”, os ventiladores do quadro elétrico e o sinal da 1ª e 2ª

velocidades para o variador de velocidade. O módulo de relé de 5 V funciona como comando, através dos sinais à saída do Módulo Remoto, e possui um *LED* que permite visualizar o estado da saída. No protótipo, o módulo de relé de 5V contém a designação “S1”.

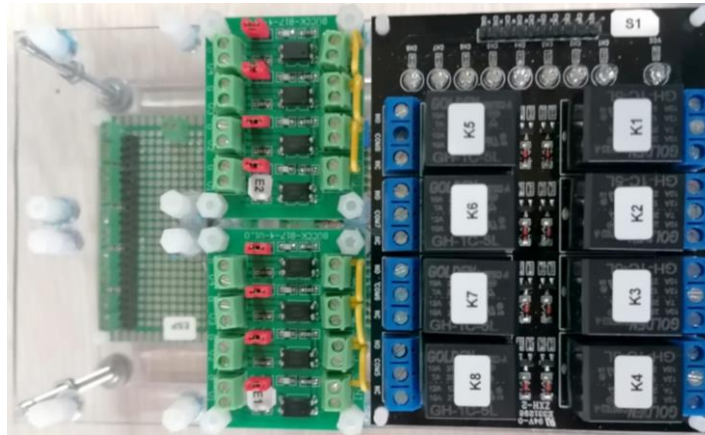


Figura 75 – Módulo de relé de 5 V e Opto Acoplador.

4.25 Módulo Remoto (ESP32-S2)

O Módulo Remoto, representado na Figura 76, é baseado no ESP32-S2 e tem como função receber os sinais dos sensores de entrada (emitidos pelo Opto Acoplador) e acionar as saídas (módulo de relé de 5 V) consoante os dados recebidos da Unidade Central via *WiFi*. Podem existir um ou mais módulos remotos que comuniquem com a Unidade Central, sendo que no protótipo está a ser utilizado apenas um Módulo Remoto.

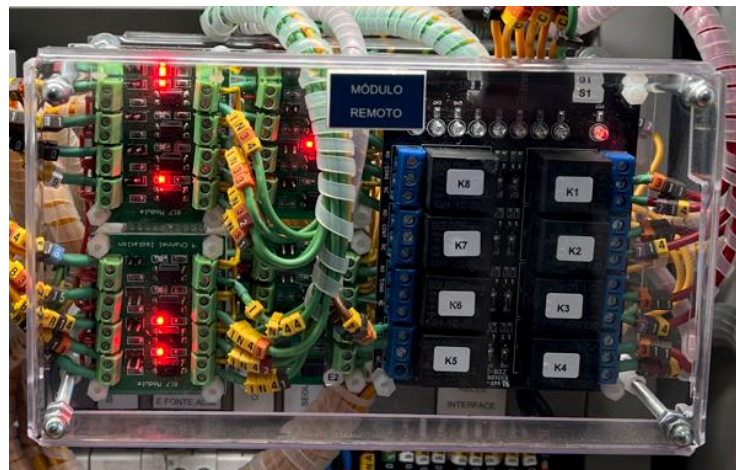


Figura 76 – Módulo Remoto.

Na Figura 77, está representado o diagrama de ligação do Módulo Remoto aos Opto Acopladores (entradas) e ao módulo de relé de 5 VDC (saídas). O módulo de relé contém um contacto inversor (COM, NO e NC) e é alimentado através do VCC (5 VDC) e do GND (0 VDC). Neste projeto, foi utilizado o contacto NO para acionar os contactores.

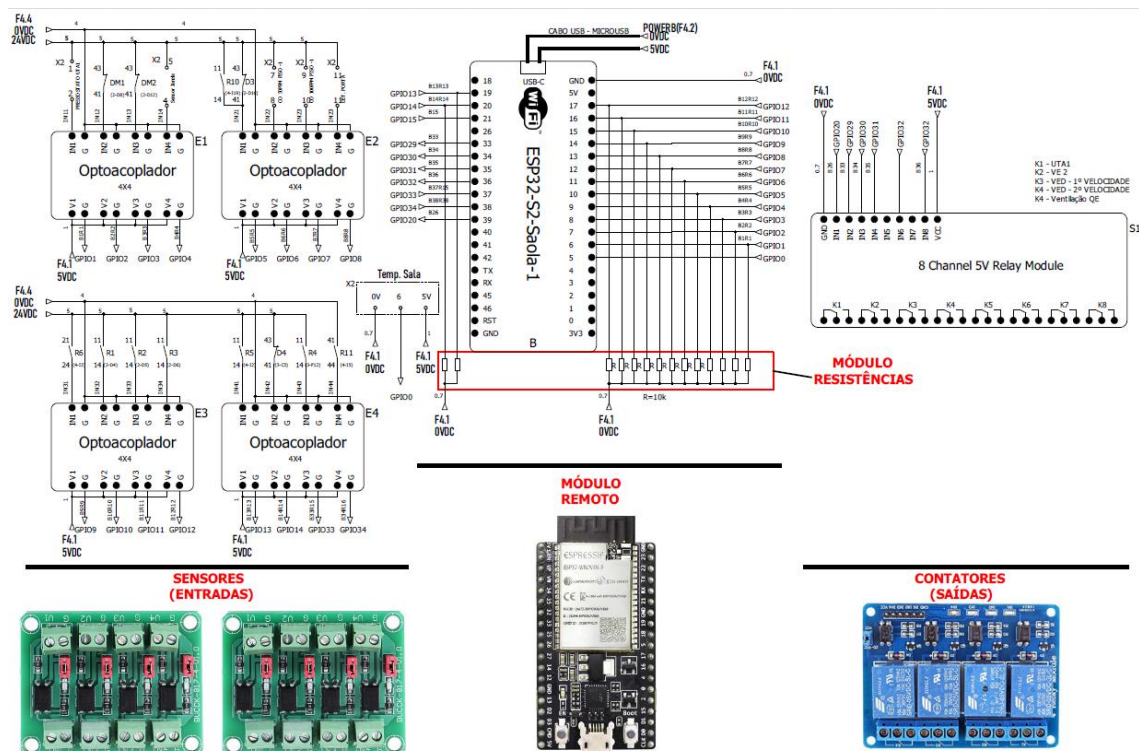


Figura 77 – Diagrama de ligação do Módulo Remoto.

4.26 Módulo de Comunicação USB RS485

Este equipamento (ver Figura 78) é um conversor RS485 e permite efetuar a comunicação RS485 entre o contador de energia e a Unidade Central (*Raspberry Pi*). O pino D- do conversor RS485 faz ligação com o pino 2 (-) do contador de energia. Já o pino D+ é ligado ao pino 3 (+) do MODBUS do contador de energia, como se pode observar na Figura 81.



Figura 78 – Conversor RS485 para USB [53].

4.27 LCD Touch Screen

O LCD *Touch Screen*, representado na Figura 79, permite ao utilizador gerir, monitorizar, executar ou visualizar as informações da Unidade Central e do Módulo Remoto. A alimentação do LCD é efetuada pela Unidade Central através de um cabo USB *micro*. A transmissão da

imagem e do som é conseguida através de um cabo *micro* HDMI – *micro* USB, como se pode observar na Figura 81.



Figura 79 – LCD Touch Screen [54].

4.28 Unidade Central (*Raspberry Pi*)

Na Figura 80, está representada a Unidade Central, constituída por um *Raspberry Pi* 4, com um LCD Touch Screen, que tem como função tratar, gerir, monitorizar, executar e armazenar os dados enviados pelo Módulo Remoto (via *WiFi*) e pelo contador de energia (através do RS485). Também permite acionar as saídas do Módulo Remoto, consoante o manuseamento ou os parâmetros definidos pelo utilizador na Unidade Central.



Figura 80 – Unidade Central (lado esquerdo) e LCD Touch Screen (lado direito).

Na Figura 81, está representado o diagrama de ligação da Unidade Central com os outros periféricos (LCD Touch Screen e contador de energia).

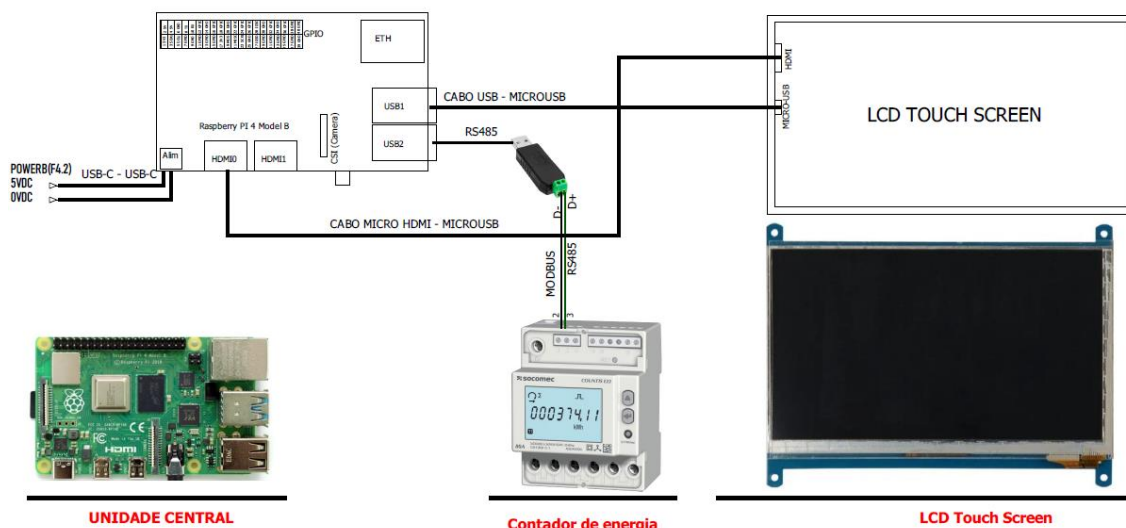


Figura 81 – Esq. de ligação da Unidade Central, contador de energia e LCD.

4.29 Bornes de Potência e Comando

Na Tabela 3, estão representados os bornes de potência para a alimentação do quadro, os bornes de saídas para a alimentação das máquinas e as respetivas designações dos mesmos.

Tabela 3 – Bornes de potência.

Bornes de potência	Descrição
N, L1, L2, L3	Tensão 400 V, bornes da alimentação do protótipo.
1	Tensão 400 V, para alimentação UTA 1.
2	Tensão 230 V, para alimentação da UE 1.
3	Tensão 400 V para alimentação do variador de velocidade, que por sua vez vai alimentar o motor do VED P.-1

Na

Tabela 4, estão representadas as régua dos bornes dos comandos dos sinais de entrada e saída, assim como as respetivas designações.

Tabela 4 – Bornes de comando.

Bornes de potência	Descrição
X0-1 e X0-2	Sinal de entrada da CDI.
X0-3 e X0-4	Sinal de entrada da botoneira do corte geral.
X1-1 e X1-2	Sinal de saída para o VV arrancar na 1ª velocidade.
X1-1 e X1-3	Sinal de saída para o VV arrancar na 2ª velocidade.
X1-4 e X1-5	Sinal de entrada do VV indicando avaria.

X2-1 e X2-2	Sinal de entrada do pressostato UTA 1.
X2-4 e X2-5	Sinal de entrada do sensor da janela.
X2-6.1, X2-6.2 e X2-6.3	Sinal de entrada do sensor de temperatura fração
X2-7 e X2-8	Sinal de entrada do CO 50 PPM
X2-9 e X2-10	Sinal de entrada do CO 100 PPM
X2-11 e X2-12	Sinal de entrada do sensor da porta.

Na Figura 82, estão representados os bornes de entrada (que permitem a entrada de cabos de 6mm²) e os bornes de potência e o comando (que permitem cabos de 2.5mm²).

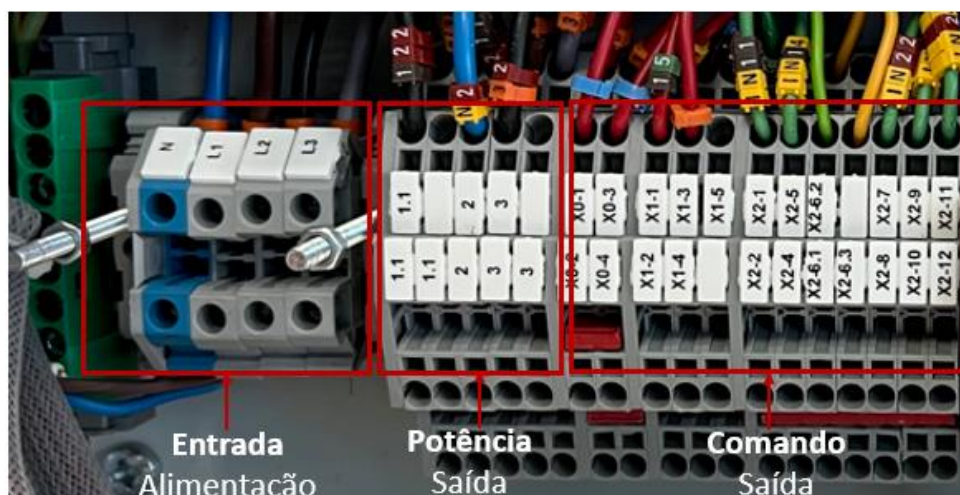


Figura 82 – Ligeira dos bornes de potência e comando.

4.30 Caixa de Teste

Na Figura 83, está representada a caixa de teste, constituída por um motor elétrico trifásico, um variador de velocidade, vários interruptores e uma tomada monofásica que se encontra na lateral. Esta caixa foi desenvolvida de forma a permitir a testagem dos sinais de comando e do consumo. Para efetuar estes testes, é necessário alimentar uma carga elétrica através da tomada para obter o controlo do consumo (contador de energia), bem como alimentar um motor elétrico através do variador de velocidade, controlando o mesmo (sinais de controlo). Os interruptores permitem simular o sinal de um determinado sensor digital. Quando está ligado, o interruptor da “Central Detecção Incêndio” permite o arranque do variador na 2ª velocidade. O mesmo acontece com o interruptor da “Botoneira Piso -1” e com o interruptor “CO 50PPM”, que quando está ligado aciona o arranque do variador na 1ª velocidade. Quando está ligado, o interruptor “CO 100PPM” ativa o arranque do variador na 2ª velocidade. O interruptor “UTA avaria pressostato” permite enviar informação sobre o estado da avaria UTA, quando está ligado. Os dois interruptores sensores de “janela” e “porta”

permitem simular o estado dos mesmos numa determinada fração. Existe, também, um sensor de temperatura no exterior, que possibilita testar a temperatura de uma fração para que a Unidade Central faça a gestão da energia através dos sensores da porta, janela e temperatura. A tomada, na lateral, permite visualizar o consumo de uma determinada carga que esteja ligada na tomada, ligada no circuito 2.

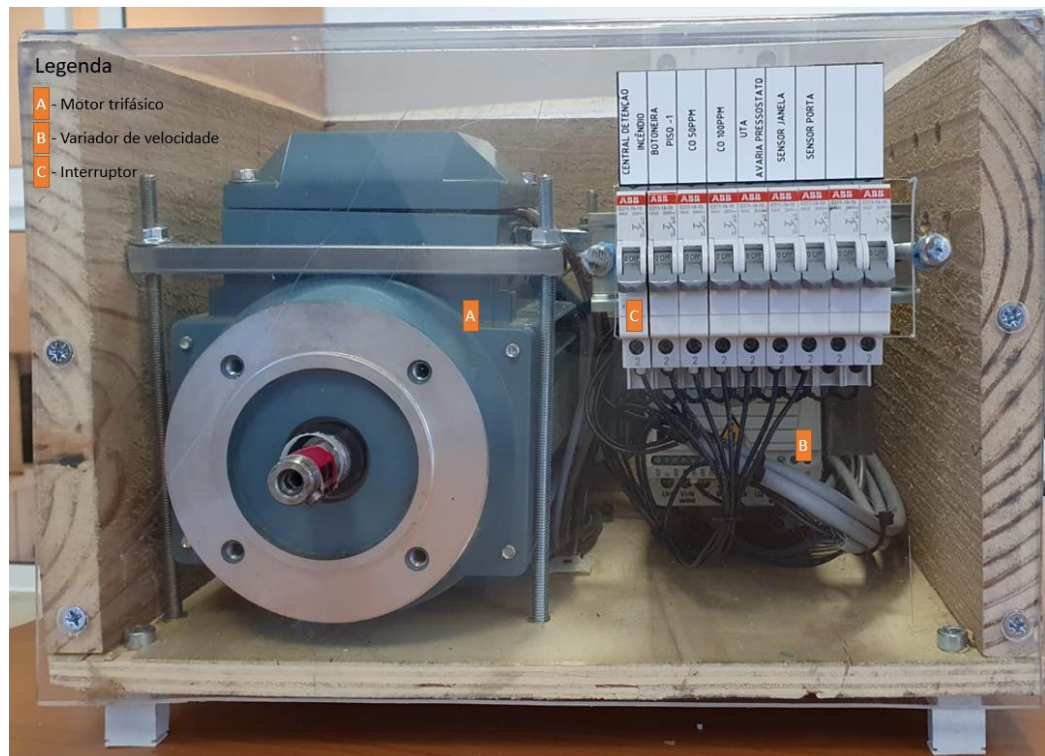


Figura 83 – Caixa de teste.

5 Descrição do Software do Protótipo

Neste capítulo, apresenta-se o *software* do protótipo desenvolvido na realização deste projeto, na sequência da solução proposta no capítulo 1. Assim, será efetuada uma breve explicação sobre como foi desenvolvido o *software*, de forma a garantir o correto funcionamento do Módulo Remoto e da Unidade Central. Por fim, conclui-se com a descrição das funcionalidades deste *software*.

5.1 Introdução

Na Figura 84, estão representadas as duas aplicações *Web* que foram desenvolvidas no Módulo Remoto e na Unidade Central. A aplicação *Web* do Módulo Remoto tem como finalidade efetuar as configurações de alguns parâmetros e testes dos sinais de entrada e de saída. A aplicação *Web* da Unidade Central possibilita o controlo de todo o sistema. Caso existam vários Módulos Remotos, todos terão a mesma aplicação *Web*, diferenciando apenas o endereço de IP de cada Módulo Remoto. Este protótipo contou apenas com um Módulo Remoto.

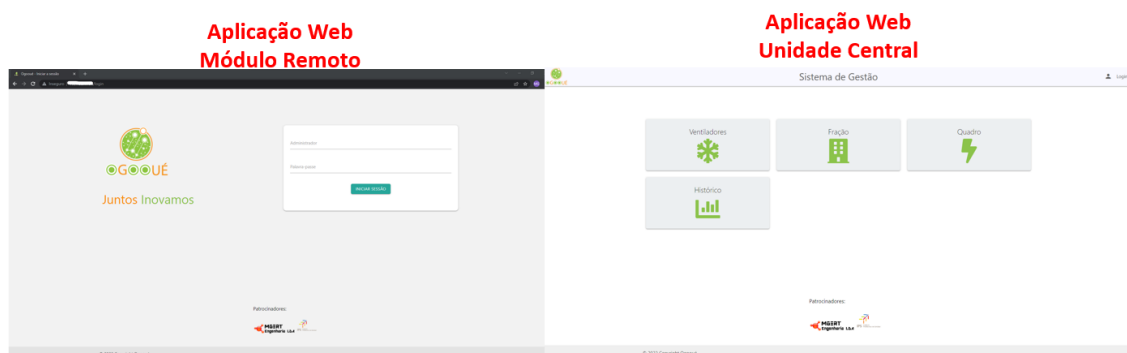


Figura 84 – Aplicações *Web* do Módulo Remoto e Unidade Central.

Existem três logotipos presentes em todas as páginas das aplicações *Web*. O primeiro é o logotipo Ogooué, que dá o nome a esta aplicação. O Ogooué é o quinto maior rio africano, com cerca de 1.200 km de extensão. Os outros dois logotipos são dos patrocinadores deste projeto, a empresa Mger Engenharia, Lda. e a Escola Superior de Tecnologia de Setúbal.

5.2 Implementação do Sistema no Módulo Remoto

Na Figura 85, está representado o diagrama do sistema geral, com maior foco no sistema do Módulo Remoto. O Módulo Remoto contém um sistema constituído por um servidor, que possui vários ficheiros de dados de diferentes tipos, nomeadamente:

- *JavaScript Object Notation* [55](JSON);
- *Cascading Style Sheets* (CSS);
- *Javascript* [56];
- *Hypertext Markup Language* (HTML);
- Imagens.

Estes ficheiros de dados são armazenados no *Serial Peripheral Interface Flash File Storage* (SPIFFS) do ESP32-S2. Os ficheiros do tipo JSON são utilizados para leitura ou escrita e contêm os seguintes dados:

- Configuração do administrador;
- Configuração do *WiFi*;
- Configuração da rede;
- Configuração da ligação com a Unidade Central.

Os ficheiros do tipo CSS contêm informações de algumas configurações visuais das páginas do site, de forma a tornar a apresentação mais *user friendly*.

Os ficheiros do tipo *Javascript* contêm os códigos responsáveis por:

- Verificação do *login*;
- *Reset* do sistema;
- Envio de dados dinâmicos (estados dos sinais de entrada e saída) entre o servidor (Módulo Remoto) e o cliente (*browser*), através de um *websocket*;
- Envio de informação inversa (por exemplo, as funções dos botões ligar e desligar) entre o cliente e o servidor.

Os ficheiros com o formato HTML incorporam todas as informações dos ficheiros JSON, CSS, *Javascript* e imagens na sua estrutura.

Existem dois *websocket* nas comunicações bidirecionais entre o servidor e o cliente. O primeiro *websocket* permite apenas enviar informações dos sinais digitais (estados dos sinais de entrada e saída), já o segundo *websocket* permite apenas o envio de sinais analógicos (sensores de temperaturas).

No Módulo Remoto, foi implementado um cliente *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) [57], que possibilita o envio e a receção dos dados do *broker* (servidor) instalado na Unidade Central. Os dados enviados pelo cliente MQTT são os sinais de entrada e de saída e os sensores de temperaturas. As informações que o cliente MQTT recebe são os dados enviados pela Unidade Central (por exemplo, ligar um ventilador a uma determinada hora). Na Figura

85, está representado com a cor castanha o princípio de comunicação do MQTT.

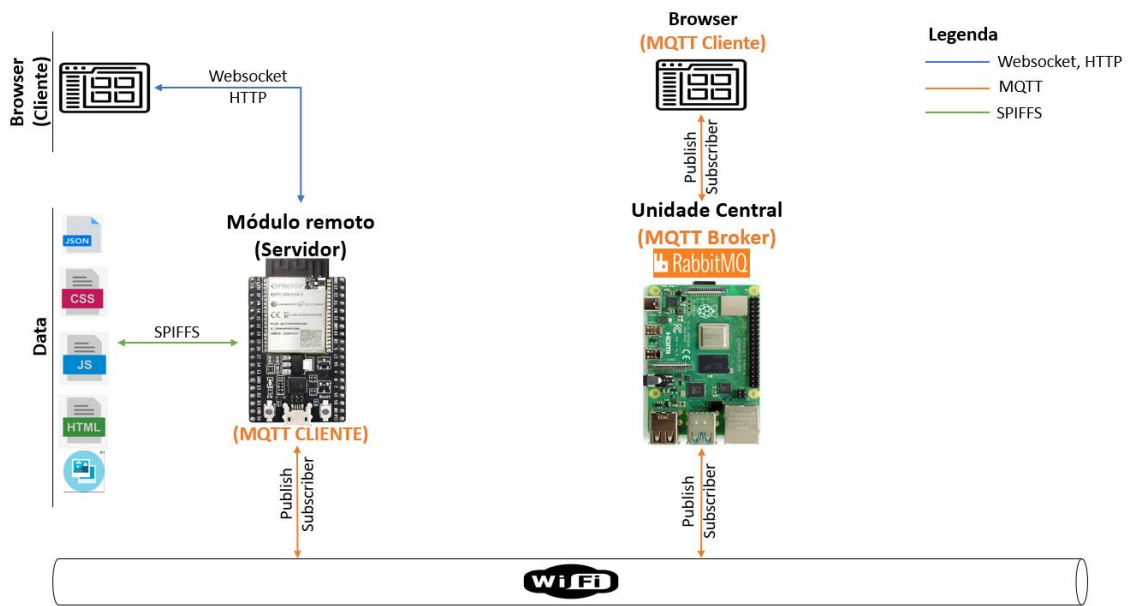


Figura 85 – Diagrama de bloco do sistema do Módulo Remoto.

5.3 Sistema de Falha de Comunicação com a Unidade Central

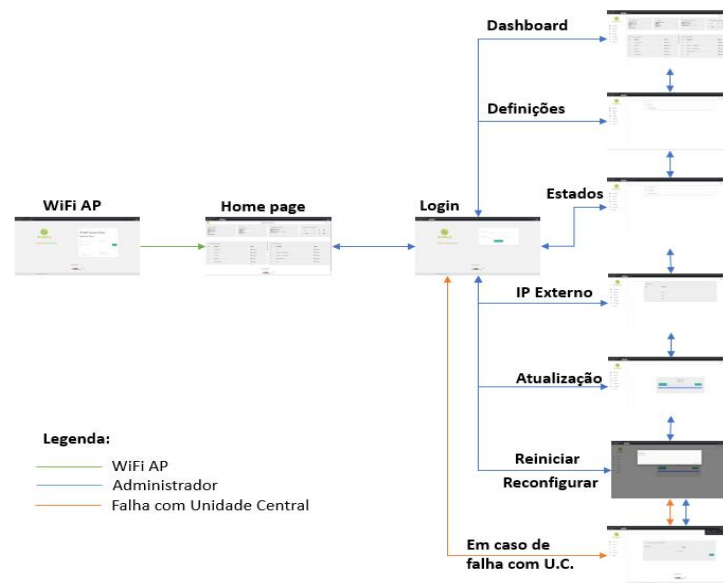


Figura 86 – Sistema de falha de comunicação com a Unidade Central.

Neste Módulo Remoto, implementou-se uma página que permite ao utilizador alterar os parâmetros da comunicação com a Unidade Central. Esta funcionalidade foi criada porque é útil no caso de existir uma falha de comunicação entre a Unidade Central e o Módulo Remoto. Numa situação de falha, o sistema do Módulo Remoto entra em *loop*, por forma a tentar reestabelecer a ligação com a Unidade Central, o que pode contribuir para que o sistema fique lento ou para que alguns protocolos de comunicação deixem mesmo de funcionar. Com a

introdução desta página, o utilizador terá autonomia para desligar o sistema da Unidade Central e corrigir os parâmetros da ligação (ex. IP, porta de comunicação, etc.). Na Figura 86, está representado, com uma linha laranja, o sistema de falha de comunicação entre o Módulo Remoto e a Unidade Central.

5.4 Sistema de Ativação e Desativação do *Access Point*

No Módulo Remoto implementou-se, também, um sistema que permite ativar o *WiFi Access Point (AP)* (ver Figura 87), que surge sempre que ocorre um erro na atualização de dados ou na ligação ao *WiFi*. Este sistema foi criado com o objetivo de fornecer um ponto de acesso ao utilizador, para que este possa consultar/resolver algumas das falhas indicadas anteriormente.

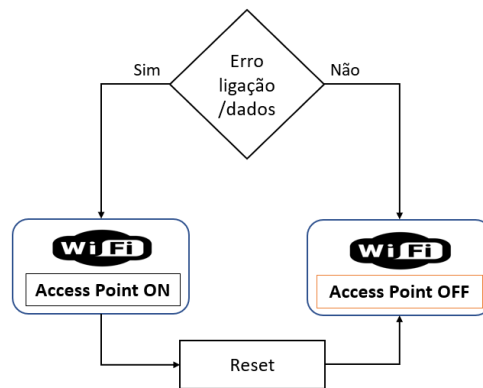


Figura 87 – Diagrama de ativação/desativação do *Access Point*.

5.5 Implementação do Sistema na Unidade Central

Na Figura 88, está representado o sistema que foi desenvolvido de forma a permitir a troca de dados entre a Unidade Central (*Raspberry Pi*) e o Módulo Remoto (ESP32-S2).

O *Raspberry* contém o *RabbitMQ* [58] instalado, que alberga o MQTT *broker*, responsável pela gestão da troca de informação entre estes dois equipamentos.

O servidor da Unidade Central contém um *software* com duas aplicações que trabalham em simultâneo. A primeira aplicação tem como objetivo tratar os dados do *frontend (browser)* e a segunda aplicação é responsável por tratar os dados em *backend*. O sistema foi desenvolvido através da uma *framework Django* [59], escrita em *python*, HTML, CSS e *Javascript*. Configurou-se no *Django* um sistema *Channels* [60], que permite as comunicações dos protocolos *websocket* e MQTT.

A aplicação *frontend* é constituída por dois *websocket*:

- “*Websocket_RS485*”, que permite enviar os dados que recebe para o *browser*,

através da comunicação RS485;

- “*Websocket_BD*”, que possibilita o envio dos dados provenientes da base de dados para o *browser* (por exemplo, o estado dos botões manual e automático).

O sistema *Channels* permite trabalhar com vários consumidores ao mesmo tempo. Por exemplo, a aplicação *frontend*, que contém 2 consumidores, nomeadamente:

- “*Consumer_RS485*”, que é responsável por tratar os dados que recebe da comunicação RS485, através dos eventos gerados no sistema *Celery* [61], procedendo ao respetivo envio para o *browser* por meio do “*Websocket_RS485*”;
- “*Consumer_BD*”, que permite receber e armazenar, na base de dados, os dados enviados através do *browser* e envia para o *browser* os dados obtidos da base de dados através do *Celery* (por exemplo, o estado dos botões).

A aplicação *backend* contém apenas um consumidor, o cliente MQTT, que permite enviar, receber e armazenar em *backend* os dados provenientes do Módulo Remoto, tais como: acionar o motor em caso de incêndio, ligar ou desligar um ventilador através de um horário ou sensores (temperatura, porta e janela), etc.

Configurou-se, também, no *Django* o sistema *Celery*, que possibilita a troca de dados entre produtor e consumidor através de um *broker*. Este sistema também permite produzir periodicamente tarefas em *backend*, através de eventos, que são enviados posteriormente para cada consumidor, que por sua vez os envia para o *browser* por via do *websocket*. O *Redis* é o *broker* responsável pela gestão da troca de dados entre o *Celery* (produtor) e o consumidor.

Na aplicação *frontend*, o *Celery* executa as seguintes tarefas periódicas:

- Leitura dos dados do contador de energia através da porta USB, que contém o conversor RS485, e o armazenamento dos valores dos consumos na base de dados;
- Leitura dos dados da base de dados (consulta do estado dos botões).

Na aplicação *backend*, o *Celery* tem um cliente MQTT que permite consultar os valores das temperaturas da fração, do quadro elétrico e do Módulo Remoto. O *Celery* executa as seguintes tarefas periódicas:

- Leitura da temperatura da fração e o armazenamento dos dados na base de dados;
- Leitura da temperatura do quadro elétrico e o armazenamento dos dados na base de dados;
- Leitura da temperatura do Módulo Remoto e o armazenamento dos dados na base de dados.

O sistema do *browser* em *frontend* contém um cliente MQTT e dois websocket. O cliente MQTT, implementado em *Javascript*, envia e recebe os dados provenientes do MQTT *broker* (por exemplo, ao premir o botão manual no *browser*, essa informação será enviada para o Módulo Remoto, acionando uma saída. De seguida, o Módulo Remoto envia o estado dessa saída para a Unidade Central). O primeiro *websocket* envia as informações do contador de energia para o *browser*, o outro envia e recebe informações da base de dados.

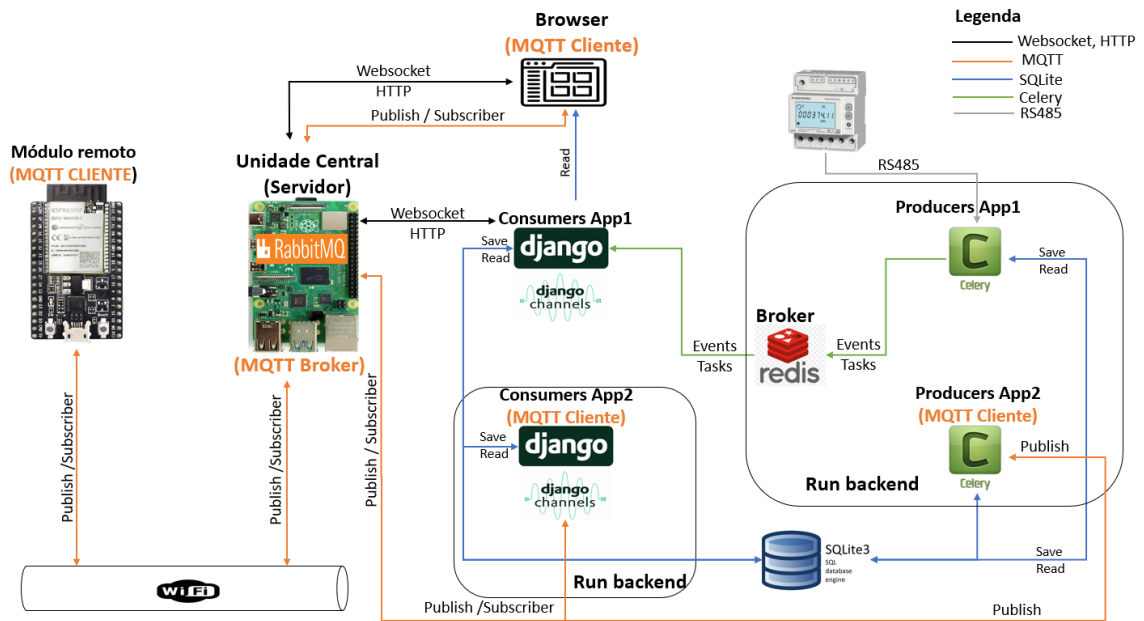


Figura 88 – Diagrama de bloco do sistema da Unidade Central.

5.6 Base de Dados

O sistema de armazenamento das informações utilizadas para a base de dados é o *SQLite* [63]. Este possibilita o armazenamento dos dados através do *frontend* (*browser*), guarda e lê as informações por via do *backend* (*Celery* e consumidor) (ver Figura 88).

Na Figura 89, pode-se observar o diagrama do Modelo Relacional, onde estão representadas todas as entidades e as relações existentes entre si.

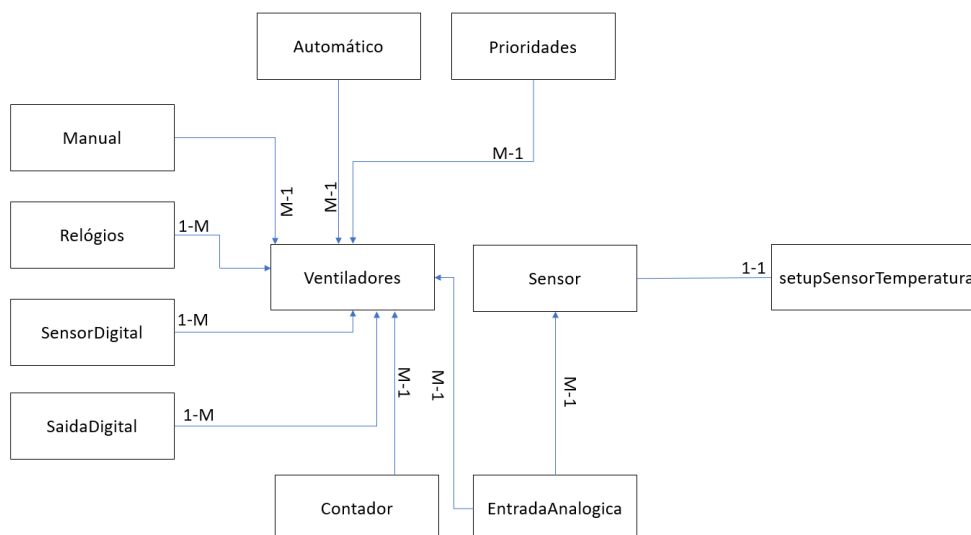


Figura 89 – Diagrama do Modelo Relacional.

Descrição das entidades:

- Ventiladores - permitem armazenar informação acerca dos vários ventiladores;
- Sensor – contém informação sobre os vários sensores (sensor de temperatura da fração, sensor de temperatura do Módulo Remoto e sensor de temperatura do quadro elétrico);
- Prioridade – permite definir uma ordem de deslastre dos ventiladores;
- Relógio - permite armazenar os dados para ligar ou desligar um ventilador num determinado período do tempo;
- Entrada Analógica - possibilita o armazenamento dos dados relacionados com os sensores de temperatura;
- Setup sensor analógico - permite definir um valor de temperatura para ligar ou desligar o ventilador;
- Automático - possibilita guardar os estados dos botões automáticos;
- Manual - permite guardar as informações do botão manual;
- Contador - permite armazenar os valores do consumo do contador de energia;
- Sensor Digital - permite guardar as informações dos vários sensores digitais, tais como sensores de porta, janela, disparo térmico, etc.;
- Saída Digital - permite guardar as informações das várias saídas digitais (contactores).

5.7 Comunicação RS485

Para a implementação do sistema que possibilita a leitura dos dados enviados pelo contador de energia, através da comunicação RS485 para USB, utilizou-se a aplicação *minimalmodbus* [64] dentro do *Celery*. Esta aplicação permite a comunicação do protocolo *modbus* e funciona por via da atribuição de endereços (tabelas fornecidas pela marca), que vão possibilitar a leitura dos diferentes dados (ex. tensão, frequência, energia ativa, etc.) (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Endereços do contador de energia Socomec. [65]

Referência	Descrição
50520	Valor da tensão simples (V1).
50522	Valor da tensão simples (V2).
50524	Valor da tensão simples (V2).
50526	Valor da frequência.
50528	Valor da corrente (I1).
50530	Valor da corrente (I2).
50530	Valor da corrente (I2).
51202	Total do valor da energia ativa.
50536	Valor da energia ativa em tempo real.

5.8 Aplicação do Módulo Remoto

Na Figura 90, pode-se observar a estrutura principal da aplicação *Web* desenvolvida no Módulo Remoto. Esta permite que o utilizador se ligue ao Módulo Remoto, de forma a testar individualmente os diversos sinais de entrada e de saída (antes de interligar-se à Unidade Central). Possibilita, também:

- Visualização dos sinais de entrada e saída;
- Definição do nome do Módulo Remoto;
- Definição dos parâmetros para comunicação com a Unidade Central;
- Atualização do sistema;
- Reposição das definições de fabrico;
- Reinicialização do sistema;
- Definição dos parâmetros de rede e da ligação da rede *WiFi*.

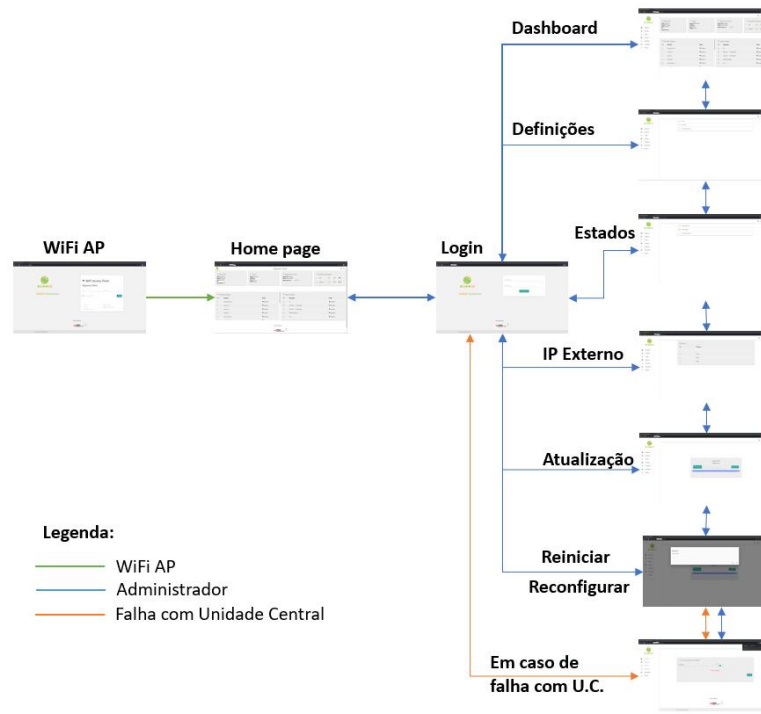


Figura 90 – Estrutura do servidor *Web* no Módulo Remoto.

5.9 Estado do *LED* no ESP32-S2 Conforme a Ligação no *WiFi*

O ESP32-S2 contém um *LED* RGB que foi configurado de modo a indicar o estado da ligação do *WiFi*. Os quatro modos de configuração do *LED* são (ver Figura 91):

- Modo 1 (*LED* verde), que indica que o Módulo Remoto está pronto para a configuração do *WiFi* (ver Figura 92);
- Modo 2 (*LED* vermelho), que indica uma falha na ligação do *WiFi*;
- Modo 3 (*LED* azul a piscar), que indica que está a tentar estabelecer ligação com o *WiFi*;
- Modo 4 (*LED* azul), que indica que a ligação do *WiFi* foi estabelecida com sucesso.

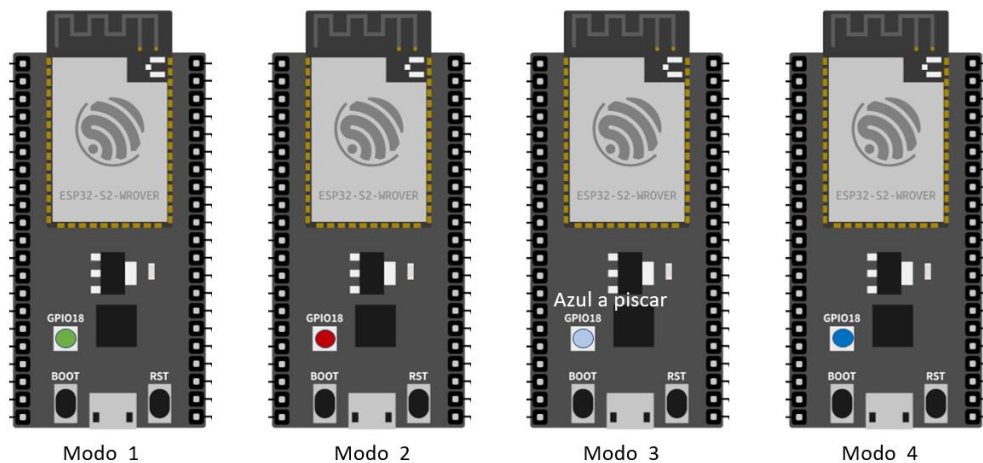


Figura 91 – Estado do *LED* no ESP32-S2.

5.10 WiFi Access Point

O *WiFi Access Point* permite que o utilizador se ligue a uma nova rede *WiFi*, através de um computador, telemóvel ou tablet, devendo seleccionar a rede do “*WiFi Ogooué Client*” (nome por omissão do AP). Depois da ligação ao Access Point estar estabelecida, qualquer página do *browser* que se tentar abrir vai redireccionar para a página representada na Figura 92. Esta permite estabelecer uma ligação a uma nova rede de *WiFi*, inserindo o nome e a *password*, bem como seleccionar se se pretende uma ligação automática (esta função possibilita procurar o sinal do *WiFi* sempre que haja a perda do mesmo, após a primeira ligação efetuada com sucesso à rede). Pode-se visualizar:

- O estado da ligação da rede (contém três estados: desligado, ligado e ligação falhou);
- O endereço IP interno (endereço do WiFi AP, por omissão 192.168.4.1);
- O nome da rede *WiFi* (SSID);
- O sinal da rede e o endereço IP de cliente (apenas atribuído quando a ligação for realizada com sucesso).

O botão ligar permite conectar-se à rede indicada no campo SSID e demora 14 segundos a efetuar a ligação. Caso a ligação à nova rede não seja realizada com sucesso, o estado da ligação passa a “ligação falhou”, sendo necessário reestabelecer uma nova ligação.

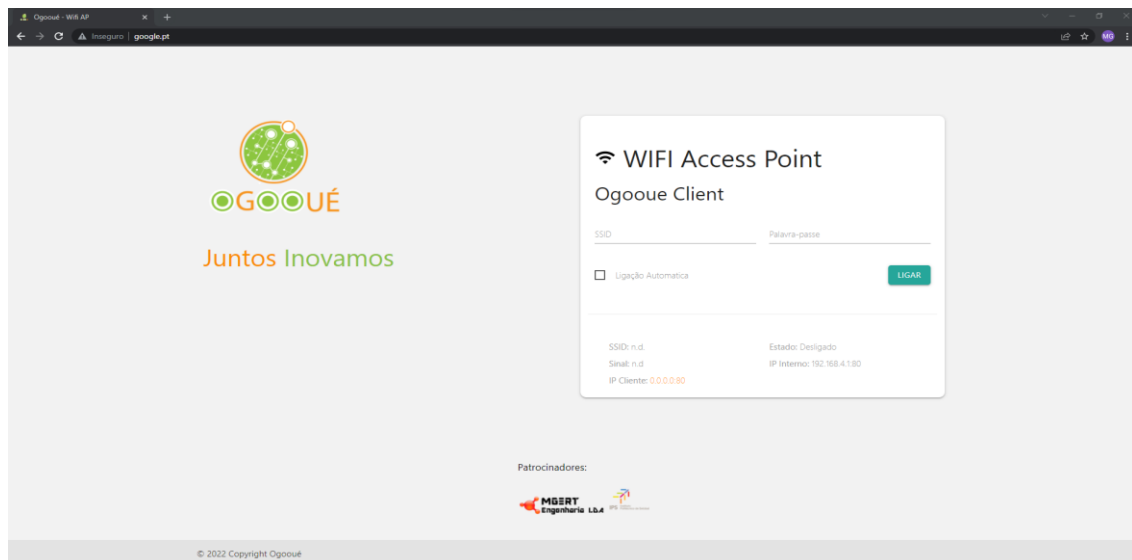


Figura 92 – Página do *WiFi Access Point*.

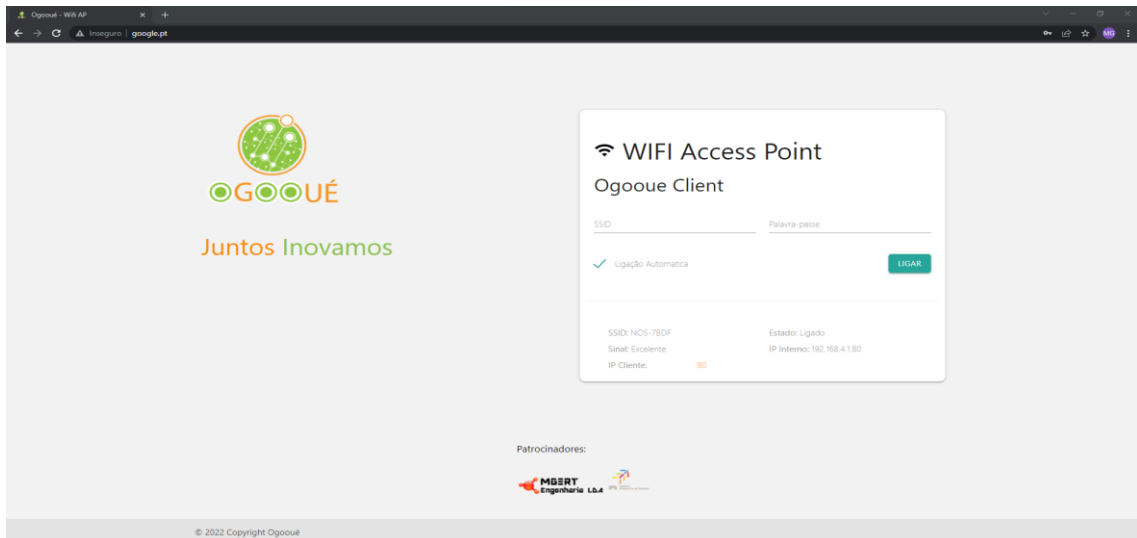


Figura 93 – WiFi AP ligação com sucesso.

Na Figura 93, pode-se observar uma ligação à rede *WiFi* realizada com sucesso. Nela, podemos visualizar o estado da ligação, o nome da rede a que está ligada, o estado do sinal *WiFi* e o endereço IP do cliente atribuído pela nova rede. Conforme representado na Figura 94, para aceder ao servidor *Web* do Módulo Remoto através do novo endereço IP, basta seleccionar o endereço IP do cliente (assinalado a laranja), mas antes disso é necessário garantir que o equipamento utilizado (computador, telemóvel ou tablet) está ligado à mesma rede a que o Módulo Remoto está conectado.

5.11 Página Principal (*Home page*)

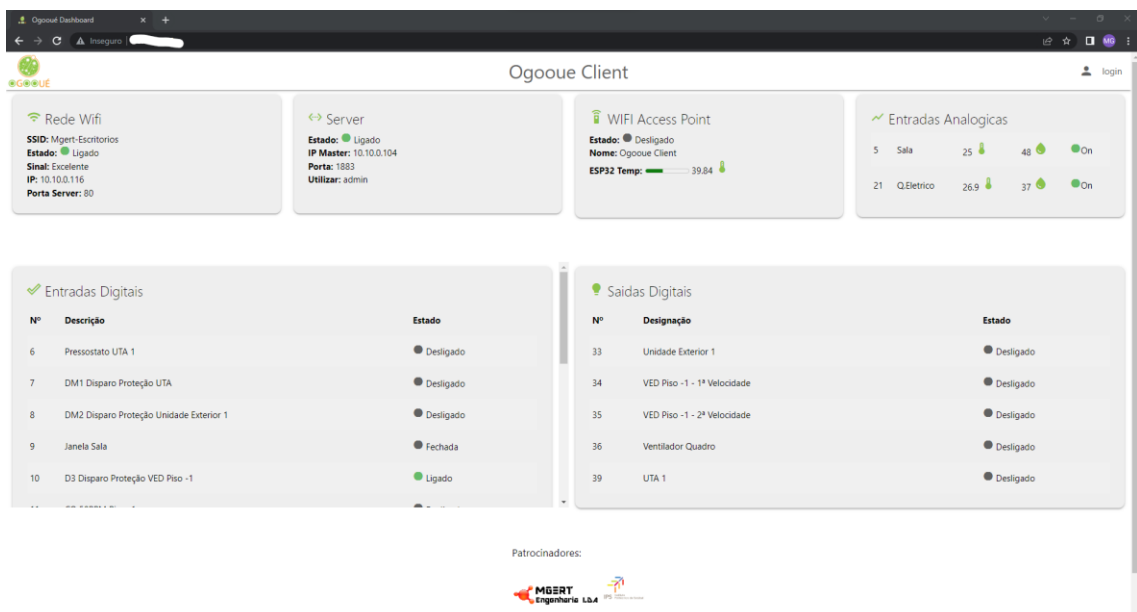


Figura 94 – Página principal.

Na Figura 94, pode-se observar a página principal, que surge depois de premir o endereço IP do cliente. Esta página serve apenas para a visualização de informações sobre a rede do *WiFi*, nomeadamente:

- Nome da rede;
- Estado da ligação da rede;
- Sinal da qualidade do *WiFi*, que contém 5 estados (Excelente, Bom, Razoável, Fraco e Nada Definido);
- Endereço IP de acesso e o número da porta do servidor;
- Informações sobre o servidor (Unidade Central):
 - Estado da ligação (contém 3 estados - ligado, desligado e falha na ligação);
 - Endereço IP do servidor;
 - Porta e o nome do utilizador.
- Informações sobre o ESP32-S2:
 - Temperatura local;
 - Estado do *Access Point* (contém dois estados: ligado ou desligado);
 - Nome do *Access Point*.
- Informações dos sinais de entradas digitais e analógicas:
 - Sensores de temperatura (contêm dois estados: ligado ou desligado; os valores da temperatura e da humidade);
 - Estados dos sinais de saídas (contêm dois estados: ligado ou desligado).

5.12 Página *Login* (Administrador)

Ao efetuar o *login* (ver Figura 94, canto superior direito), o *browser* irá carregar a página representada na Figura 95. De seguida, basta preencher o campo do “administrador” (por omissão *Ogooué*) e da “password” (por omissão *admin*) e premir o botão iniciar a sessão. Se os dados introduzidos estiverem corretos, o *login* será efetuado com sucesso e o sistema iniciará no modo administrador, permitindo não apenas visualizar, mas também executar as funções presentes neste modo. Se os dados inseridos no *login* não estiverem corretos, surgirão duas mensagens de erro nesta mesma página, a informar que o nome do administrador é inválido, assim como palavra-passe.

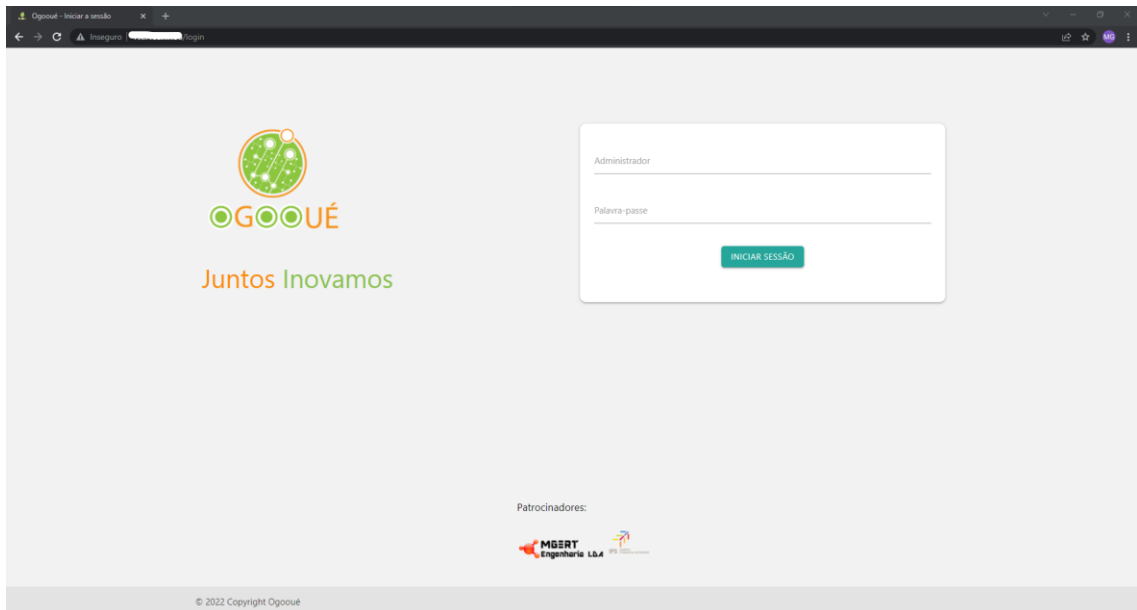


Figura 95 – *Login* administrador.

5.13 **Página *Dashboard***

A página do *Dashboard* (ver Figura 96) é a página principal do administrador. É muito semelhante à página principal (ver Figura 94), sendo que, no modo de administrador, surgem outras opções no menu de navegação, tais como:

- “Definições”;
- “Estados”;
- “IP externo”;
- “Atualização”;
- “Reconfigurar”;
- “Reiniciar”;
- Nome do administrador;
- “Sair” (visível no canto superior direito).

A opção do menu “Sair” permite efetuar o *logout* (volta para a página da Figura 94); a opção do menu com o nome do administrador permite entrar na página da Figura 97, onde se pode editar o nome do administrador e a *password*; o menu “Reconfigurar” permite reestabelecer as configurações de fabrico; e o menu “Reiniciar” permite efetuar um *reset* ao sistema.

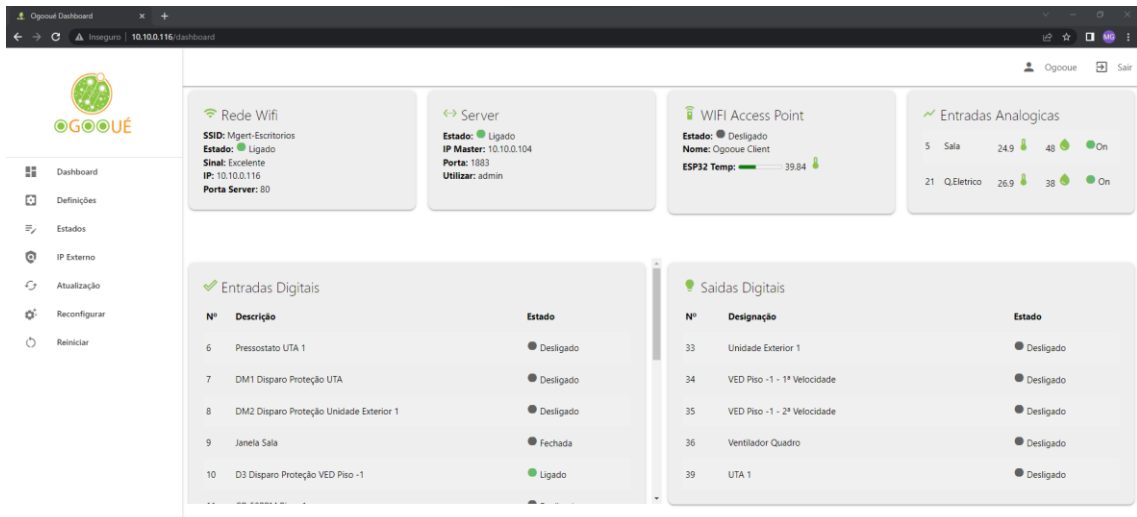


Figura 96 – Página do *Dashboard* geral.

5.14 Página Definições

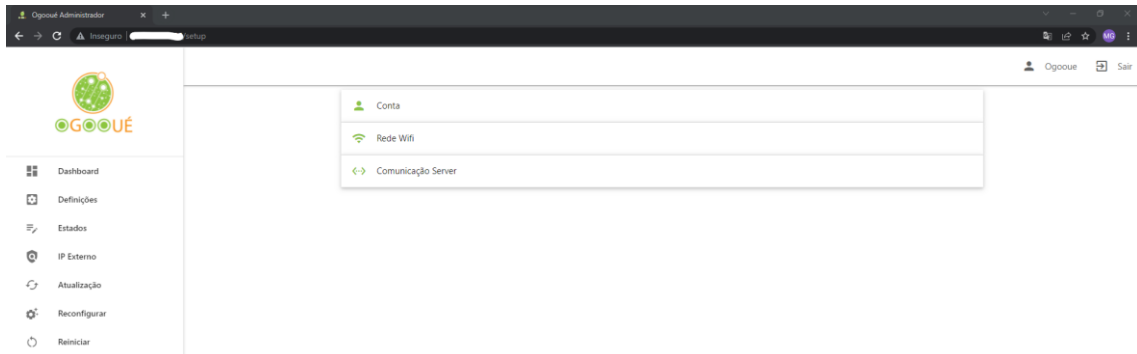


Figura 97 – Página das Definições da Conta, *WiFi* e Comunicação com Server.

As definições (ver Figura 97) contêm 3 menus:

- O menu “Conta”, que permite editar o nome do administrador e a *password*;
- O menu “Rede *WiFi*”, que permite editar os campos do *WiFi*, tais como:
 - Nome da rede;
 - *Password*;
 - Seleção da escolha automática;
 - Endereço IP estático ou dinâmico;
 - SSID softAP (nome do AP);
 - *WiFi*AP (serve para ligar ou desligar AP);
- O menu “Comunicação *Server*”, que possibilita a configuração dos parâmetros para estabelecer a ligação entre o Módulo Remoto e a Unidade Central, nomeadamente:
 - Endereço IP da Unidade Central;
 - Porta;

- Nome do utilizador;
- *Password*.

O botão guardar, presente nas duas primeiras opções de menus, tem um tempo máximo de 14 segundos para guardar as alterações. O botão ligar, que se encontra no menu “Comunicação *Server*”, tem um tempo máximo de 9 segundos para estabelecer a ligação com a Unidade Central. Sempre que ocorrer um erro durante a gravação dos dados configurados, os valores assumidos são os de fabrico.

5.15 Página Estados

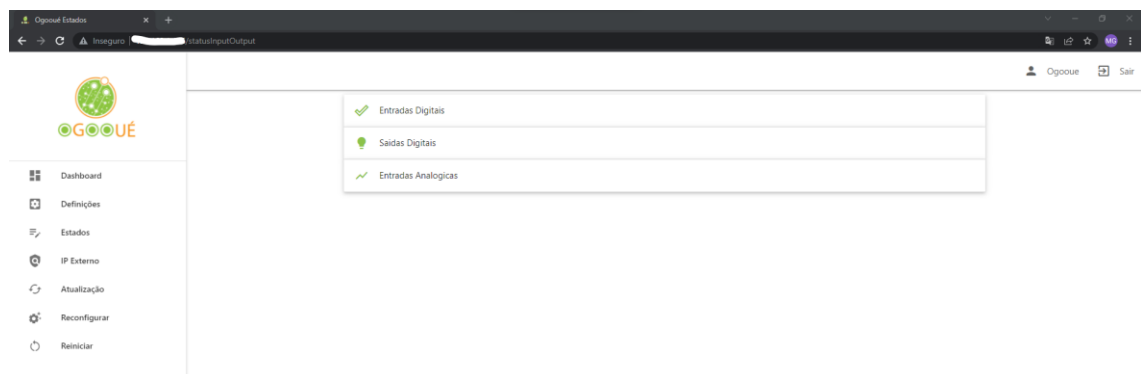


Figura 98 – Página dos estados da entrada, saídas e analógicas.

A opção de menu “Estado” (ver Figura 98) tem como função visualizar os estados dos sinais de entradas analógicas e digitais (indicando se está ligado ou desligado), bem como verificar e acionar os sinais de saída a ligar ou a desligar. Só é permitido forçar as saídas a ligar ou desligar quando o Módulo Remoto não está ligado à Unidade Central, de forma a possibilitar a testagem de todos os sinais de entrada e saída no Módulo Remoto.

5.16 Página IP Externo

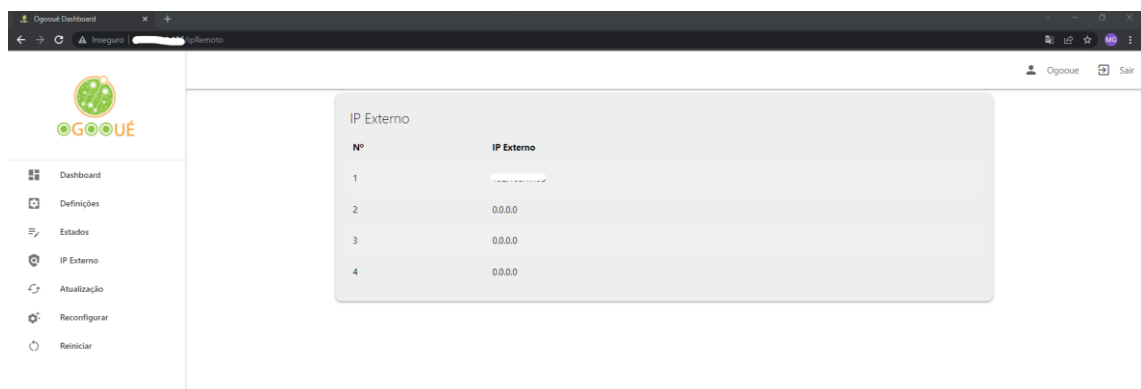


Figura 99 – Página dos IPs externos.

Esta página (ver Figura 99) permite ao administrador visualizar o endereço IP do cliente que está a aceder ao servidor do Módulo Remoto. O Módulo Remoto permite, no máximo, 4 acessos em simultâneo ao servidor.

5.17 Página Atualização

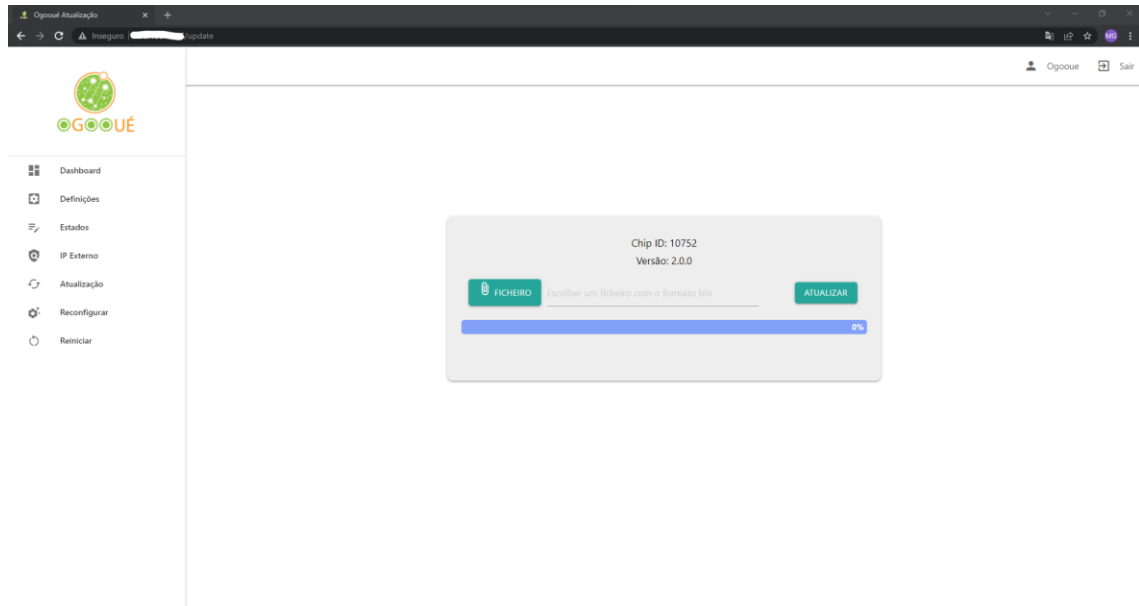


Figura 100 – Página da atualização do sistema.

A opção do menu “Atualização” (ver Figura 100) permite ao administrador efetuar a atualização do sistema através da rede *WiFi*, sendo que primeiro deve anexar e transferir o ficheiro do programa com o formato bin e, e seguida, pode anexar e transferir o ficheiro de dados com o formato SPIFFS. Atualizar o sistema sem o cabo *micro* USB apresenta algumas vantagens, a saber:

- Simplifica a operação quando o Módulo se encontra num local de difícil acesso;
- Facilita a correção dos erros no sistema, pois não é necessário ligar o cabo de cada vez que for necessário efetuar uma atualização;
- Facilita a atualização do sistema nos casos em que existem vários Módulos Remotos.

5.18 Página Falha na Comunicação do Server

A comunicação ao servidor MQTT contém 3 estados: ligado, desligado e falha na ligação. Na Figura 101, está representada a página que surge sempre que o utilizador entra no modo administrador e ocorre uma falha na ligação entre o Módulo Remoto e a Unidade Central. Esta página foi desenvolvida de modo a forçar o utilizador a alterar algum parâmetro que tenha

tido mal preenchido (ex. endereço IP). Em algumas situações, pode mesmo desativar a ligação com a Unidade Central.

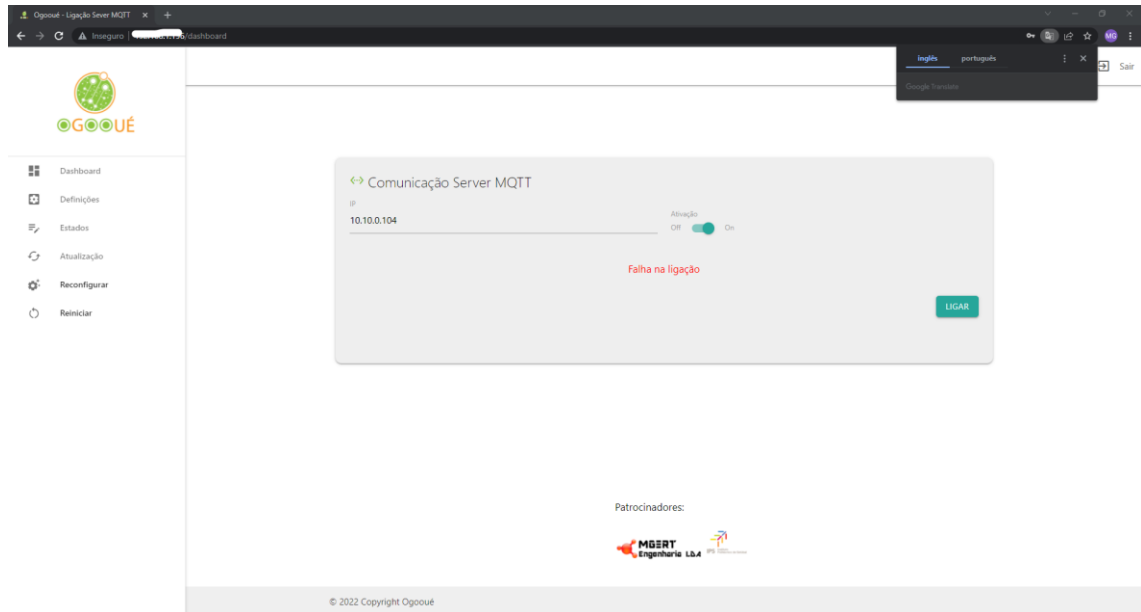


Figura 101 – Página falha na comunicação com o servidor MQTT.

5.19 Aplicação da Unidade Central

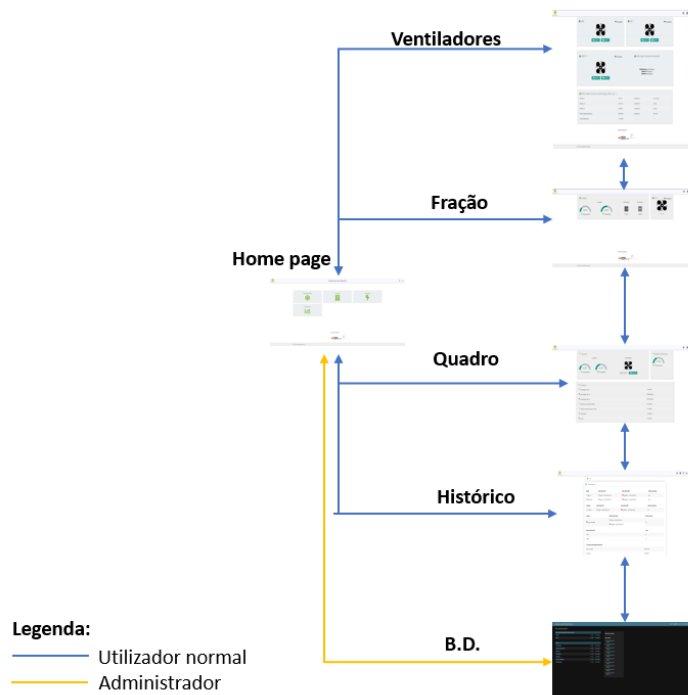


Figura 102 – Estrutura do servidor *Web* na Unidade Central.

Na Figura 102, pode-se observar a estrutura principal da aplicação *Web*, desenvolvida na Unidade Central, que permite gerir os dados recebidos do Módulo Remoto e do contador de

energia, possibilitando armazenar e definir algumas tarefas que irão acionar as saídas do Módulo Remoto, consoante o estado de alguns sensores ou através de horários definidos. A página principal é constituída por 5 submenus:

- “Ventiladores”;
- “Fração”;
- “Quadro”;
- “Histórico”;
- Modo administrador (Base de Dados).

5.20 Página Principal

A página principal (ver Figura 103) é a primeira página que o utilizador visualiza quando entra no endereço IP da Unidade Central. Esta permite aceder às outras páginas: Ventiladores, Fração, Quadro, Histórico e ao modo administrador (opção visível no canto superior direito).



Figura 103 – Menu página principal.

5.21 Página Ventiladores

Na Figura 104 está representada a página que possibilita visualizar o estado dos ventiladores, bem como ativar ou desativar o botão manual ou automático e consultar os dados do consumo, recebidos através do contador de energia.

Os ventiladores contêm 3 estados:

- Desligado (*LED* cinzento e imagem do ventilador parado);
- Ligado (*LED* verde e imagem do ventilador em movimento);
- Disparo proteção (*LED* vermelho e imagem do ventilador parado).

Este último estado ocorre, por exemplo, no caso de um disjuntor desligar. O ventilador da Unidade de Tratamento de Ar (UTA) apresenta uma exceção, incluindo, também, o estado de avaria do pressostato (*LED* amarelo e imagem do ventilador em movimento).

O botão manual e o automático nunca estão ativos em simultâneo. Sempre que o interruptor de segurança “IS1” (que aciona manualmente todas as saídas dos contactores) for ativado, todos os botões manuais e automáticos ficarão inativos na aplicação. O botão manual dos ventiladores permite acionar o ventilador manualmente. O botão automático do ventilador da UTA permite acionar o ventilador através de um horário definido. O botão automático do ventilador Unidade Exterior 1 (UE1) permite acionar o ventilador através de um horário, sensores e temperatura. O botão automático do Ventilador de Extração de Desenfumagem Piso -1 (VED P.-1) possibilita o funcionamento do motor na primeira velocidade, através de horários e do sinal do Monóxido de Carbono (CO) 50PPM, e assegura o funcionamento do motor na segunda velocidade, por meio do sinal de CO 100PPM e da Central de Detecção de Incêndio (CDI). Como estes ventiladores raramente entram em funcionamento, por norma é-lhes atribuído um horário, de modo a apresentarem um funcionamento normal em caso de incêndio ou mesmo no caso da extração do Monóxido de Carbono ser superior a 100PPM.

Quando está ativo, o sinal da CDI permite acionar o ventilador VED P.-1, desligando os outros dois. O sinal da CDI tem prioridade em relação aos outros sinais – CO 50PPM, CO 100PPM e botão automático.

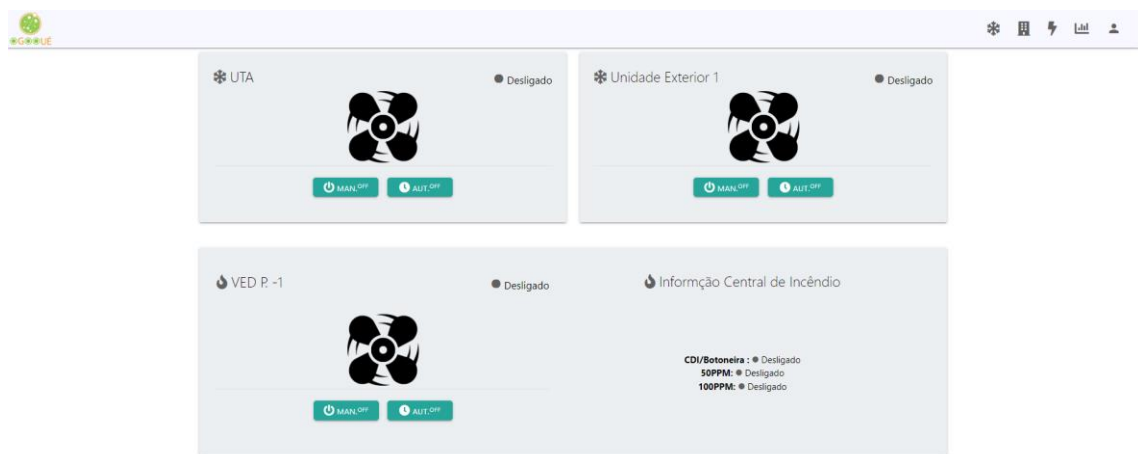


Figura 104 – Visualização da página ventiladores.

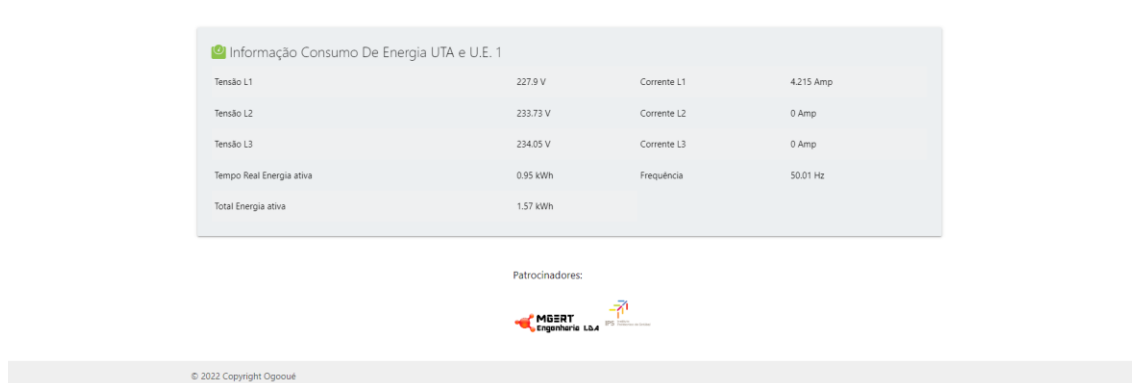


Figura 105 – Visualização da página do Consumo de energia.

Na Figura 105, pode-se observar a continuação da página representada na Figura 104, onde se pode consultar os dados do consumo dos ventiladores UTA e Unidade Exterior 1, enviados pelo contador de energia. As informações que podemos visualizar são:

- Tensões;
- Correntes;
- Frequência;
- Energia ativa (consumo) em tempo real;
- Total da energia ativa.

5.22 Página Fração

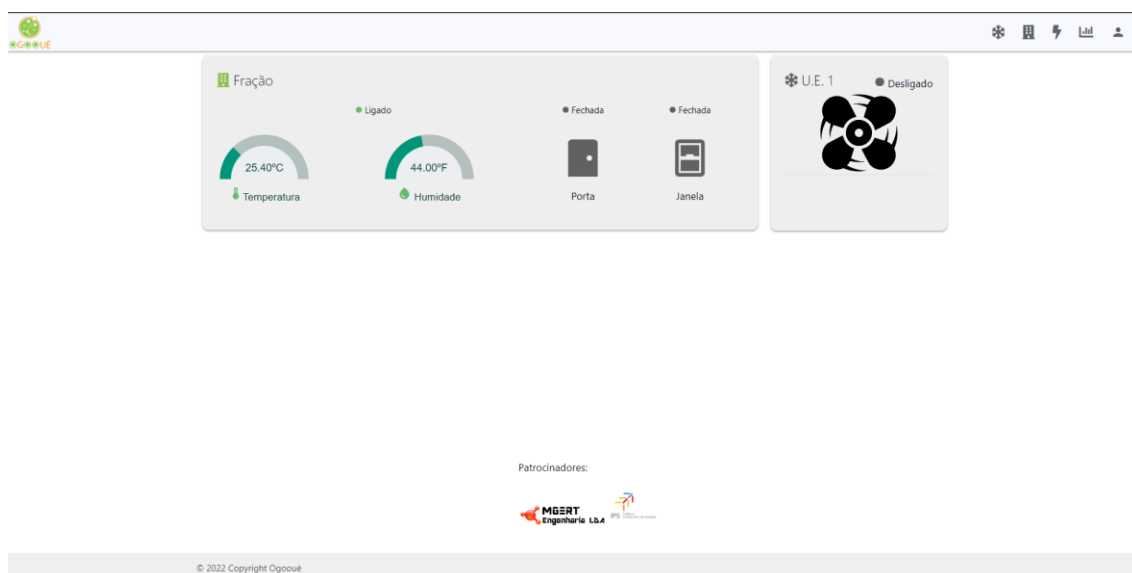


Figura 106 – Visualização da página fração.

Na Figura 106 está representado um modelo para a gestão de energia de uma divisão, de forma a termos um bom controlo da energia elétrica. Podemos observar que existem diversos sensores: sensor de temperatura, sensor de janela e porta. Em modo automático, o ventilador

Unidade Exterior 1 funciona sempre que os sensores da porta e da janela estão fechados, e é desligado caso os sensores da porta ou da janela estejam abertos, ou ainda através do sensor de temperatura (liga ou desliga, consoante o valor definido pelo utilizador na aplicação).

5.23 Página Quadro

Na Figura 107, pode-se observar a página que permite visualizar toda a informação relacionada com o quadro elétrico:

- Sinalização de fases;
- Tensão de comando;
- Alimentação da UPS;
- Estado da porta;
- Estado da comunicação com o Módulo Remoto;
- Estado do ventilador do quadro elétrico (QE);
- Temperatura do Módulo Remoto;
- Temperatura e humidade do próprio quadro elétrico.

O botão manual permite acionar manualmente o ventilador do QE. O botão automático permite acionar o ventilador, através do sensor de temperatura do Módulo Remoto e do sensor de temperatura do QE.

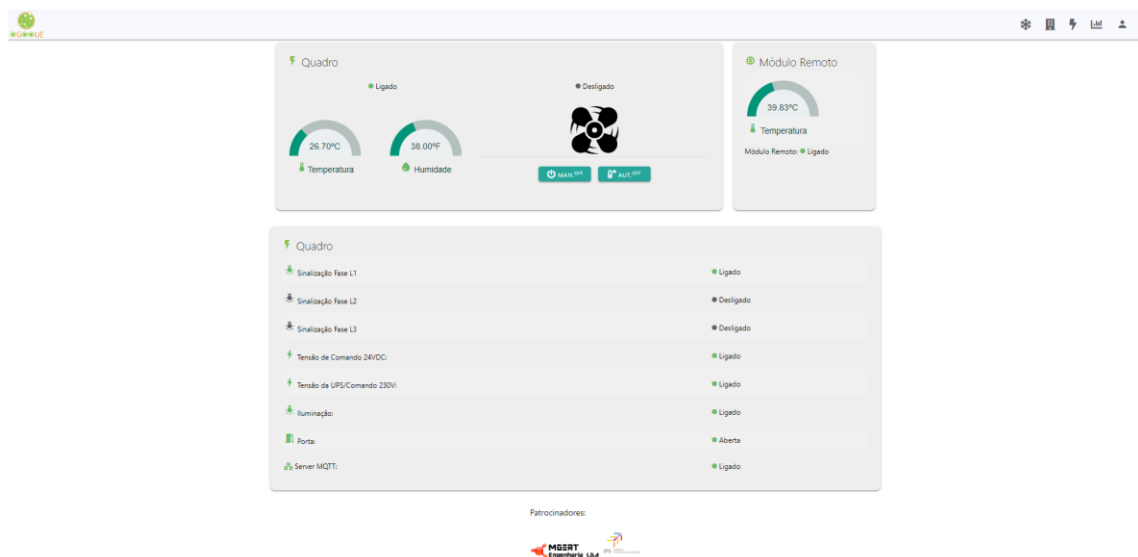


Figura 107 – Visualização da página do quadro.

5.24 Página Histórico

Botão	Data último ON	Data último OFF	Total de manobras
Manual	Ligado - 19:29 2022-06-22	Desligado - 19:29 2022-06-22	434
Automático	Ligado - 19:29 2022-06-22	Desligado - 19:42 2022-06-22	404

Contator	Data último ON	Data último OFF	Total de manobras
Contator	Ligado - 19:40 2022-06-22	Desligado - 19:42 2022-06-22	48

Avarias	Data Última Avaria	Total de Avarias
Disparo proteção	Ligado - 18:59 2022-06-22 Desligado - 18:59 2022-06-22	25

Sensor Última 24H	Total
Porta	0
Janela	0

Consumo De Energia Última 24H	Total
Total corrente I1	155.52 Amp
Consumo	0.050 kWh

Figura 108 – Visualização da página do Histórico.

Na Figura 108, está representada a página que possibilita visualizar todo o histórico dos ventiladores, nomeadamente:

- Botão (Manual e Automático);
- Contactor;
- Avaria;
- Sensores (porta e janela) nas últimas 24 horas;
- Contador de energia nas últimas 24 horas.

O histórico do botão (Manual e Automático) e do contactor inclui informações sobre a última vez que estiveram ligados ou desligados e o total do número de manobras efetuadas. O histórico da avaria contém informação sobre a última vez que o componente em questão esteve ligado ou desligado e o número total de avarias. O histórico dos sensores (porta e janela) contém informação do total de vezes que estiveram ligados nas últimas 24 horas. O histórico do contador de energia permite consultar o consumo de energia nas últimas 24 horas.

5.25 Página Administrador

A página representada na Figura 109 é gerada automaticamente pelo *Django* e permite que o utilizador consulte e parametrize algumas definições tais como:

- Os relógios, nos quais pode definir as horas a que pretende ligar ou desligar o equipamento;

- Definir a temperatura que se pretende para ligar e desligar o ventilador, de modo a tornar o ambiente confortável;
- Definir a potência máxima para o deslastre das cargas;
- Armazenar os dados dos sensores analógicos e digitais;
- Consultar os estados dos botões e do contador de energia;
- Definir prioridades dos equipamentos durante os deslastres.

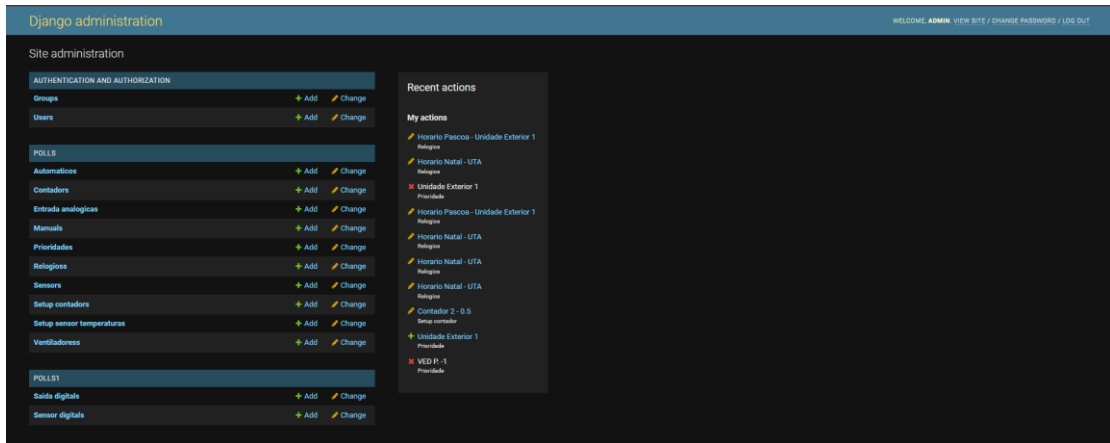


Figura 109 – Visualização da página do administrador.

6 Análise geral do sistema

Neste capítulo, apresenta-se o detalhe dos testes/ensaios realizados, com uma posterior exposição e discussão dos resultados obtidos. Para concluir, faz-se uma reflexão acerca do cumprimento dos objetivos que foram definidos inicialmente, face aos resultados alcançados.

6.1 Ensaios e Principais Resultados

Com o objetivo de verificar o correto funcionamento do protótipo e testar se o mesmo cumpre o propósito deste trabalho, foram realizados diversos ensaios na Unidade Exterior 1, que está associada a uma fração em que existem três sensores:

- Sensor de Temperatura;
- Sensor de janela;
- Sensor de porta.

Quando se realizam ensaios, é possível fazê-lo em modo manual (ex. ligar e desligar) ou automático (ex. em que o sistema tem um horário de funcionamento pré-definido), que permite trabalhar com os sensores indicados acima. Neste caso, optou-se pelo modo automático. Para tal, utilizou-se um Relógio que permite definir um determinado horário em que o ventilador é ligado e desligado. Na Figura 110, pode-se observar o ventilador da Unidade Exterior 1 em funcionamento, após definição do horário para efetuar a ligação.

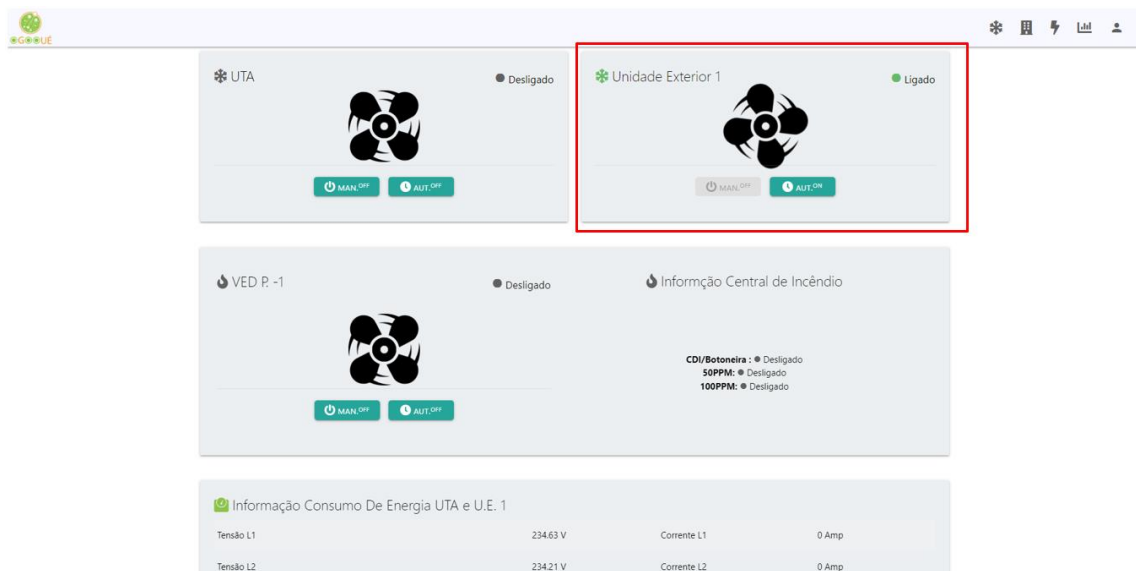


Figura 110 – Ventilador da Unidade Exterior 1 ligado.

Para que o ventilador funcione corretamente, é necessário que o sensor de temperatura tenha um valor pré-definido inferior à temperatura ambiente registada no momento. Os

sensores de porta e de janela também deverão estar fechados, a fim de conservar a temperatura definida. Nesse sentido, definiu-se um valor de *setpoint* para o sensor de temperatura de 23 °C, respeitando, assim, a condição deste valor ser inferior à temperatura ambiente que era registada no momento em que os testes foram efetuados, que era de 25.9 °C. Na Figura 111, pode-se observar o correto funcionamento do ventilador.

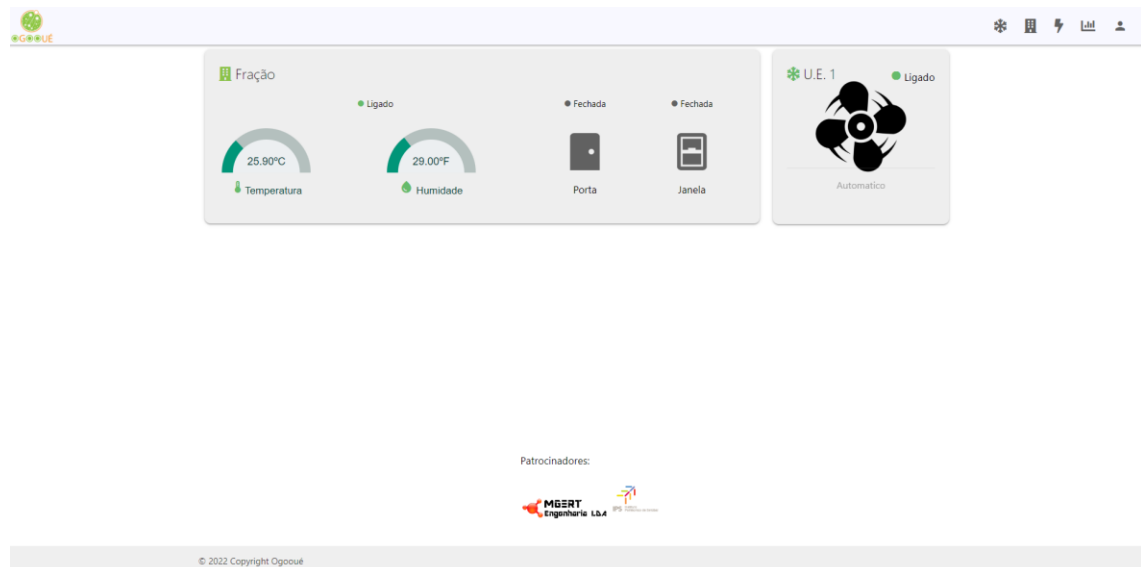


Figura 111 – Ventilador da UE1 ligado, com *setpoint* da temperatura 23 °C.

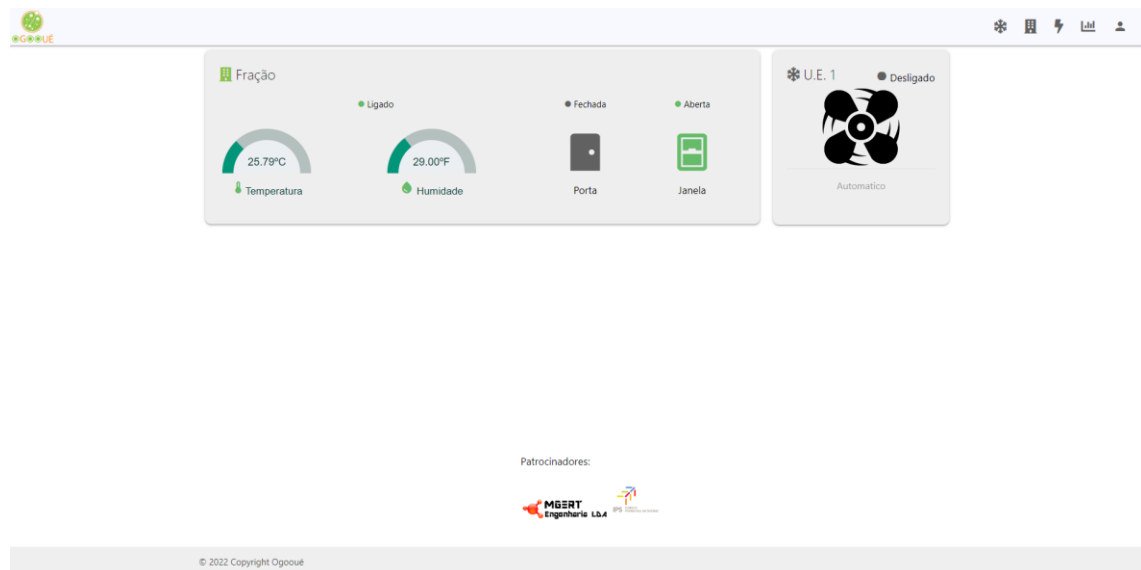


Figura 112 – Ventilador da UE1 desligado, com a janela aberta.

A fim de testar a condição anterior, realizou-se um teste no qual o sensor de janela detetou que a janela foi aberta. Tal como esperado, é registada uma alteração na temperatura, que faz com que o ventilador passe para o estado desligado. Na Figura 112, pode-se observar a sequência descrita anteriormente, que culmina no momento em que o ventilador da Unidade Exterior 1 fica desligado. Também é possível verificar o estado dos restantes sensores. Nesta

situação, o ventilador é desligado por motivos de poupança de energia, uma vez que, estando a janela aberta nesta fração, passa a haver circulação do ar com o exterior, alterando a temperatura da fração. Este teste foi realizado nas mesmas condições dos ensaios anteriores: temperatura ambiente de 25.79 °C e temperatura pré-definida de 23 °C.

Na Figura 113, está representada uma situação semelhante à anterior, mas, neste caso, foi o sensor de porta a detetar que uma porta estava aberta. Aqui, também o ventilador da Unidade Exterior 1 foi desligado, para que pudesse existir poupança de energia, em virtude da alteração da temperatura. Este teste foi realizado nas mesmas condições dos ensaios anteriores: temperatura ambiente de 25.6 °C e temperatura pré-definida de 23 °C.

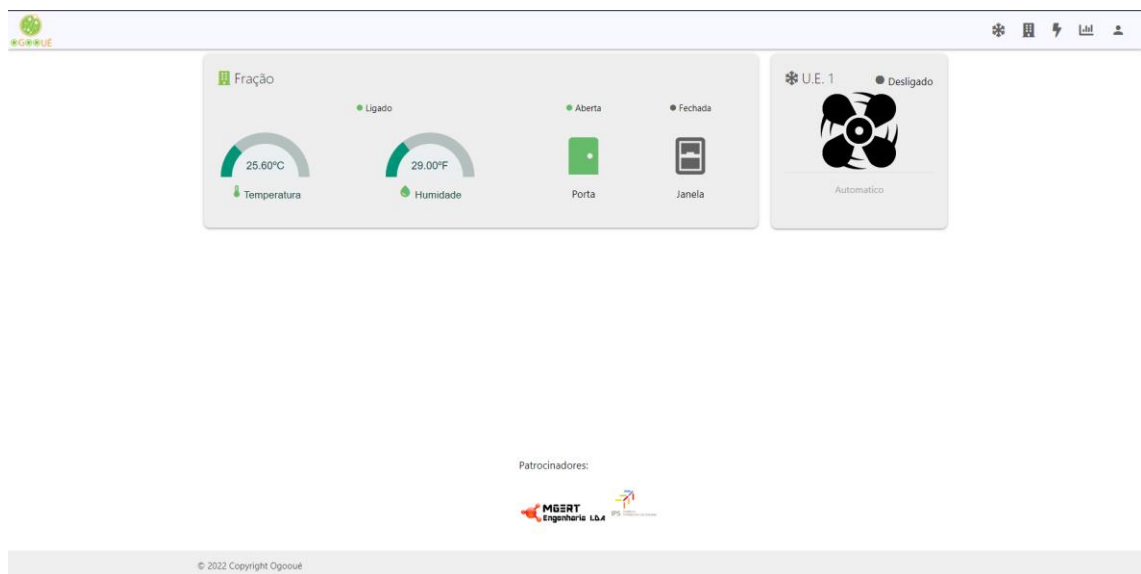


Figura 113 – Ventilador da UE1 desligado, com a porta aberta.

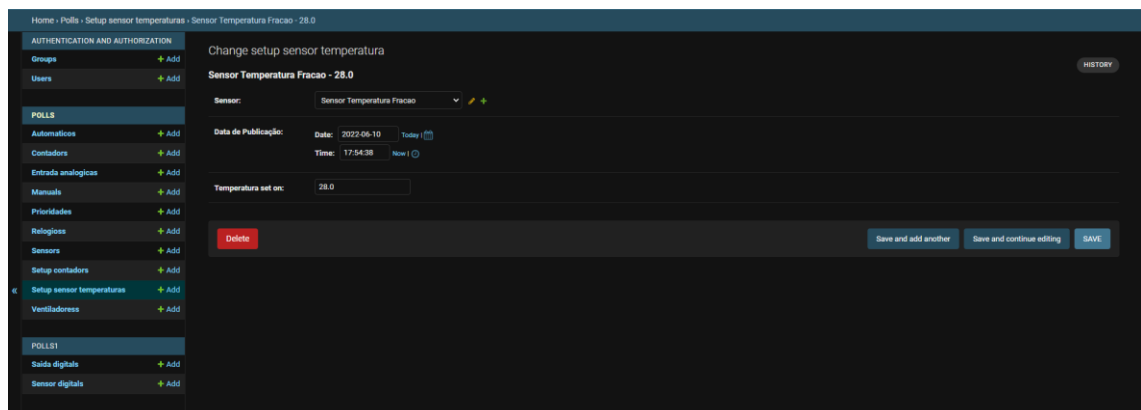


Figura 114 – Alterar o valor do *setpoint* da temperatura para 28.0 °C.

Na Figura 114, está representado um exemplo em que valor do *setpoint* de temperatura é igual ou superior ao valor da temperatura ambiente registada no momento dos ensaios, 25.7 °C, por forma a poder simular a situação em que a temperatura da fração é a desejável, de modo a desligar o ventilador em função da temperatura ambiente.

Na Figura 115, pode-se observar o momento em o ventilador estava ligado e passa para o estado desligado, em virtude da temperatura ambiente registada no momento, 25.7 °C, ser igual ou superior ao valor do *setpoint* definido anteriormente (ver Figura 114).

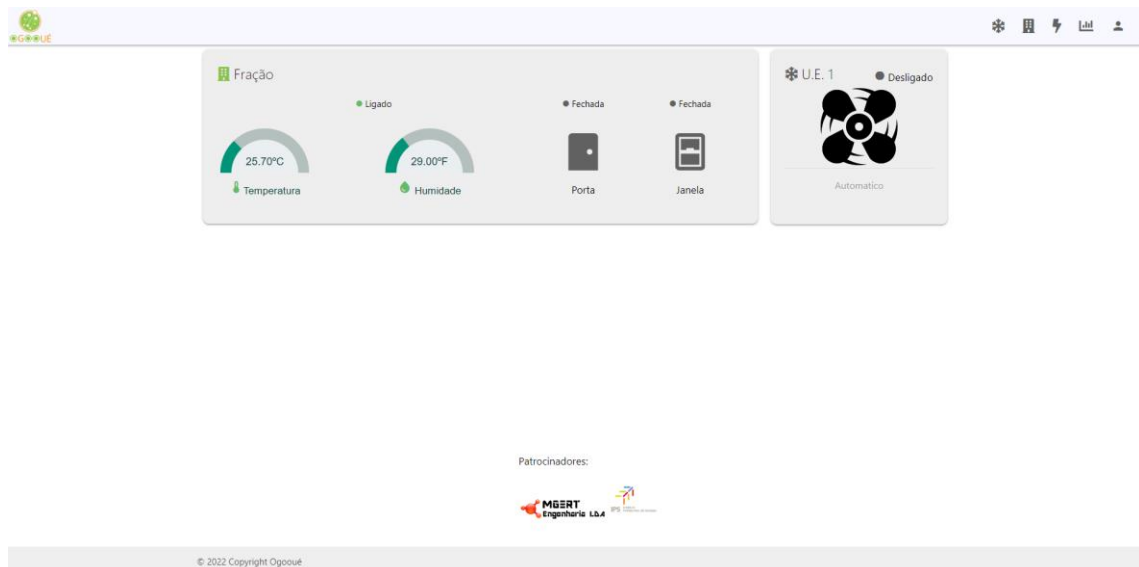


Figura 115 – Ventilador da UE1 desligado, com *setpoint* da temp. 28.0 °C.

Com o intuito de testar o comportamento do sistema no que toca ao consumo, com base na potência máxima definida pelo utilizador, realizou-se um outro ensaio. Neste caso específico, testou-se o consumo dos ventiladores, pois são equipamentos que contêm um contador de energia, que é necessário para medir a potência das diferentes cargas, sendo, por isso, essencial para a realização do ensaio. Para este teste, definiu-se um valor de potência máximo de 1.2 kW, que permite efetuar o deslastre das cargas, como se pode observar na Figura 116. O deslastre das cargas refere-se à gestão de diferentes cargas, de modo a não ultrapassar o nível de consumo possível, de acordo com o valor máximo de potência definido, isto é, o sistema efetua uma gestão das cargas, por forma a continuar a permitir o seu correto funcionamento, de acordo com o que é mais prioritário, conseguindo uma melhor gestão da energia e do consumo.

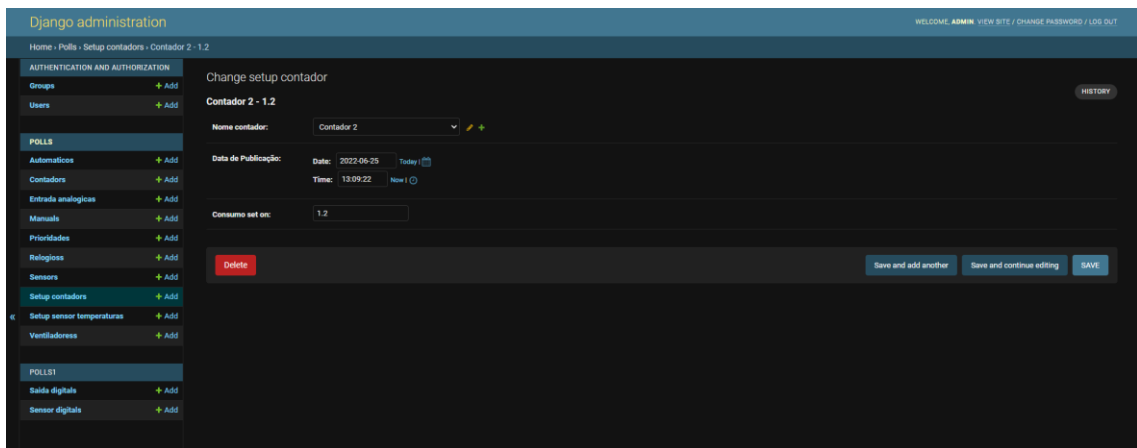


Figura 116 – Atribuição da potência máxima (consumo *set on*).

De seguida, definiu-se a ordem de prioridade para o deslastre das cargas (ventiladores). Pode-se adicionar uma ou mais cargas na ordem de prioridade do deslastre das cargas. Neste exemplo utilizou-se apenas uma carga: o ventilador UTA (ver Figura 117).

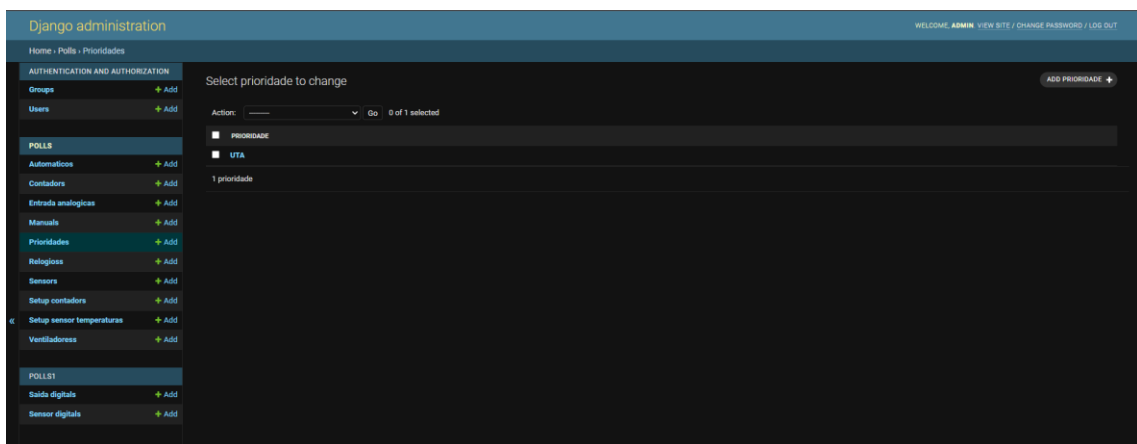


Figura 117 – Atribuição de prioridades nos ventiladores.

Ainda assim, na Figura 118, pode-se observar que temos duas cargas (ventiladores UTA e Unidade Exterior 1) a funcionar em simultâneo, ambas em modo automático e ligadas através de relógios, embora tenhamos definido apenas uma como prioritária. Tal acontece, porque o valor da energia ativa (consumo) em tempo real é de 0.97 kW, que é inferior ao valor de potência máxima definido anteriormente, o que possibilita que os dois ventiladores continuem ligados ao mesmo tempo.

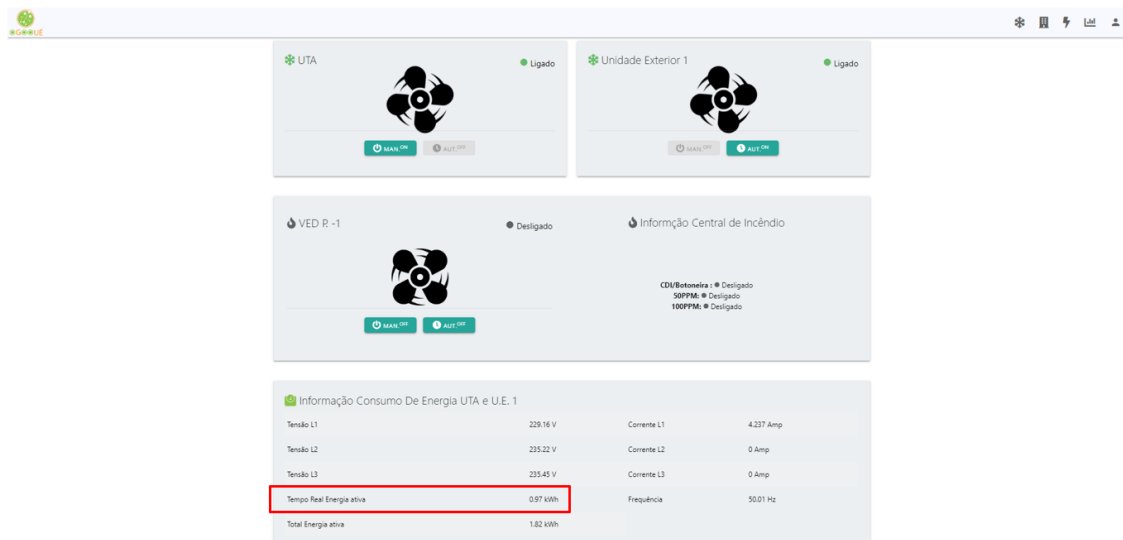


Figura 118 – Ventiladores UTA e Unidade Exterior ligados.

De seguida, aumentou-se a carga no ventilador Unidade Exterior 1 (ver Figura 119) e o valor da energia ativa (consumo) em tempo real passou para 1.82 kW. Logo após esta alteração, sucedeu-se o deslastre do ventilador UTA, pois o valor de consumo tornou-se superior ao que foi definido como valor de potência máxima. O ventilador Unidade Exterior 1 continuou ligado, pois não tinha sido definido como prioritário no deslastre.

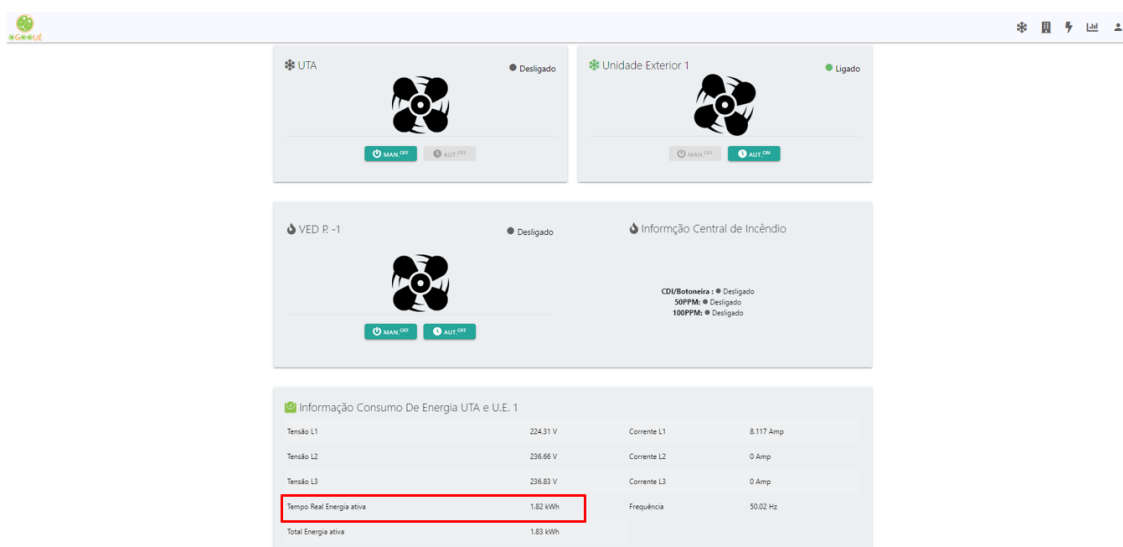


Figura 119 – Ventilador UE 1, com energia ativa em tempo real 1.82 kW.

Posteriormente, diminuiu-se a carga do ventilador da Unidade Exterior 1, sendo que o valor da energia ativa (consumo) em tempo real passou para 0.01 kW. Logo de seguida, sucedeu-se a reentrada em serviço do ventilador da UTA, como se pode verificar na Figura 120, porque com a diminuição da carga, o valor de consumo ficou abaixo do valor de potência máximo definido.

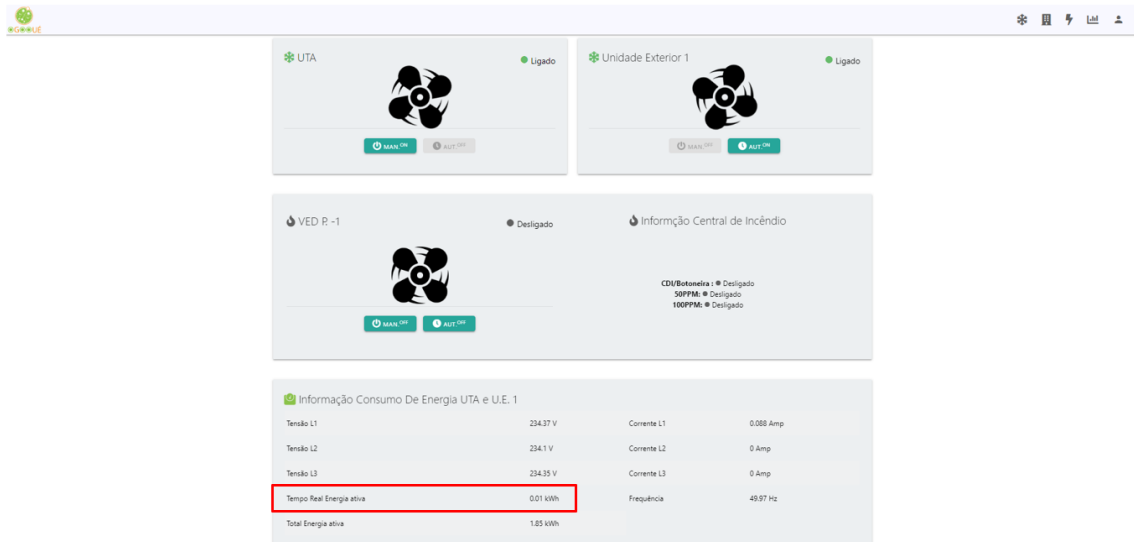


Figura 120 – Ventilador UE 1, com energia ativa em tempo real 0.01 kW.

Na Figura 121, está representado um outro teste que foi realizado com o objetivo de testar a eficiência energética do sistema. Para isso, simulou-se um incêndio, para que o motor elétrico pudesse arrancar na sua velocidade máxima, tendo em conta o variador de velocidade, de acordo com o que foi explicado nos capítulos 4 e 5. Nesta simulação, inicialmente, os dois ventiladores de AVAC estavam ligados, o Ventilador de Extração de Desenfumagem Piso -1 (VED P.-1) estava em modo automático e não existia nenhum sinal de incêndio.

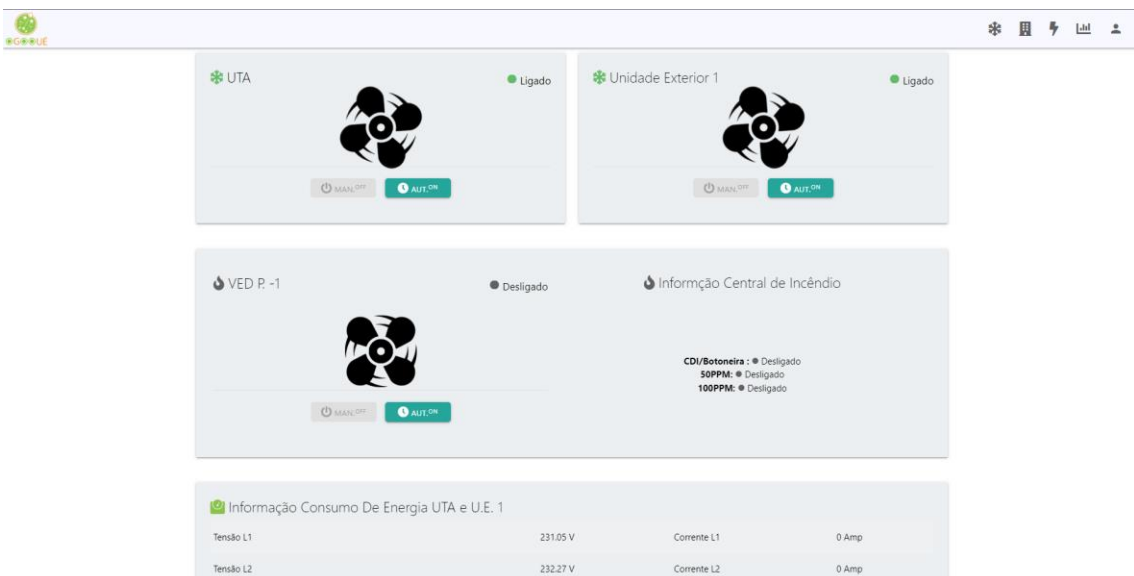


Figura 121 – Estado inicial dos ventiladores em ensaios.

Aquando da simulação de uma situação de incêndio (ver Figura 122), os ventiladores de AVAC que estavam ligados são desligados e o motor elétrico arranca para a velocidade máxima. Este é um modo de segurança, que permite desligar o AVAC em caso de incêndio, para evitar a sua propagação.

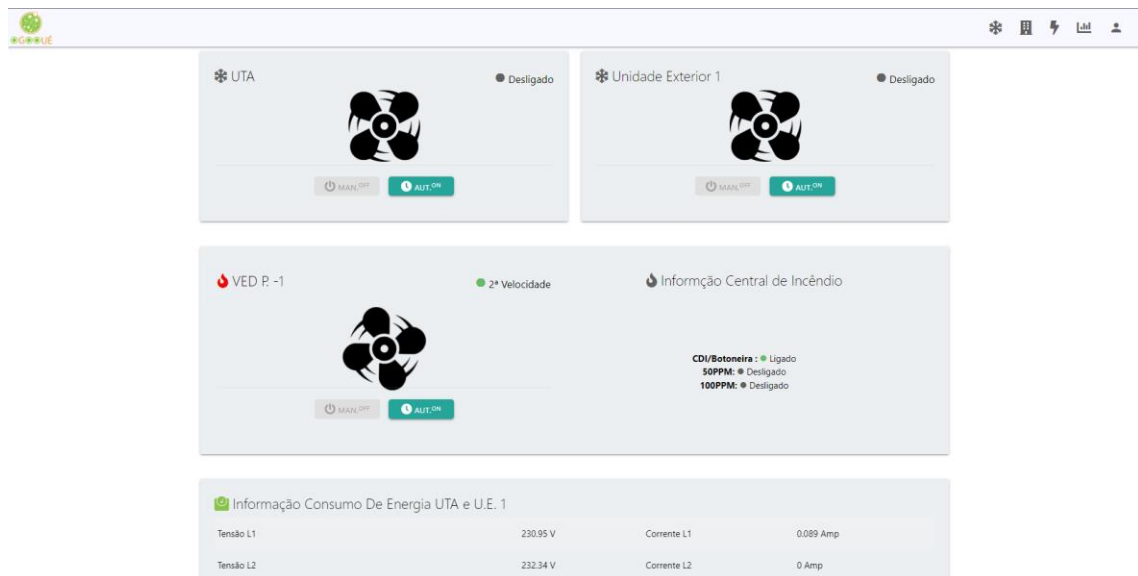


Figura 122 – Ventilador VED P.-1 ligado, com o motor elétrico na 2ª velocidade.

Quando é retirado o sinal de incêndio, os ventiladores de AVAC voltam a entrar em serviço (ver Figura 121).

6.2 Principais Conclusões dos Resultados Obtidos

No seguimento dos vários ensaios realizados, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- O sistema desenhado permite efetuar uma gestão da energia, mantendo o conforto do ambiente através de 3 sensores – sensor de temperatura, sensor de porta e sensor de janela. Além disso, o Relógio é, também, uma componente importante nesta equação, uma vez que possibilita a definição de horários nos quais se pretende que os diferentes ventiladores funcionem, além de permitir dosear a potência utilizada e, assim, conseguir uma poupança de energia. Além disso, esta funcionalidade é útil, porque permite, também, agendar períodos de férias, feriados e fins de semana, nos quais não é normalmente necessário que o sistema trabalhe na sua potência máxima. Por outro lado, se não fosse efetuada esta gestão da energia, o consumo de energia seria maior, uma vez que o ventilador estaria em constante funcionamento, mesmo não sendo necessário.
- O sistema desenhado permite efetuar uma gestão da energia, mantendo o conforto do ambiente através da vigilância da potência máxima (consumo). Isto possibilita que o utilizador consiga ter todas as suas cargas a funcionar no horário em que a tarifa é mais barata e efetue o deslastre dos ventiladores que não são essenciais, no horário em que tarifa é mais cara. Também permite não passar o limite da potência

contratada.

- O variador de velocidade é um equipamento bastante importante na gestão de energia, porque permite efetuar um arranque controlado até o motor atingir a velocidade máxima, sendo útil na eficiência de energia.

7 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais, tendo em conta as dificuldades encontradas e a resolução das mesmas. Também serão abordadas algumas sugestões para desenvolvimentos futuros.

7.1 Considerações Finais

Para criar e implementar este protótipo, começou-se por realizar o projeto da unidade de potencia e da unidade de comando. Na unidade de potência, efetuou-se a escolha dos principais equipamentos de proteção, nomeadamente: o interruptor diferencial, o interruptor, a porta fusível, o disjuntor, contador de energia e o variador de velocidade. Na unidade de comando, projetou-se a Unidade Central e o Módulo Remoto, que recebe e envia sinais permitindo o controlo dos relés e das bobines dos contactores. De seguida, realizou-se o desenvolvimento do *hardware* de acordo com o diagrama elétrico projetado, onde foi possível testar e verificar o estado dos sinais de entrada e saída do Módulo Remoto através do acionamento dos mesmos. O teste dos sinais de entrada e saída foi efetuado recorrendo a um código existente no Módulo Remoto, que alterava o estado do sinal de entrada consoante, por exemplo, se o disjuntor estava ligado ou desligado, possibilitando que o mesmo acionasse um sinal de saída.

O desenvolvimento do *software* dividiu-se em duas fases. Na primeira fase, criou-se o *software* do Módulo Remoto, permitindo visualizar o estado dos sinais de entrada, sensores de temperatura e acionar as saídas. Posteriormente, desenvolveu-se o *software* da Unidade Central, por forma a permitir o controlo do Módulo Remoto e a comunicação com o contador de energia.

Por fim, realizaram-se três ensaios no protótipo com o intuito de verificar a gestão de energia - o primeiro fez-se através da utilização dos três sensores (sensor de temperatura, sensor de porta e sensor de janela), que permitem que o sistema funcione de forma automática, acionando as saídas através dos sensores e dos horários definidos; para a realização do segundo ensaio foi efetuado o deslastre de cargas, o que possibilitou com que o sistema funcionasse de modo automático devido á vigilância da potência máxima; o último ensaio foi realizado através do variador de velocidade, que permite controlar o arranque do motor até este atingir a velocidade máxima.

No decorrer deste projeto surgiram algumas dificuldades. Uma delas ocorreu na fase de construção do *hardware*, uma vez que os sinais de entrada do Módulo Remoto sofrem

oscilações durante a transição do estado aberto para o fechado ou vice-versa. Adicionalmente, a fonte de alimentação que foi desenvolvida no Módulo Remoto aproveitando a tensão de 24 VAC do transformador, também apresentava instabilidade. Para solucionar a primeira questão, adicionou-se uma resistência *pull down*; para resolver o tema da instabilidade, utilizou-se uma fonte de alimentação estável. A ambientação ao sistema operativo *Linux* [66] também constituiu um desafio, dada a pouca experiência de trabalho com a linguagem *python*.

No final, considera-se que foi possível ultrapassar as dificuldades com sucesso, atingindo os objetivos definidos.

7.2 Perspetivas de Trabalho Futuro

Não obstante os resultados alcançados, o presente trabalho tem, ainda, margem para progressão e desenvolvimentos futuros.

Assim, considero que o servidor *broker*, que está atualmente instalado na Unidade Central, poderá futuramente trabalhar numa *Cloud*, por exemplo a *Cloud HiveMQ Cloud*. [67]

Na aplicação desenvolvida no Módulo Remoto, o utilizador tem que digitar o nome da rede de *WiFi* à qual se quer ligar. Uma possível melhoria será aparecer a lista das redes *WiFi* alcançáveis pelo Módulo Remoto, de modo a que seja necessário apenas selecionar a rede pretendida.

A aplicação IFTTT (*If This Then That*) [68] permite que os aplicativos, dispositivos e serviços trabalhem em conjunto. De futuro, poder-se-ia utilizar esta aplicação, por forma a criar automatismos. Por exemplo, sempre que um utilizador entrar numa determinada fração, um gabinete ou sala, o ar condicionado ser ligado automaticamente, desligando-se quando este abandonar o local. Esta funcionalidade poderia ser controlada pelo próprio utilizador, através de um dispositivo móvel com GPS.

Seria igualmente interessante desenvolver uma aplicação móvel através do *React Native* [69], que permitisse a comunicação entre a Unidade Central e o Módulo Remoto, podendo consultar-se toda a informação acerca da gestão da energia. Poder-se-ia, também, desenvolver uma aplicação no *Raspberry* para o *desktop* da Unidade Central, através do *Electron JS* [70] que permite a comunicação entre a Unidade Central e o Módulo Remoto, podendo consultar-se toda a informação sobre a gestão da energia.

Uma outra melhoria seria eliminar o cliente MQTT, que existe no *Javascript*, e utilizar o consumidor que contém o cliente MQTT em *backend*, enviando, também, todas as informações que o cliente anterior tratava.

Na aplicação *Web* da Unidade Central, seria positivo permitir que o utilizador pudesse

selecionar os dias da semana em que pretende ligar ou desligar os ventiladores. Ainda nesta aplicação, poder-se-ia utilizar a biblioteca *Chart.js* [71] para a representação gráfica das informações sobre a gestão de energia e, também, para visualizar essa informação em tempo real.

Seria interessante programar o sistema por forma a ter em conta as diferentes tarifas do mercado, efetuando a gestão da energia de acordo com essa informação. Também seria positivo permitir que o utilizador consultasse o valor energético em tempo real, a fim de controlar melhor os seus consumos. Atualmente, o mercado não dá resposta a nenhuma destas questões.

Para conseguir uma gestão mais eficiente da energia, poder-se-á utilizar a verificação e controlo das horas de ponta (evitar), cheias, vazio normal e super vazio (prever a necessidade de evitar a degradação das condições de conforto ao minimizar o funcionamento em horas de ponta).

Por fim, num projeto futuro, seria interessante utilizar UPS ao invés de uma *Power bank*, já que esta última tem uma menor capacidade de armazenamento de energia, não sendo, por isso, indicada para uso industrial.

Bibliografia

- [1] “Visão geral AVAC,” France air, [Online]. Available: <https://www.france-air.pt/>. [Acedido em junho de 2020].
- [2] “Vista geral AVAC,” Delta-neo, [Online]. Available: <http://www.delta-neu.co.uk/>. [Acedido em junho de 2020].
- [3] Schneider, “Relé inteligente compacto zelio logic - 12 e s - 24 v ca – relógio,” [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/SR2B121B/rel%C3%A9-inteligente-compacto-zelio-logic-12-e-s-24-v-ca-rel%C3%B3gio-ecr%C3%A3/>. [Acedido em Junho 2022].
- [4] J. L. Sousa, “Utilização Racional de Energia em Climatização,” Setubal , 2019.
- [5] “Vista geral ESP32,” Espressif, [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/overview>. [Acedido em junho de 2020].
- [6] “Vista geral Raspberrypi,” Raspberrypi, [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/>. [Acedido em junho de 2020].
- [7] “Vita geral ecrã,” Joy-it, [Online]. Available: <https://joy-it.net/en/products/RB-LCD-7-2>. [Acedido em junho de 2020].
- [8] “Vista geral Wifi,” Wi-fi Alliance, [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/specifications>. [Acedido em junho de 2020].
- [9] Mauser, “Adaptador USB para RS485,” Mauser, [Online]. Available: https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=641_300&products_id=096-9094. [Acedido em 25 Abril 2022].
- [10] E. Systems, “ESP32-S2 Technical Reference Manual,” 2021.
- [11] D. I. a. A. Ibrahim, The Official ESP32 Book, Elektor Publication, 2018.
- [12] E. Systems, “ESP32-S2 Family Datasheet,” 2020.
- [13] Grupo JTAG Technologies, “We are bounday-scan,” JTAG, [Online]. Available: <https://www.jtag.com/>. [Acedido em Junho 2022].
- [14] Espressif, “ESP32-S2-Saola-1,” [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/hw-reference/esp32s2/user-guide-saola-1-v1.2.html>. [Acedido em 2022].
- [15] Espressif, “esp32-s2-devkitc-1-v1-pinout,” [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/_images/esp32-s2-devkitc-1-v1-pinout.png.
- [16] G. Halfacree, “The official Raspberry Pi Beginner's Guide,” Raspberry Pi PRESS, 2020.
- [17] Rasperry Pi Foundation, “Teach, learn, and make with the Raspberry Pi Foundation,” Raspberry Pi Foundation, 2022. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>.

- [18] Rasperry Pi, “datasheet Rasperry Pi 4 Model B.,” Copyright 2019 Rasperry Pi (Trading) Ltd, 2019.
- [19] Diagrama de pinos, “Rasperry Pi GPIO pinout,” [Online]. Available: <https://pinout.xyz/>. [Acedido em Junho 2022].
- [20] Rasperry Pi, “BCM2711 ARM Peripherals.,” Rasperry Pi (Trading) Ltd., 2022.
- [21] Site Electronicwings, “Rasperry Pi UART Communication using Python and C,” [Online]. Available: <https://www.electronicwings.com/rasperry-pi/rasperry-pi-uart-communication-using-python-and-c>. [Acedido em Junho 2022].
- [22] Grupo AL, “Caixas BRES,” 2014. [Online]. Available: <https://www.al-sa.pt/pt-pt/Produtos/StoreCAT/List/0/CategoryID/1048/Level/a>. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [23] Grupo Hager, “Catálogo Geral Hager 2,” PEFC, 016-2017.
- [24] Grupo Schneider Electric, “A9R11491 - Acti9 ID Interruptor Diferencial,” [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9R11491/acti9-iid-interruptor-diferencial-4p-100a-30ma-classe-ac/?range=7559-acti-9-iid&selected-node-id=12144438694>. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [25] Grupo Phoenix Contact, “Bornes fusíveis - UKK 5-HESI (5X20),” [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/terminal-de-seguranca-ukk-5-hesi-5x20-3007204>. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [26] Grupo Schneider Electric, “Porta fusíveis seccionáveis 3P+N,” [Online]. Available: <https://www.se.com/br/pt/product/A9N15657/portafusiveis-seccionaveis-3p+n-8-5x31-5-400v/?range=61357-sti&selected-node-id=12143508608>. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [27] Grupo Schneider Electric, “Fuse-Disconnecter STI 1 pole,” [Online]. Available: <https://www.se.com/br/pt/product/A9N15635/acti9-fusedisconnector-sti-1-pole-10-a-for-fuse-8-5-x-31-5-mm/?range=61357-sti&selected-node-id=12143508608>. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [28] Grupo Schneider Electric, “Sinalizador luminoso de tensão trifásica Acti9 iIL,” [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9E18327/sinalizador-luminoso-de-tens%C3%A3o-trif%C3%A1sica-acti9-iil-vermelha-230400-v-ca/?filter=business-5-residencial-e-pequeno-com%C3%A9rcio&parent-subcategory-id=1645&range=7567-iil&selected-node-id=12143457286>.
- [29] Grupo Socomec, “Datasheet Countis E23-E24,” [Online]. Available: https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6_gestion_energie/countis/countis_e/COUNTIS-E23-E24_INSTALLATION-AND-OPERATING-MANUAL_2020-07_545877A_EN.pdf. [Acedido em Fevereiro de 2022].
- [30] Grupo WEG, “Motor Protector BU MPW18-3,” [Online]. Available: <https://www.weg.net/catalog/weg/US/en/Controls/Motor-starters-and-protection/Motor-protective-circuit-breakers/MPW---Motor-protective-circuit-breaker/MOTOR-PROTECTOR-BU-MPW18-3-U016/p/12429373>. [Acedido em Maio 2022].

- [31] Grupo WEG, "CONTATOR CWB9-11-30D23," [Online]. Available: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Contatores/Pot%C3%Aancia/Contatores-CWB/CONTATOR-CWB9-11-30D23/p/12220434>. [Acedido em Maio 2022].
- [32] Grupo Schneider Electric, "iCT 25A 2NA 230/240 V 50 Hz," [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9C20732/ict-25a-2na-230-240-v-50-hz/>. [Acedido em Maio 2022].
- [33] Grupo Schneider Electric, "Acti9 iC60L - Disjuntor - 3P - 16A - Curva C," [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9F94316/acti9-ic60l-disjuntor-3p-16a-curva-c-15000a-iec-608981-25-ka-iec-609472/>. [Acedido em Maio 2022].
- [34] Grupo Schneider Electric, "Acti9 iC60L - Disjuntor - 3P - 16A - Curva C," [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9P64616/acti9-ic40n-disjuntor-1p+n-16a-curva-d-6000a-iec-608981-10-ka-iec-609472/>. [Acedido em Maio 2022].
- [35] Grupo Schneider Electric, "Acti9 - Contacto duplo deA-Sinalização comutável iOF/SD+OF," [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9A26929/acti9-contacto-duplo-deasinaliza%C3%A7%C3%A3o-comut%C3%A1vel-iof-sd+of-ca-cc/>. [Acedido em Maio 2022].
- [36] Grupo Schneider Electric, "Acti9 - ContactoAuxiliar iOF - 1Aberto/Fechado - 40A 125," [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product/A9A26924/acti9-contactoauxiliar-iof-1aberto-fechado-40a-125-ca-cc/>. [Acedido em Maio 2022].
- [37] Site Setta, "BLOCO CONTATO AUXILIAR FRONTAL 1NA+1NF ACBF-11 WEG," [Online]. Available: <https://www.lojasetta.com/bloco-contato-auxiliar-frontal-1na+1nf-acbf-11-weg/177015/produto/>. [Acedido em Maio 2022].
- [38] P. S. Sousa, "Projecto de Conversores Aplicados às Energias Renováveis," 2020.
- [39] Grupo ABB, "Manual do utilizador - Conversores de frequência ACS150," 2010.
- [40] Grupo Schneider Electric, "Schneider Electric A9E18070 Image," [Online]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/A9E18070/linear-switch-issw-1-c-o-20a-250-v-ac-2-positions/?filter=business-4-low-voltage-products-and-systems&parent-subcategory-id=1640&range=61713-acti9-issw&selected-node-id=12368260829>. [Acedido em Maio 2022].
- [41] Grupo Phoenix Contac, "Power supply unit - STEP-PS/ 1AC/24DC/2.5," [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/pt-pt/produtos/power-supply-step-ps-1ac24dc25-2868651>. [Acedido em Maio 2022].
- [42] Mauser, "Fonte de alimentação USB-C," [Online]. Available: https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1667_2620_2960&products_id=035-3400. [Acedido em Maio 2022].
- [43] Bytronic, "Equipments for home environment," Bytronic s.r.l., Cairate, 2019.

- [44] Mauser, “Powerbank Eurotech S3 PRO 2000mAh,” [Online]. Available: https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=74_1982&products_id=047-2887. [Acedido em Maio 2022].
- [45] Site A. Reis, “Armadura T5 LED 30cm 4W 340Lm 6000K,” [Online]. Available: https://www.armazensreis.pt/pt/iluminacao-de-tecto/armadura-t5-led-30cm-4w-340lm-6000k_p2453.html?id=1141&cat=506&pc=1. [Acedido em Maio 2022].
- [46] Mauser, “Interruptor para bar/roupeiro/armário 250V 2A,” [Online]. Available: https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=324_1401_707&products_id=302-1350. [Acedido em Maio 2022].
- [47] Site Componentes101, “DHT11 Sensor Pinout,” Components101., 2021. [Online]. Available: <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>. [Acedido em Julho 2022].
- [48] Site Satkit, “Sensor de Humidade e Temperatura,” [Online]. Available: https://satkit.pt/pt-pt/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11-arduino-compativel.html?language=pt-pt¤cy=EUR&gclid=EAlaIqobChMI_N26lIP59wIVWJBoCR3gagi-EAQYASABEglap_D_BwE. [Acedido em Maio 2022].
- [49] Grupo Phoenix Contac, “Módulo de relé - PLC-RSC-230UC/21/EX,” [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/modulo-de-rele-plc-rsc-230uc21ex-2909526>. [Acedido em Maio 2022].
- [50] Grupo Phoenix Contact, “Módulo de relé - PLC-RSC- 24DC/21,” [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/modulo-de-rele-plc-rsc-24dc21-2966171>. [Acedido em Maio 2022].
- [51] Grupo Weidmuller, “DRM570730LT,” [Online]. Available: <https://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=7760056104>. [Acedido em Maio 2022].
- [52] Site Grandado, “817 optoacoplador 4 canais,” [Online]. Available: https://pt.grandado.com/products/817-optoacoplador-4-canais-placa-de-isolamento-de-tensao-de-controle-de-tensao-modulo-de-comutacao-driver-modulo-de-isolamento-optico?gclid=Cj0KCQjwhLKUBhDiARIsAMaTLnG_cRQdsUgL61tRccnU3UJYHNYKFZzupZJ2nl1UsTtP8C9Lle89lG8aAt. [Acedido em Maio 2022].
- [53] Site Orbitadigita, [Online]. Available: https://www.orbitadigital.com/pt/cctv/incendio/dmtech/acessorios/15599-dmtech-dmt-rs485-usb-conversor-rs-485-a-usb.html?gclid=CjwKCAjwryUBhBSEiwAGN5OCPgcue_DPKjOTFclCtqtlymKAFcKgZ-6vvV0ktgnvLCUBywnK7VdZRoCobQQAvD_BwE. [Acedido em Maio 2022].
- [54] Grupo Joy-it. [Online]. Available: <https://www.joy-it.net/en/products/RB-LCD-7-2>. [Acedido em Maio 2022].

- [55] Organização JSON, “Linguagem de Programação JSON,” 2022. [Online]. Available: <https://www.json.org/json-en.html>. [Acedido em 2022].
- [56] Organização Pluralsight, “Linguagem de Programação Javascript,” 2022. [Online]. Available: <https://www.javascript.com/>.
- [57] Grupo MQTT, “MQTT: The Standard for IoT Messaging,” 2022. [Online]. Available: <https://mqtt.org/>.
- [58] Organização RabbitMQ, “Messaging that just works — RabbitMQ,” RabbitMQ, [Online]. Available: <https://www.rabbitmq.com/>. [Acedido em 2022].
- [59] Organização Django Software Foundation, “The web framework for perfectionists with deadlines,” Threespot & Andrewv, [Online]. Available: <https://www.djangoproject.com/>.
- [60] Organização Django, “Django Channels — Channels 3.0.4 documentation,” Django, 2021. [Online]. Available: <https://channels.readthedocs.io/en/stable/>. [Acedido em 2022].
- [61] Grupo Ask Solem & contributors, “First steps with Django — Celery 5.2.6 documentation,” 2021. [Online]. Available: <https://docs.celeryq.dev/en/stable/django/first-steps-with-django.html>.
- [63] Organização SQLite Consortium, “SQLite Home Page,” SQLite Consortium , 2022. [Online]. Available: <https://www.sqlite.org/index.html>. [Acedido em Julho 2022].
- [64] Jonas Berg Revision, “MinimalModbus,” 2021. [Online]. Available: <https://minimalmodbus.readthedocs.io/en/stable/>.
- [65] Grupo Socomec, “MODBUS tables of Counts E24,” Socomec, [Online]. Available: https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6_gestion_energie/countis/countis_e/Countis_E28_48503055.html. [Acedido em Julho 2022].
- [66] Raspberry Pi, “Raspberry Pi OS,” Raspberry Pi, [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/software/>. [Acedido em Julho 2022].
- [67] Site HiveMQ, HiveMQ , 2022. [Online]. Available: <https://www.hivemq.com/mqtt-cloud-broker/>.
- [68] Site ifttt, [Online]. Available: <https://ifttt.com/>. [Acedido em 2022].
- [69] Site reactnative, 2022. [Online]. Available: <https://reactnative.dev/>.
- [70] Site electronjs, 2022. [Online]. Available: <https://www.electronjs.org/>.
- [71] Site Chart, “Chart.js Open source HTML 5,” [Online]. Available: <https://www.chartjs.org/>. [Acedido em Julho 2022].

Anexo 1 - Diagrama Elétrico do Protótipo



Endereço: Rua José Fontana, nº74 Zona Industrial Santa Marta de Corroios
Código Postal: 2845 - 408 Amora
Tel: 962 948 508
Site: www.mgert.pt

PROJECTO - Tese

Obra: Casa Abrigo - Bragança
Designação QE: **Q.AVAC/DESENF.**

Legenda dos equipamentos:

D - DISJUNTOR
DM - DISJUNTOR MOTOR
F - SECCIONADOR FUSÍVEL
H - SINALIZAÇÃO
ID - INTERRUPTOR DIFERENCIAL
KM - CONTACTOR
TI - TRANSFORMADOR DE CORRENTE (T.I.)
VV - VARIADOR DE VELOCIDADE

Un: 400V

IP: 44

IK: 09

Icc: 10kA

In: 40A

Entrada: Cima

Saídas: Cima

Orientador: Professor Jorge Martins
Projecto: Helder Mateus
Criado em: Setembrol 2020



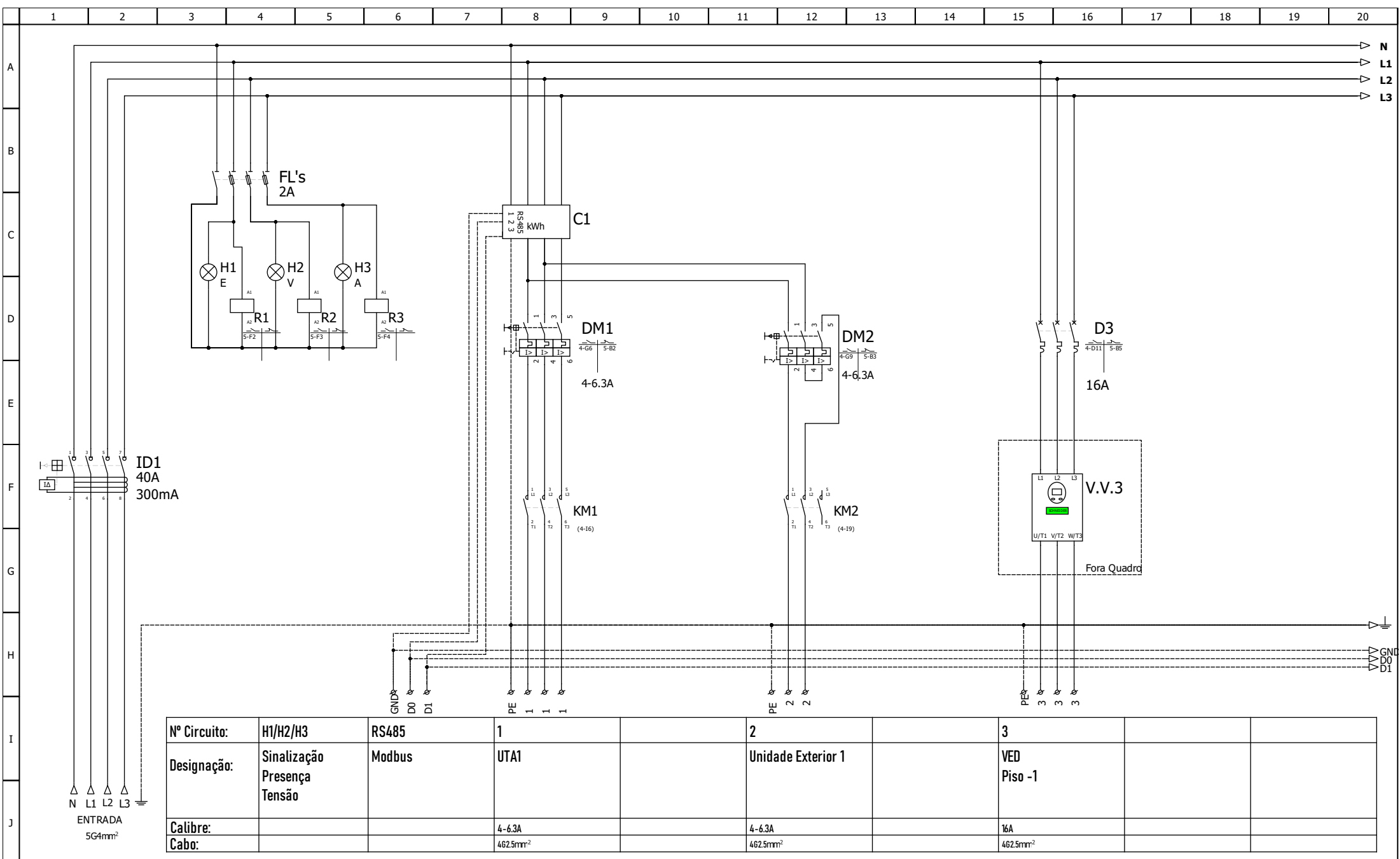
Author: Hélder Mateus
Date: 2020-09-09

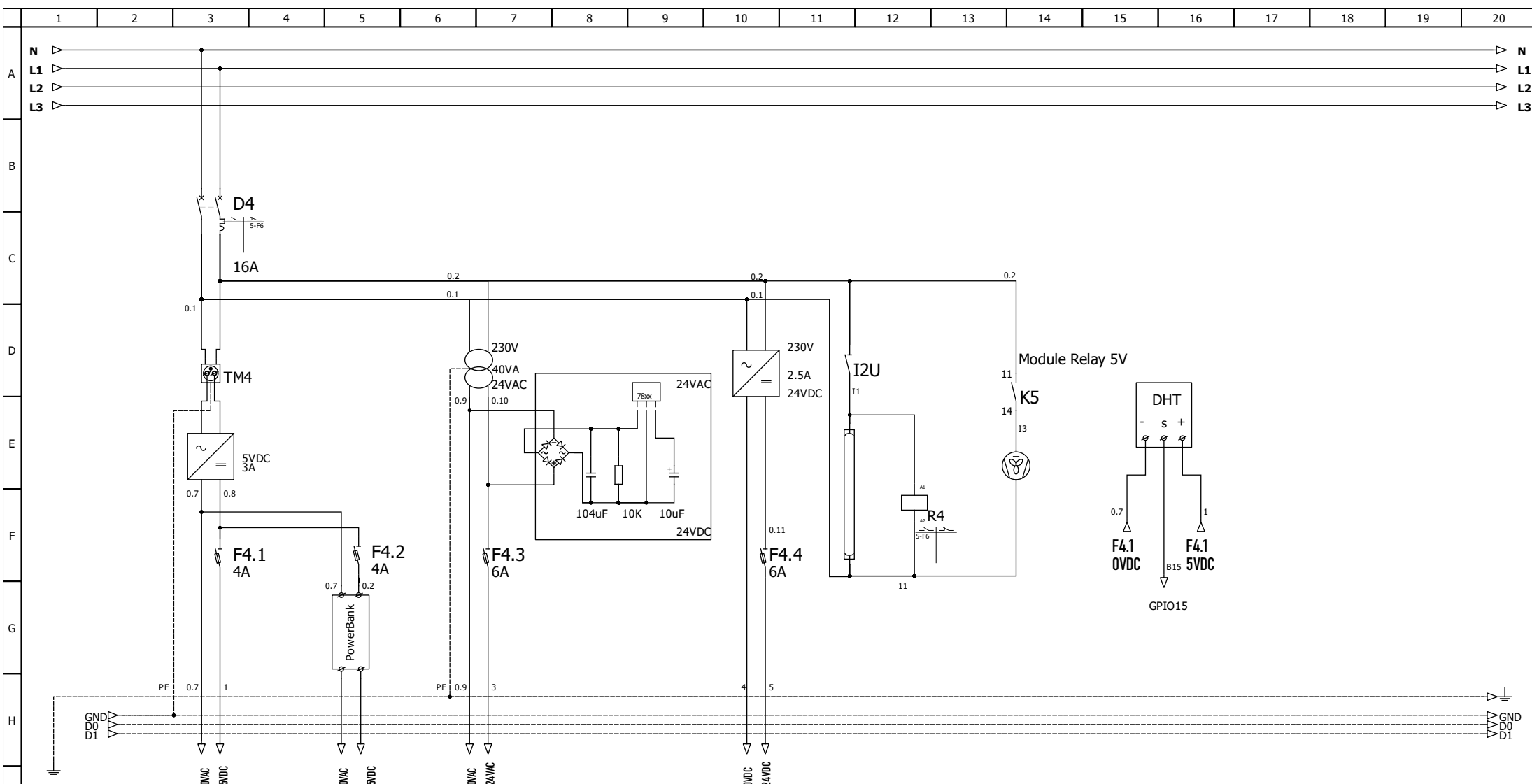
Q.AVAC/DESENF.

File: Tese

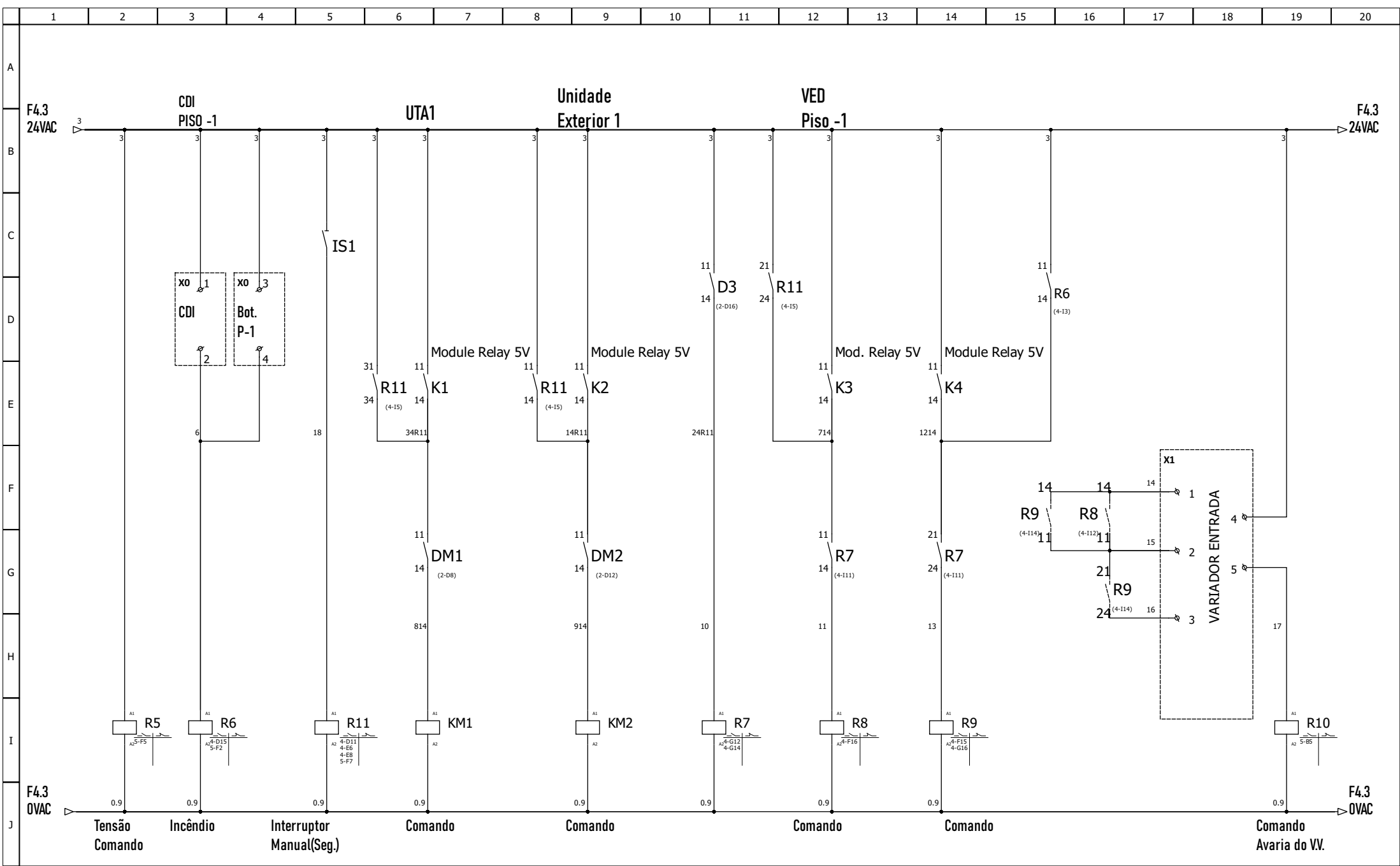
Folio: 1/6

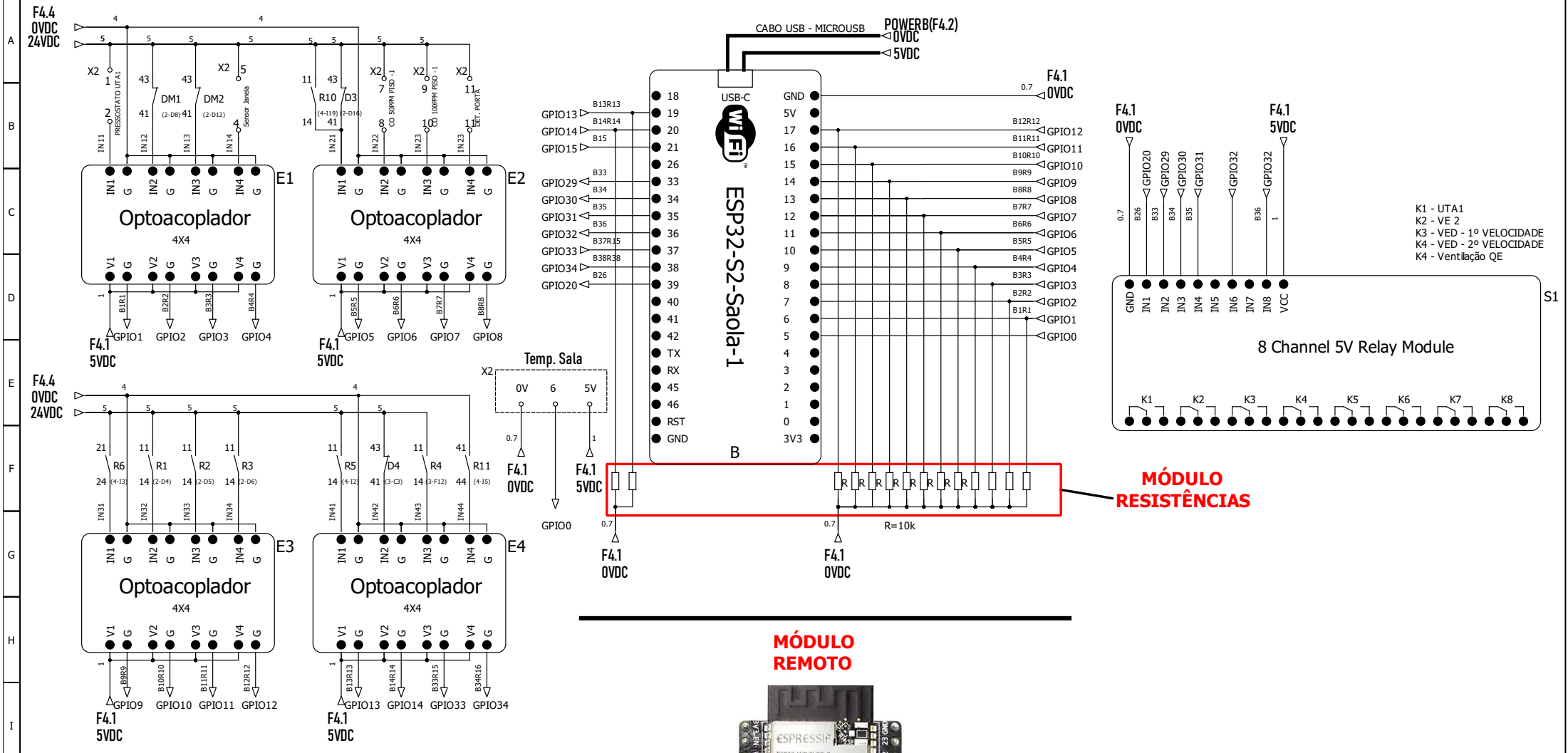




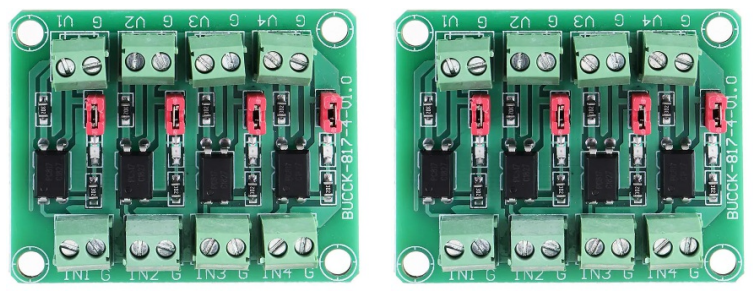


Nº Circuito:	4.1	4.2	4.3	4.4					
Designação:	Comando 5VDC ESP32 S2/Relays Opto coupler	PowerBank Raspberry pi/ Consola/ESP32	Comando 24VAC	Comando 24VDC	Iluminação do Quadro	Ventilação do Quadro	Temperatura do Quadro		
Calibre:	4A		4A	4A					
Cabo:									





SENSORES (ENTRADAS)

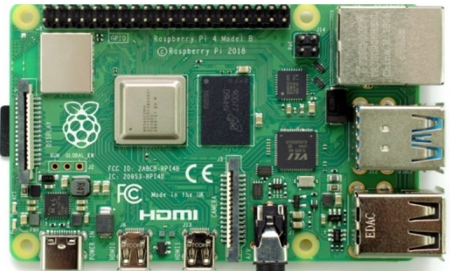
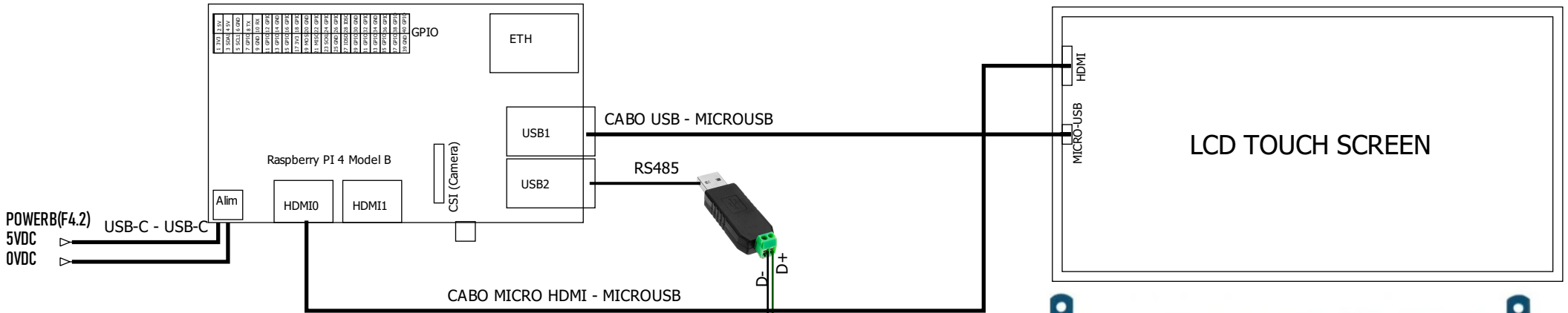


MÓDULO REMOTO



CONTADORES (SAÍDAS)





UNIDADE CENTRAL



Contador de energia



LCD Touch Screen