



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação



Sistema de Domótica para Melhoria da Eficiência Energética em Edifícios

BRUNO LOURENÇO PEDRO

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica

Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica

Orientadores:

Prof. Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Prof. Doutor Hiren Canacsinh

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo

1º Vogal: Prof. Doutor Pedro Miguel Florindo Miguens Matutino

2º Vogal: Prof. Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Abril de 2021

Resumo

Com a crescente evolução tecnológica presente em todo o mundo, existe uma procura também crescente de conforto, versatilidade e controlo automatizado em espaços de permanência humana.

A domótica é utilizada em espaços interiores e exteriores, sejam domiciliários, escritórios, industriais, espaços recebendo público, entre outros. A capacidade de controlo e gestão inteligente das cargas elétricas afetas a um sistema de domótica, possibilita, entre outras valências, uma maior eficiência da instalação elétrica onde é aplicada.

O tópico da eficiência energética é cada vez mais discutido e relevante no ramo da eletrotecnia. A gestão inteligente de fontes de energia, redes e instalações elétricas (iluminação, sistemas de climatização, eletrodomésticos e cargas terciárias) permite a utilização mais eficiente da energia elétrica em todo o seu espectro, seja nas fontes, redes, em edifícios ou estruturas, resultando numa desejada diminuição do consumo elétrico sem prejudicar a utilização das cargas.

Deste modo, no presente documento, é contextualizada a temática da eficiência energética, dos sistemas de domótica e a sua correlação.

É apresentado nesta dissertação, o projeto, desenvolvimento e implementação de um protótipo experimental de um sistema de domótica de baixo custo, com base na comunicação sem-fios. O protótipo contempla um conjunto de atuadores para controlo de luminárias e cargas elétricas genéricas, como também sensores de presença, corrente, temperatura, humidade relativa e luminosidade. O sistema implementado recorre às leituras efetuadas pelos sensores de corrente para efetuar o cálculo de energia elétrica consumida pelas cargas, contribuindo para uma gestão inteligente, monitorização do sistema e consequentemente da melhoria global da eficiência energética da instalação. O sistema de domótica é configurado, gerido, monitorizado e atuado através de uma plataforma *online* desenvolvida para este efeito.

Palavras-chave: Domótica, *Smart Home*, *IoT*, *Raspberry pi*, *MQTT*, Microcontroladores, *Wireless*, *Dimming*, Eficiência energética, Protótipo experimental.

Abstract

With the constant technologic evolution all over the world, there is an increasing looking for comfort, versatility and automated control in human permanence spaces.

Home automation is used in indoor and outdoor spaces, like homes, offices, industries, spaces receiving public, among others. The capability to control and smart manage of electric loads connected to a home automation system, may lead to the electric installation energy efficiency improvement.

The energy efficiency topic is increasingly debated and relevant in the area of electrotechnics. The energy sources, grids and electric installations (lighting, acclimatization systems, home appliances and tertiary loads) smart management allows a more electric energy efficient usage in all its spectrum, in the sources, grids, buildings and structures, resulting in an electric consumption reduction without impairing the loads utilization.

This way, in the present document, it is contextualized the energy efficiency and home automation systems topic and their interconnection.

In this thesis it's presented the development and implementation of a low cost experimental prototype system home automation system, based on wireless communication. The prototype considers a set of actuators for lighting control and other generic electric loads, as well presence sensors, current sensors, temperature sensors, relative humidity and luminosity sensors. The implemented system resorts to the readings performed by the current sensors to calculate the electric energy consumed by the loads, contributing to the system smart management, monitoring and to the installation global energy efficiency improving. The home automation system is configured, managed, monitored and actuated by an online platform developed for this objective.

Key words: Home automation, Smart Home, IoT, Raspberry pi, MQTT, Microcontrollers, Wireless, Dimming, Energy efficiency, Experimental prototype.

Agradecimentos

Dedico esta página aos meus agradecimentos, a todas as pessoas e entidades que contribuíram para o meu percurso académico, mas também para a minha vida profissional e pessoal. Um enorme agradecimento:

Aos meus orientadores, Professor Filipe Barata e Professor Hiren Canacsinh, por toda a disponibilidade, por todos os ensinamentos, por todo o apoio e toda a ajuda crucial no desenvolvimento da minha dissertação de mestrado. Um muito obrigado, por terem aceite este desafio comigo, desafio esse que não seria superado sem as suas orientações.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), a todos os professores pela formação e experiência dada, nas vertentes teóricas, técnicas e práticas do ramo da Engenharia Eletrotécnica, como também por todo o conhecimento que aplicarei durante o resto da minha vida profissional e pessoal.

Aos meus pais, Jorge Pedro e Eugénia Pedro, por todo o apoio, ajuda, educação e carinho. Um muito obrigado por me terem dado sempre as melhores condições para me desenvolver enquanto pessoa e enquanto Engenheiro.

À Rita, por todo o apoio, carinho e ajuda que me tem dado ao longo destes anos.

Aos meus familiares, por todo o apoio e carinho por eles recebido durante toda a minha vida.

Aos meus colegas e amigos, por todo o seu apoio e amizade ao longo destes anos. Foram, sem dúvida, essenciais para o meu sucesso académico, profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente no desenvolvimento da minha dissertação de mestrado e no meu percurso de vida.

Índice

Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xii
Lista de simbologia.....	xv
Lista de tabelas.....	xvi
Lista de acrónimos.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	2
1.2. Estrutura.....	4
2. ESTADO DA ARTE.....	5
2.1. Eficiência energética.....	6
2.2. Domótica - Definição e aplicação.....	7
2.2.1. Controlo e gestão de iluminação.....	8
2.2.2. Controlo e gestão de equipamentos elétricos, mecânicos e eletromecânicos.....	8
2.2.3. Integração com sistemas de segurança.....	9
2.2.4. Gestão de climatização.....	9
2.2.5. Gestão de consumos elétricos.....	10
2.3. Protocolos de domótica.....	11
2.3.1. X10.....	11
2.3.2. KNX.....	12
2.3.3. DALI.....	13
2.4. Protocolos de comunicação/conexão utilizados na domótica.....	15
2.4.1. <i>Zigbee</i>	15
2.4.3. <i>LoRa</i>	16
2.4.4. <i>Wi-Fi</i>	16

2.4.5. <i>Bluetooth</i>	17
2.4.6. MQTT	17
2.6. Arquiteturas de domótica existentes.....	19
2.7. Soluções comerciais de domótica existentes.....	21
2.7.1. <i>Jung</i>	21
2.7.2. <i>Legrand</i>	22
2.7.3. <i>Philips Hue</i>	23
2.7.4. <i>Google Assistant</i>	23
2.7.5. ORNO.....	24
2.8. Desenvolvimento acadêmico e científico.....	26
3. PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE DOMÓTICA.....	33
3.1. Fundamentos.....	34
3.2. Equipamentos utilizados no protótipo.....	36
3.3. <i>Raspberry Pi 3B</i> (Consola).....	37
3.3.1. Ecrã TFT LCD (Interface).....	38
3.4. Atuadores.....	38
3.4.1. “Tomada Inteligente” (relés digitais).....	39
3.4.2. “Casquilho Inteligente” (<i>Dimmer</i>).....	40
3.5. Sensores.....	43
3.5.1. Sensor de presença.....	44
3.5.2. Sensor de luminosidade (iluminância).....	45
3.5.3. Sensores de corrente.....	46
3.5.4. Sensor de temperatura e humidade relativa.....	47
3.6. Microcontroladores <i>Wi-Fi</i>	48
3.6.1. ESP8266.....	48
3.6.2. ESP-32.....	50
3.7. Plataforma <i>online</i>	52
4. RESULTADOS DO PROTÓTIPO EXPERIMENTAL.....	55
4.1. Introdução.....	56

4.2. Ensaio do “Casquilho Inteligente “	57
4.2.1. Cálculo de energia elétrica consumida	63
4.3. Sensor de luminosidade (iluminância).....	66
4.3.1. Configuração implementada.....	68
4.4. Sensor de presença	70
4.3.1. Configuração implementada.....	71
4.5. Ensaio da “Tomada Inteligente”	72
4.6.1. Configuração implementada.....	78
4.7. Exposição geral.....	80
5. CONCLUSÕES	81
5.1. Considerações finais	82
5.2. Trabalho realizado	82
5.3. Resultados obtidos	83
5.4. Perspetivas de trabalho futuras.....	85
Referências Bibliográficas.....	87
Anexos	90

Índice de figuras

Figura 1 – Diagrama informativo do protocolo X10 [7].	11
Figura 2- Diagrama de funcionamento de sistema KNX [10].	13
Figura 3- Diagrama exemplar do sistema DALI [12].	14
Figura 4 - Diagrama de sistema de domótica à base de Zigbee [14].	15
Figura 5 - Diagrama da arquitetura MQTT implementada.	18
Figura 6 - Arquitetura de rede simplificada para sistema de domótica à base de cabos BUS [19].	19
Figura 7 – Exemplo de sistema de domótica IOT MQTT [20].	20
Figura 8- Consola KNX da Jung [21].	22
Figura 9- "Starter pack" da Legrand [22].	22
Figura 10- Solução básica "PHILIPS HUE" [23].	23
Figura 11 - Módulo "Google Home Assistant" e app de smartphone [24].	24
Figura 12 - Equipamentos ORNO [25].	25
Figura 13 - Arquitetura geral de DomoBus [26].	26
Figura 14- Diagrama de blocos do sistema de domótica [27].	27
Figura 15- Diagrama da estrutura do sistema IoT [28].	28
Figura 16 – Interface do protótipo do sistema de domótica desenvolvido [29].	29
Figura 17 - Diagrama do sistema IoT [30].	30
Figura 18- Diagrama de blocos do protótipo experimental.	34
Figura 19 - Exemplo de implementação dos aparelhos do sistema (escritório).	36
Figura 20 - Raspberry pi 3 modelo B [34].	38
Figura 21 - Ecrã TFT LCD acoplado a Raspberry Pi (Consola).	38
Figura 22 - Módulo de relé digital 5V DC, 30A [34].	39
Figura 23 - (a) Esquema equivalente simplificado do tiristor; (b) Símbolo do tiristor; (c) Curvas características corrente-tensão do tiristor [35].	40
Figura 24 - (a) Esquema do circuito de controlo de fase monofásico com carga resistiva; (b) Diagramas de funcionamento evidenciando os ângulos de disparo e os intervalos de condução dos tiristores (adaptada) [36].	41
Figura 25 - Gráfico da relação entre o nível de dimming (%) e a potência da carga.	43
Figura 26 - Módulo Dimmer [34].	43
Figura 27 - Sensor de movimento PIR [34].	44
Figura 28 - Sensor de luminosidade (iluminância) [34].	46
Figura 29 - Módulo de sensor de corrente ACS712 [34].	47
Figura 30 - Sensor de temperatura e humidade DHT11 [34].	48

Figura 31 - Módulos ESP8266; (a) ESP-01; (b) DevKit CP2102 NodeMCU V3 Lua [34].	49
Figura 32- NodeMCU-32s.	51
Figura 33 – Exemplo de layout da plataforma online "Cayenne MyDevices" [38].	54
Figura 34 – Protótipo construído: (a) Vista em planta; (b) Vista frontal.	57
Figura 35 - Fotografia do "Casquilho Inteligente"; (a) Constituintes do "Casquilho inteligente"; (b) Ligação com luminária (Lâmpada LED).	58
Figura 36 –Botão de barra deslizante para controlo dimming da luminária; (a) para 75%, (b) para 25%; Botão para controlo ON/OFF da luminária; (c) Botão com a luminária ligada, (d) Botão com a luminária desligada.	58
Figura 37 - Dashboard do "Casquilho Inteligente" (Versão mobile app).	59
Figura 38 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V: (a) Resultados experimentais do protótipo, lâmpada de halogéneo; (b) Resultados experimentais laboratoriais, lâmpada de halogéneo;	60
Figura 39- Formas de onda da tensão e corrente elétrica na lâmpada de halogéneo, com dimming: (a) Resultados experimentais do protótipo, lâmpada de halogéneo, 100% dimming (b) Resultados experimentais laboratoriais, 100% dimming; (c) Resultados experimentais do protótipo, 75% dimming (d) Resultados experimentais laboratoriais, 75% dimming; (e) Resultados experimentais do protótipo, 25% dimming (f) Resultados experimentais laboratoriais, 25% dimming;	61
Figura 40 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V (motor); (a) Resultados experimentais do protótipo; (b) Resultados experimentais laboratoriais; (c) Resultados experimentais do protótipo, dimming 100%; (d) Resultados experimentais laboratoriais, dimming 100%; (e) Resultados experimentais do protótipo, dimming 75%; (f) Resultados experimentais laboratoriais, dimming 75%;	63
Figura 41 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada de halogéneo (Estado ON).	64
Figura 42 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada de halogéneo (Estado 50 % dimming).	64
Figura 43 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada LED (Estado ON).	65
Figura 44 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada LED (Estado dimming a 50%).	66
Figura 44 - Sensor de luminosidade e ligação ao microcontrolador referente.	66
Figura 46 – Valores experimentais da tensão aos terminais do LDR, em relação ao valor de iluminância presente no sensor.	67
Figura 47 – Dashboard do sensor de luminosidade (iluminância).	68

Figura 48- Dashboard da configuração e implementação do trigger relativo ao controlo da luminária inteligente (dependente da iluminância); (a) Desligamento da luminária aquando de iluminância natural elevada; (b) Dimming da luminária a 50% aquando de iluminância suficiente; (c) Luminária ON aquando de iluminância natural insuficiente.....	68
Figura 49- Fluxograma do controlo da luminária.....	69
Figura 50 – Dashboard da configuração e implementação do trigger referente ao controlo da luminária (dependente de horário).....	70
Figura 51 - Sensor de presença e microcontrolador referente.	70
Figura 52 - Dashboard do sensor de presença; Detecção de presença no momento (a); Não deteção de presença no momento (b).	71
Figura 53 – Dashboard do sensor de presença, widget de estado e gráfico de estados (valor ≤ 1 equivale a não deteção, valor = 1 equivale a deteção).....	71
Figura 54 – Dashboard de configuração e implementação de trigger "Deteção de intrusão".	72
Figura 55 - "Tomada Inteligente" do protótipo.	72
Figura 56 – Widget de controlo ON/OFF da tomada inteligente; (a) Tomada desligada, estado OFF; (b) Tomada ligada, estado ON.....	73
Figura 57 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V; (a) Resultados experimentais do protótipo (ventoinha); (b) Resultados experimentais laboratoriais (ventoinha);.....	73
Figura 58 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V; (a) Resultados experimentais do protótipo (eletrodoméstico, aquecimento); (b) Resultados experimentais laboratoriais (eletrodoméstico, aquecimento);.....	74
Figura 59 - Dashboard da "tomada inteligente"; Funcionamento de ventoinha durante 10minutos.	75
Figura 60 - Dashboard da "Tomada inteligente", resultados práticos para eletrodoméstico (aquecimento por ventilação).	76
Figura 61 - Sensor de temperatura e humidade relativa e microcontrolador referente.....	76
Figura 62- Dashboard da informação de temperatura e humidade relativa local; (a) Website; (b) Mobile app	77
Figura 63 – Dashboard da configuração e implementação dos triggers referentes ao controlo da tomada inteligente; (a) e (b) dependente da temperatura.	78
Figura 64 - Dashboard da configuração e implementação dos triggers referentes ao controlo da tomada inteligente (dependente da presença humana).	79
Figura 65 - Fluxograma do controlo implementado na "Tomada Inteligente".....	79
Figura 66 – Plataforma online; (a) Website; (b) Mobile app.	80

Lista de simbologia

A – Ampere, unidade de medida da corrente elétrica

V – Volt, unidade de medida da tensão elétrica

W – Watt , unidade de medida da potência

kWh – quilowatt-hour, unidade de medida da energia

DC – *Direct current*, corrente contínua

AC – *Alternate current*, corrente alternada

Lux – Unidade de medida de iluminância

γ – Ângulo de condução do semicondutor

α – Ângulo de disparo do semicondutor

i_0 – Corrente elétrica na carga

u_0 – Tensão elétrica aos terminais da carga

$P_{m\acute{a}x}$ – Potência máxima da carga

P - Potência da carga

E – Energia elétrica consumida pela carga

Lista de tabelas

Tabela 1 – Dados característicos da *Raspberry Pi* [33].

Tabela 2 - Valores relativos à equação da potência da carga em *dimming*.

Tabela 3 - Dados característicos dos ACS712 utilizados (dados do fabricante).

Tabela 4 – Dados característicos do DHT11 utilizado.

Tabela 5 – Dados característicos do microcontrolador ESP8266 (chip) [37].

Tabela 6 – Dados característicos do microcontrolador ESP-01 [37].

Tabela 7 – Dados característicos do microcontrolador *DevKit CP2102 NodeMCU V3 Lua* [37].

Tabela 8 – Valores teóricos esperados nas medições com o sensor de corrente ACS712 5A.

Tabela 9 – Dados característicos do microcontrolador ESP32 (chip) [37].

Tabela 10 – Dados característicos do microcontrolador *DevKit NodeMCU-32s* [37].

Tabela 11 – Valores teóricos esperados nas medições com o sensor de corrente ACS712 20A.

Lista de acrónimos

ANSI – American National Standards Institute

API – Application Programming Interface

ASHRAE – American Society of Heating

AV – Audio/video

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

BLE – Bluetooth low energy

BUS – Cabo com condutores para informação e alimentação elétrica DC

DALI – Digital Addressable Lighting Interface

EHS - European Home Systems Protocol

EIB – European Instalation Bus

ERSE- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ETS – Engineering tool software

GB – China national Standards

GPIO – General-purpose input/output

GUI - Graphic user interface

HDMI – High-Definition Multimedia Interface

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

IDE – Integrated Development Environment

IEC – International Electrotechnical Comission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT – Internet of Things

IP – Internet protocol

ISO – Internacional Organization for Standardization

KNX – Konnex

LAN – Local Area Network

LDR – Light dependent resistor

LPWAN – Low-power wide-area network

MAC – Media access control

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

OASIS – Organization for the Advancement of Structured Information Standards

OSI – Open System Interconnection

PCB – Printed circuit board

PEES – Programa de Estabilização Económica e Social

PIR – Passive Infra Red

PL- Power Line Network

PNEC – Plano Nacional Energético e Climático

PPEC – Plano de Promoção de Eficiência no Consumo

RF – Radiofrequency

SCR - Silicon Controlled Rectifier

SDK – Software Development kit

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TRIAC – Triode for alternating current

USB – Universal Serial Bus

WLAN – Wireless Local Area Networks

WPA – Wi-Fi Protected Access

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo é efetuada uma introdução à temática da dissertação.

São apresentados os contextos técnicos e legais da eficiência energética em instalações, redes e fontes de energia elétrica.

É explicitado o enquadramento das tecnologias, sistemas e protocolos existentes nos sistemas de domótica. São também descritas as arquiteturas utilizadas nas soluções de domótica existentes.

São explicadas as motivações e objetivos para o projeto referente e por fim a estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento e objetivos

O desenvolvimento técnico-científico do ramo da eletrotecnia tem permitido enormes avanços nas aplicações de equipamentos elétricos, como nas áreas da eletrónica, automação, robótica, mas também nas redes de energia elétrica, instalações elétricas e todas as demais áreas da eletrotecnia.

Com o avanço da sociedade humana, enquanto indivíduos e membros de grupos sociais, esse avanço tem vindo a aumentar a procura pelo conforto pessoal e coletivo. Seja a nível domiciliário, a nível de locais de trabalho ou quaisquer outros locais onde exista permanência humana, as aplicações eletrotécnicas, contemplando a domótica, têm permitido uma crescente melhoria dessas condições.

Os ramos das instalações elétricas em geral, entre eles a luminotecnica, climatização, automação, entre outros, têm sofrido ao longo destes últimos anos, uma crescente centralização e automação generalizada. Essa automação permite uma gestão total local ou remota, por parte dos utilizadores, de forma específica, inteligente e benéfica a vários níveis (eficiência energética, eficiência temporal, facilidade de utilização de equipamentos, etc).

A presença da Indústria 4.0, o crescimento das *IoT* (Aparelhos e equipamentos ligados permanentemente à internet, com interligação e intercomunicação contínua) e da tecnologia em geral têm vindo a contribuir para a implementação destes sistemas de controlo das instalações elétrica.

Deste modo, o ramo da domótica surgiu como uma solução de gestão de cargas elétricas (luminárias, eletrodomésticos, climatização e demais cargas elétricas em instalações de baixa tensão). Este ramo tem como objetivo permitir ao utilizador o controlo, monitorização, programação e gestão inteligente automatizada de todos os equipamentos e cargas elétricas existentes nas instalações.

O avanço do ramo da domótica tem sido causa do investimento crescente da comunidade técnico-científica, com a procura de soluções fiáveis e compatíveis com os objetivos dos utilizadores nas suas instalações. Empresas a nível mundial têm vindo a investir o seu tempo e fundos para fazer chegar ao mercado soluções comerciais de domótica, oferecendo uma enorme gama de produtos configuráveis e personalizados aos requisitos e tecnicidades dos edifícios ou estruturas a aplicar.

As soluções comerciais existentes preconizam maioritariamente a instalação física de canalizações e equipamentos dispendiosos e volumosos nos edifícios/estruturas. Esses

sistemas, altamente fiáveis, adaptáveis, úteis e de uso geral nas instalações, acrescentam custos elevados ao preço final da instalação elétrica.

Na procura de melhorar essas condicionantes, técnicas e económicas, mas também de melhorar a compatibilização destes sistemas com os edifícios (por construir ou existentes), as tecnologias de comunicação sem-fios têm sido aplicadas em novos sistemas.

Foram definidos como objetivos gerais desta dissertação:

- A criação de um protótipo de domótica com base na intercomunicação sem-fios;
- Sistema menos dispendioso e intrusivo do que os sistemas de domóticas existentes;
- Gestão inteligente que contribua para a eficiência energética.

Relativamente ao projeto de execução do protótipo da dissertação, foram definidos os seguintes passos:

- Desenvolvimento de um protótipo experimental.
 - Sensores (presença, luminosidade, corrente, temperatura e humidade relativa);
 - Atuadores (relés digitais, módulos *dimmer*);
 - Módulos de intercomunicação *Wi-Fi*;
 - *Raspberry Pi*, com acoplação de ecrã tátil.
- Estudo e aplicação de protocolos de conexão e comunicação sem-fios, para interligação e intercomunicação de todos os equipamentos do protótipo, num único sistema.
- Desenvolvimento de plataforma *online* (*web* e *mobile*) para controlo, monitorização e gestão geral do sistema de domótica.
 - Intercomunicação de módulos e equipamentos do protótipo com a plataforma;
 - Programação e configuração da plataforma;
 - Desenvolvimento de interface gráfica;
 - Aquisição e processamento de dados para definição de perfil de carga para uma adequada gestão de cargas.

O protótipo do sistema de domótica projetado pretende melhorar a utilização de energia e aumentar a eficiência energética da instalação elétrica, mantendo o conforto e condições de utilização em locais destinados a habitação ou serviços (comércio, escritórios, entre outros). A instalação do sistema de domótica e dos seus constituintes terá de ser projetado e executado conforme as influências externas dos locais, tendo os equipamentos elétricos referentes os códigos IP e IK requeridos [1].

Um dos exemplos do melhoramento da eficiência energética será na detecção de avarias ou funcionamentos incorretos de equipamentos elétricos, de utilização nula, parcial ou total de certos equipamentos em certos horários ou condições climatéricas, em horários apropriados. A poupança energética será aplicada, por exemplo, na utilização de equipamentos elétricos em horários específicos, por exemplo noturno (vazio), para o consumo de energia elétrica se realizar nos momentos de tarifa noturna em que o utilizador paga menos pelo consumo de eletricidade.

1.2. Estrutura

A dissertação referente estará estruturada em 5 capítulos:

No Capítulo 1 é realizada uma introdução às temáticas da eficiência energética e sistemas de domótica, o enquadramento geral existente, os objetivos projetados e a estrutura do documento.

O Capítulo 2 introduz a temática da eficiência energética e apresenta as áreas específicas do ramo da domótica, as suas valências e aplicações, os protocolos de comunicação utilizados, as soluções comerciais existentes e algum do trabalho técnico-científico académico realizado no desenvolvimento desta área.

A descrição do desenvolvimento e implementação de todo o protótipo é apresentado no Capítulo 3.

A apresentação e discussão dos resultados obtidos encontram-se no Capítulo 4.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalho futuras.

Capítulo 2

2. ESTADO DA ARTE

No presente capítulo é apresentado os contextos da eficiência energética e as tecnologias existentes no ramo da domótica, incidindo nas suas capacidades, potencialidades e limitações.

O trabalho apresentado neste capítulo consiste nas aplicações das tecnologias de domótica, das suas valências na gestão de cargas elétricas e contribuição da eficiência energética em instalações.

Descrevem-se os avanços tecnológicos na área da automação das instalações elétricas em edifícios e estruturas, as soluções e ofertas existentes no mercado, os protocolos de comunicação e conexão e programações utilizados para as mesmas, assim como as limitações de cada solução.

Apresenta-se também as arquiteturas existentes nas soluções atuais de domótica e as suas características principais.

2.1. Eficiência energética

A temática da “eficiência energética” tem vindo a ganhar importância ao longo das últimas décadas. A eficiência energética define-se como a redução do consumo de energia requerido para a utilização de cargas energéticas [2].

O desenvolvimento económico e industrial tem vindo a causar o aumento da procura e consumo das matérias-primas energéticas, causando um aumento de consumo generalizado, no planeta, de energia (entre elas a elétrica). Com esse aumento, também o aumento das emissões de gases poluentes para a atmosfera ocorreu, e com ele as crescentes alterações climáticas negativas. Uma das razões de tal encontra-se na diminuída eficiência energética das fontes de energia, mas também do baixo desenvolvimento tecnológico durante as décadas iniciais das revoluções industriais do século XX. O desenvolvimento técnico-científico ocorrido ao longo do século XX e XXI permitiu a utilização de fontes de energia mais eficientes e “limpas” (exemplo das renováveis) e tecnologia que promove o melhor rendimento das redes e instalações elétricas [2].

A eficiência energética e a sua melhoria contemplam razões económicas e financeiras, mas também na vertente do aquecimento global (necessária redução), a utilização eficiente e inteligente, por exemplo da energia elétrica, é presentemente um tópico essencial da utilização da energia.

Os órgãos internacionais têm vindo a implementar legislações, normas, diretivas, acordos e outras ações, com o objetivo de melhorar a eficiência energética desde as fontes, redes e até às cargas finais [3]. Em 2007, foi definido o objetivo da redução de consumo energético na união europeia de 20% para 2020, como também planeamento para aumentar essa redução para 32,5% até 2030, com o contributo do Plano Nacional Energético e Climático (PNEC) a nível dos estados-membros da união europeia. Outro exemplo é a norma ISO 50001, amplamente utilizada na gestão mais eficiente e correta de recursos energéticos, contribuindo também para a redução de custos das empresas e celeridade de operações industriais. Destacam-se também a IEC 60034-30 (eficiência energética de motores elétricos) e outras normas, no desenvolvimento da melhoria da eficiência energética nas indústrias mundiais.

A nível nacional, a obrigatoriedade de certificação energética de edifícios, as etiquetas energéticas que classificam os eletrodomésticos pela sua eficiência energética (rendimento energético), como o Plano de Promoção de Eficiência no Consumo (PPEC) regulado pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), são ferramentas que têm vindo a ser utilizadas a nível governamental e de consumidor final para atingir os objetivos referidos.

Uma das medidas mais recentes, integrante do PEES (Programa de Estabilização Económica e Social) da Resolução do Conselho de Ministros n.º 41/2020, de 6 de junho, é um projeto governamental integrante do PNEC que irá financiar projetos candidatos de melhoria da eficiência energética em domicílios, em que as medidas poderão ser de utilização de fontes de energia renováveis independentes (painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, etc.), melhoramento do isolamento térmico das estruturas, sistemas de domótica que melhorem a eficiência energética na instalação elétrica do edifício, entre outras.

Deste modo, os consumidores finais de energia (habitantes residenciais, escritórios, indústrias), têm também todo o interesse em utilizar sistemas e medidas que promovam a eficiência energética. Entre eles exemplificam-se a melhoria estrutural dos edifícios em termos de isolamento térmico, utilização de fontes de energia renováveis, instalação de eletrodomésticos com alta classificação de eficiência energética e sistemas de domótica que realizem uma gestão automatizada e inteligente dos equipamentos do edifício. Essa gestão inteligente permite poupanças na utilização dos equipamentos eletrotécnicos da instalação, desde a utilização de luminárias em modo apropriado em apenas momentos necessários, equipamentos de climatização em momentos apenas necessários, eletrodomésticos em horários de menor preço da energia elétrica, etc.

2.2. Domótica - Definição e aplicação

O termo Domótica define-se como o conjunto de técnicas de gestão automatizada dos equipamentos de edifícios ou estruturas. O termo é mundialmente conhecido por *home automation* na língua inglesa, ou na sua origem na língua francesa, *Domotique*, das palavras *Domus* (casa) e *Imotique* (automática) [4].

Os primórdios do conceito de domótica iniciam-se no final do século XIX quando Warren S. Johnson patenteou o sistema de controlo automático de temperatura de múltiplas zonas, sendo um dos primeiros sistemas a realizar controlo automatizado de equipamentos em edifícios.

Com o evoluir das tecnologias, foram dados novos passos que permitiram o surgimento de soluções mais complexas e estruturadas. Um dos primeiros passos na criação e utilização destes sistemas estruturados em edifícios foi a utilização do sistema *Minitel* para aplicações físicas, com base na intercomunicação telefónica (década de 80). Estes primeiros sistemas tinham valências como interligação de detetores de fogo/fumo com a linha telefónica, em que na deteção de fogo, o sinal de alarme era enviado via telefónica para as entidades

competentes. Os dispositivos *Domotique* também contemplavam equipamentos de climatização, videovigilância, controlo de luminárias, eletrodomésticos, entre outros [4].

A visão presente das aplicações de *IoT* ainda são baseadas nestes sistemas antigos, que qualquer equipamento é intercomunicável desde que se utilize os protocolos de comunicação e sistemas corretos [5].

O objetivo da domótica é integrar os demais equipamentos dos espaços públicos e privados em edifícios e estruturas, contemplando-se nas mesmas a iluminação, cargas elétricas (como eletrodomésticos), climatização, emergência, segurança, telecomunicações, audiovisuais, entre outros. Esta implementação pode permitir a recolha de informação sobre todos os equipamentos acoplados, desde informação presencial, climatérica, elétrica, etc. A domótica pode permitir deste modo controlar e interligar os demais equipamentos, atingindo um controlo local ou externo centralizado automatizado de toda a instalação existente.

Deste modo, a existência de sistemas de domótica em edifícios abrange inúmeras vertentes.

2.2.1. Controlo e gestão de iluminação

O controlo local ou remoto automatizado das luminárias de um edifício ou estrutura, a partir de um sistema de domótica, permite a gestão inteligente das mesmas e que o utilizador configure amplamente o funcionamento das mesmas aos seus requisitos.

Desde a configuração horária específica destes equipamentos, da utilização de sensores de presença para a gestão das mesmas, o *dimming* de luminárias (regulação do fluxo luminoso emitido por luminárias) consoante o nível de luminosidade exterior ou interior, horário ou parâmetro específico do momento.

A gestão e controlo inteligente referidos dessas cargas permite aumentar a eficiência energética, como por exemplo, em que as mesmas se desliguem ou emitam menos fluxo luminoso no caso de estar um dia de abundante luz natural. O controlo ON/OFF das mesmas, em corredores em que as mesmas não necessitem de funcionar quando não existe presença humana, é outro exemplo. Esta gestão inteligente permite menores consumos elétricos, não prejudicando o conforto dos utilizadores.

2.2.2. Controlo e gestão de equipamentos elétricos, mecânicos e eletromecânicos

Em edifícios (componentes interiores ou exteriores), os equipamentos elétricos ou os equipamentos controlados por comandos elétricos, podem ser integrados nos sistemas de domótica.

Sejam esses equipamentos elétricos, mecânicos ou eletromecânicos, a sua integração permite a gestão total conforme o desejado pelo utilizador. São exemplos:

- A utilização de persianas/estores/cortinados elétricos: com a utilização de sistemas de domótica, a posição desse equipamento poderá ser controlada de acordo com o horário, com o nível de luminosidade exterior, nível de temperatura, ou qualquer outro parâmetro desejado;
- Portas, portões, demais acessos a pessoas ou veículos;
- Eletrodomésticos ou equipamentos elétricos de baixa tensão;
- Sistemas de rega, limpeza, manutenção, conservação, etc;
- Demais equipamentos elétricos, mecânicos ou eletromecânicos compatíveis.

2.2.3. Integração com sistemas de segurança

Os sistemas de domótica existentes permitem a integração dos dispositivos de segurança/vigilância. Com esta integração, o utilizador tem à sua disposição uma solução centralizada que permite gerir e verificar o estado e toda a informação afeta aos sistemas de segurança do seu edifício ou estrutura, seja os controlos de intrusão, inundação, gases, fumos, video-vigilância, entre outros.

Destacam-se os exemplos:

- Sistemas de video-vigilância de edifícios;
- Sistemas de deteção de intrusão, contemplando os demais equipamentos anexos aos mesmos: sensores de presença, detectores magnéticos em portas, detetores de pressão, etc;
- Sistemas de deteção de gases, fumos, calor, inundação, que em caso de emergências ou acidentes notificam os utilizadores e implementam ações automatizadas previamente configuradas (acionamento de *sprinklers*, exaustores, ventiladores, bombas, geradores, aviso às autoridades de segurança, etc).

2.2.4. Gestão de climatização

Os demais sistemas de climatização, desde ar-condicionado (centrais e independentes), ventilação e aquecimento por ventilação, aquecimento central a gás, aquecedores a óleo, poderão ser integrados nos sistemas de domótica. Deste modo, o controlo desses equipamentos poderá ser efetuado de acordo com a definição de parâmetros e condições de conforto requeridos para o local. A possibilidade de uma gestão mais controlada/inteligente proporcionada pela domótica, permite uma utilização mais racional destes equipamentos.

Tal acontece realizando o controlo (ligar, desligar, alteração de potência consumida) consoante a necessidade do sistema de climatização. É comum haver desperdícios de energia elétrica, por exemplo, nos domicílios e em escritórios, em que o sistema de climatização esteja ligado em horas desnecessárias ou a funcionar de modo inadequado (potência acima da necessária) para as temperaturas desejadas.

Outro exemplo existente é a utilização de aquecedores a óleo, desumidificadores e afins de forma não otimizada, ou seja, os mesmos estarem ligados em momentos de não necessidade (aquando de temperatura ou humidade relativa já se encontram no nível desejado) ou a funcionar de modo inadequado (potência acima da necessária). Com a gestão inteligente da domótica, esses desperdícios energéticos são minimizados, tornando a instalação mais eficiente.

2.2.5. Gestão de consumos elétricos

Com a implementação dos equipamentos de medição de potências e contagem de energia elétrica consumidas, a domótica permite a análise e apresentação de consumos em termos horários específicos, diários, mensais ou anuais.

A possibilidade de anexar estes equipamentos de medição a cargas singulares (luminárias, tomadas singulares, etc), a circuitos elétricos singulares (circuitos de iluminação, de tomadas, de climatização, etc) ou dos circuitos de alimentação de quadros elétricos, permite a monitorização total da instalação elétrica mas também individual em termos dos circuitos ou cargas específicas.

Tal permite retificar situações anormais de consumo energético ou melhorar a eficiência energética, ao identificar problemas existentes na instalação ou equipamentos que estejam a consumir energia elétrica em momentos desnecessários (caso dos modos *stand-by* dos eletrodomésticos), em defeito ou sem necessidade de funcionamento em certos momentos.

2.2.6. Controlo de audiovisuais

Atualmente, os edifícios habitacionais, escritórios, espaços recebendo público, detêm sistemas de audiovisuais centralizados, como são os exemplos de sistemas de video-porteiro, sistemas de som, sistemas de televisões e afins. A integração desses sistemas com domótica permite o controlo direto e indireto dos mesmos sem a necessidade de gestão separada de sistemas.

2.3. Protocolos de domótica

Presentemente, existem vários protocolos específicos de domótica referente ao modo de comunicação e compatibilização entre os demais equipamentos e sistemas de domótica.

Deste modo, os sistemas de domótica normalizados estarão programados nesses protocolos específicos, no qual se apresentam alguns dos referidos.

2.3.1. X10

O protocolo de comunicação X10 foi criado em 1978 pela empresa *Pico Electronics Ltd.*, em *Glenrothes*, Escócia. Este protocolo foi criado com o intuito de controlar as aparelhagens (tomadas, interruptores, consolas, etc) e aparelhos domésticos elétricos.

Este protocolo utiliza a rede elétrica da instalação (circuitos elétricos de alimentação de tomadas, iluminação, equipamentos, etc), interligando os módulos que controlam luminárias, tomadas, cargas elétricas, etc. É apresentado, na Figura 1, um diagrama informativo do funcionamento deste protocolo, explicitando a utilização da canalização elétrica como meio de transmissão da informação de controlo e monitorização do sistema, como também o controlo do utilizador por via *wireless* (sinal rádio).

A intercomunicação entre os componentes do sistema é realizada por pulsos de radiofrequência (RF) de 120 kHz, nos quais a transmissão de dados (*bits*) é feita no momento em que a corrente na instalação elétrica é nula em valor absoluto, pelo protocolo *power line network* (PL). O valor binário 1 é representado pelo impulso de 120 kHz e o binário 0 pela falta desse impulso (valor nulo). O protocolo será baseado em bits endereçados e comandos entre os módulos interconectados [6].

Atualmente, esta tecnologia dispõe de módulos de intercomunicação entre o sistema de domótica local e a internet. Esse hardware externo (computador, telemóvel, controlador) terá software próprio para controlo dos equipamentos da rede de forma *online*.

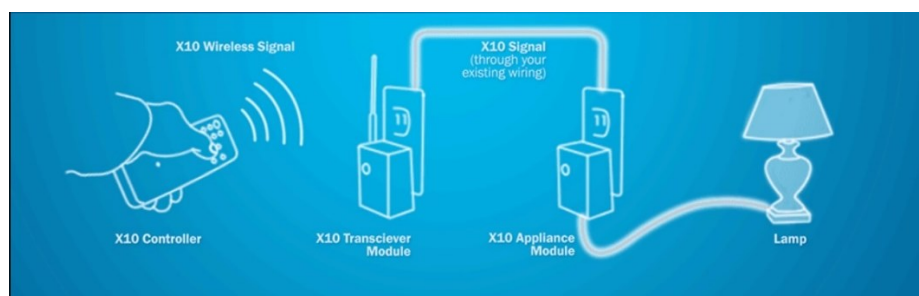


Figura 1 – Diagrama informativo do protocolo X10 [7].

2.3.2. KNX

O *konnex* (KNX) caracteriza-se como um protocolo *open source* e normalizado a nível internacional, baseado no modelo OSI.

O mesmo detém historial de mais de duas décadas, permitindo uma rede de dispositivos ligados via cabos par-cobre, RF, PL ou *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP). A intercomunicação com os softwares de controlo *online* é realizada através de *gateways* (Hardware utilizado como “portão” entre duas redes, neste caso local e a rede internet).

O KNX é o resultado da convergência entre três protocolos distintos: *European Home Systems Protocol* (EHS), *Batibus* e *European Instalation Bus* (EIB). Está atualmente aprovada como norma europeia (CENELEC EN 50090 e CEN EN 13321-1), norma internacional (ISO/IEC 14543-3), norma chinesa (GB/Z 20965) e norma dos EUA (ANSI/ASHRAE 135) [8].

O protocolo referido é baseado na *stack* de comunicações do EIB, com os atributos dos meios *Batibus* (protocolo de comunicação de domótica) e EHS. Deste modo, o sistema KNX compatibiliza-se com a tecnologia EIB.

O projeto e configuração de todo o sistema de domótica nas instalações é realizada através de por exemplo, o software *Engineering tool software* (ETS). Esta ferramenta permite a instalação mais eficiente e organizada, como também a gestão do sistema [9].

O protocolo KNX é um dos protocolos de domótica mais utilizado a nível internacional, sendo utilizado pela “Hager”, “ABB”, “Schneider Electric”, “Jung”, entre outros, possibilitando a utilização e integração de qualquer equipamento de qualquer marca compatível. O sistema estabelece comunicação do sistema físico instalado, com a internet, através das *gateways*. Os módulos essenciais, como fontes de alimentação, controladores binários e de interface (ambiente de interação entre utilizador e sistema) humana, atuadores e sensores serão instalados no quadro elétrico ou no circuito da carga referente. Todos os equipamentos são interligados via cabo com condutores para informação e alimentação elétrica DC (BUS) ou pelos protocolos referidos anteriormente. A utilização deste protocolo para interligação dos equipamentos, por comunicação sem-fios, é pouco desenvolvida, impossibilitando a instalação de sistemas completos e configuráveis (com essa comunicação *wireless*/sem fios)

em instalações já existentes. Na Figura 2 é demonstrado, através de um diagrama ilustrativo, as ligações e os diferentes equipamentos e aparelhos utilizados nestes sistemas.

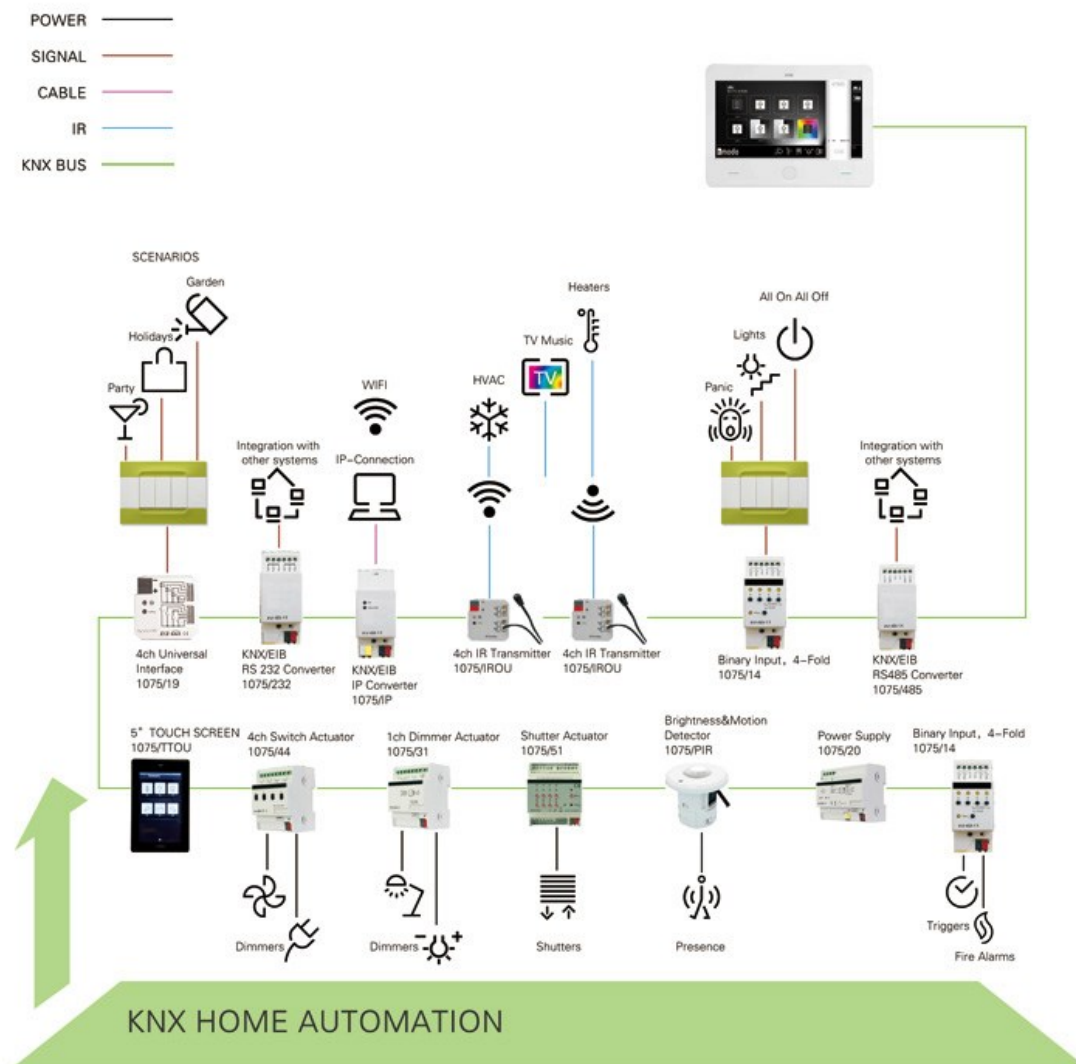


Figura 2- Diagrama de funcionamento de sistema KNX [10].

2.3.3. DALI

O *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) é um protocolo de domótica com foco na interligação de interfaces de balastros digitais, sendo centralizado no controlo de iluminação. O mesmo foi originado em 1990, quando várias empresas dominantes do mercado de luminárias (como *Philips*, *Huco*, *Trilux*, etc) desenvolveram um protocolo que permitisse controlar o estado das luminárias, de forma local e externa. As metodologias da época, como o controlo 0-10V, por reóstato, entre outras, eram desvantajosas, logo este protocolo permitiu maior flexibilidade de controlo e gestão de luminárias [11].

A produção de equipamentos compatíveis iniciou-se em 1998, em que os equipamentos tinham requerimentos definidos para permitir o controlo de luminosidade ou estado. O protocolo encontra-se normalizado pela norma IEC 60929 [11].

O protocolo DALI trouxe várias vantagens para a luminotecnia, como a regulação do fluxo luminoso ou estado ON/OFF de luminárias, interligação com sensores de presença, movimento, luminosidade, etc. Também permite maior eficiência energética das instalações, flexibilidade de uso e modificação, testes de luminárias de segurança e compatibilização com outros protocolos de comunicação, como o referido anteriormente KNX [11].

O sistema DALI, como explicitado no diagrama ilustrativo da Figura 3, interliga os sensores (instalados nos locais apropriados na instalação) e controladores de interface humana em locais acessíveis, atuadores binários, balastros, *gateways* e demais fontes de alimentação são instalados nos quadros elétricos. Todos os equipamentos serão interligados via DALI Bus (cabo com condutores para informação e alimentação elétrica DC).

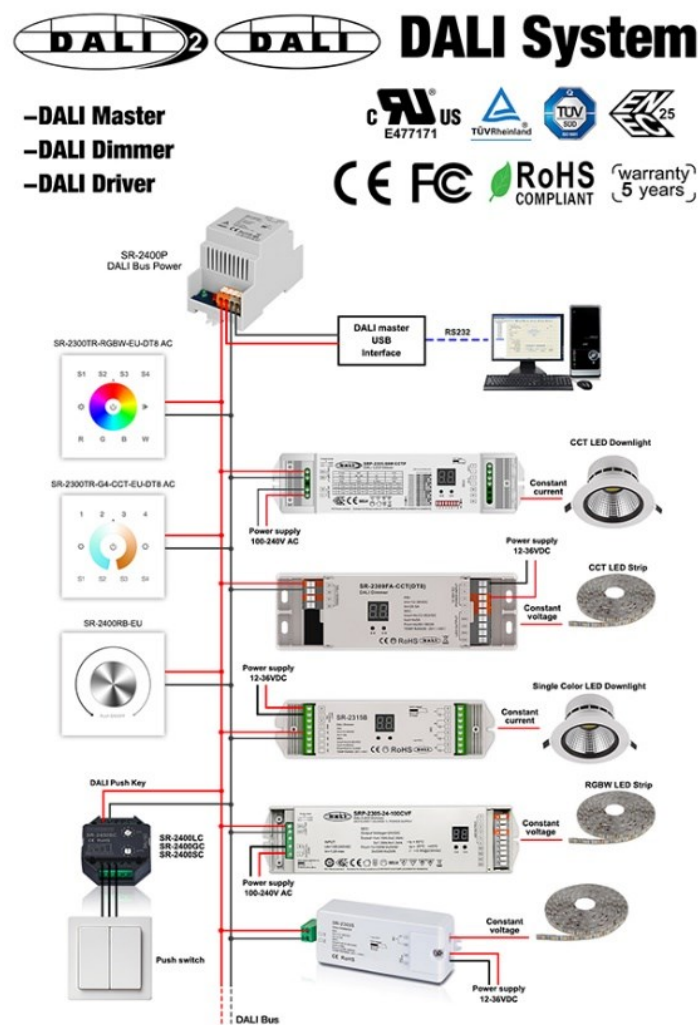


Figura 3- Diagrama exemplar do sistema DALI [12].

2.4. Protocolos de comunicação/conexão utilizados na domótica

Os protocolos de conexão e comunicação sem-fios têm vindo a crescer em quantidade e qualidade em sistemas de domótica, destacando-se os protocolos apresentados.

2.4.1. Zigbee

O protocolo de comunicação *Zigbee* é utilizado na comunicação *wireless* entre dispositivos e equipamentos elétricos ou equipamentos comandados eletricamente, caracterizando-se pela sua baixa taxa de transmissão de dados, baixo consumo elétrico e baixo custo de instalação e operação. O mesmo destaca-se pela independência de *hubs* centrais (centrais de controlo), dado que este protocolo permite uma comunicação em rede entre todos os equipamentos conectados.

A norma IEE 802.15.4 é a base para as especificações *Zigbee*, em que o mesmo utiliza a banda de 2,4GHz no qual permite a implementação deste protocolo, havendo um foco na especificação de duas baixas camadas de protocolo de internet (física e camada *data link*) [13].

Dada as características deste protocolo, ele é utilizado em equipamentos *wireless*, por exemplo alimentados a baterias, permitindo uma longa vida útil desses equipamentos. À semelhança de outros protocolos, o mesmo permitirá a intercomunicação entre módulos de controlo de cargas elétricas, módulos de controlo do estado das mesmas e módulos centrais que permitem a ligação do sistema à internet. Na Figura 4 é apresentado o diagrama ilustrativo, onde é explicitada interligação dos diferentes equipamentos e aparelhos destes sistemas.

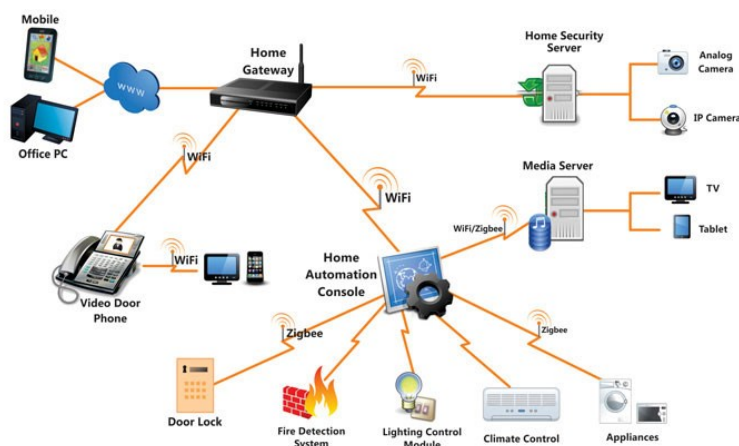


Figura 4 - Diagrama de sistema de domótica à base de Zigbee [14].

2.4.3. LoRa

O protocolo de conectividade *LoRa* é um protocolo de *Low-power wide-area network* (LPWAN), caracterizado pela utilização da técnica de modulação por espectro de dispersão derivada (da tecnologia *chirp spread spectrum*). A mesma funciona nas frequências sub-gigahertz (863-870MHz na Europa) [16].

Este protocolo sem-fios tem como valências o seu longo alcance (de máximos até vários km), a possibilidade de integração de equipamentos de baixas potências elétricas, segurança encriptada com autenticação requerida para utilização dos sistemas implementados, capacidade de intercomunicação de inúmeros equipamentos, asseguramento de intercomunicação contínua entre os mesmos e baixo custo de instalação e utilização. Este protocolo destaca-se também como uma solução viável para intercomunicação de equipamentos *IoT* e projetos anexos.

2.4.4. Wi-Fi

O *Wi-Fi* caracteriza-se como o protocolo de comunicação sem-fios mais utilizados no mundo, baseado na norma IEEE 802.11. Este protocolo, da *Wi-Fi Alliance*, é utilizado em várias vertentes como é o caso das *Wireless Local Area Networks* (WLAN) [17].

Este protocolo, que opera nas frequências de 2,4GHz e 5GHz nas suas versões mais utilizadas, permite intercomunicação fiável e segura entre equipamentos interligados, como também fácil configuração entre dispositivos.

Dependendo da aplicação especificada do protocolo, as versões futurísticas do protocolo como o intitulado *Wi-Fi 6* da IEEE 802.11ax que operam com frequências de 60GHz, 6GHz, entre outras, permitem elevadas taxas de transmissão de dados de Gb/s. As versões aplicadas em redes domiciliárias ou profissionais como 802.11 b/g/n ou (intitulado *Wi-Fi 4*) têm como características a sua enorme versatilidade em equipamentos e alcances de sinal elevados, existindo inúmeras outras versões para quaisquer aplicações específicas.

Na área das *IoT*, foram desenvolvidas as IEEE 802.11ah e 802.11ax, caracterizadas pelos baixos consumos elétricos e baixos preços de equipamentos acoplados [17].

A segurança que este protocolo oferece é das mais valorizadas mundialmente, utilizando os padrões de segurança *Wi-Fi Protected Access* (WPA), WPA2 e WPA3 para acesso das redes de comunicação com este protocolo, como certificação.

O protocolo *Wi-Fi* é utilizado no sistema de domótica criado, para estabelecer a intercomunicação entre os microcontroladores e as *gateways* existentes.

2.4.5. *Bluetooth*

O protocolo de comunicação *Bluetooth*, da norma IEEE 802.15.1, é um protocolo amplamente utilizado nas comunicações sem-fios em redes WPANs.

O mesmo é controlado pela *Bluetooth Special Interest Group*, em que o protocolo licenciado opera na frequência 2,4 GHz e em frequências de 2MHz e 3,5MHz não licenciadas. A compatibilização deste protocolo com quaisquer computadores, *smartphones*, *smart devices*, etc, tem tornado o mesmo uma solução robusta e fiável para intercomunicação em redes sem-fios [18].

O desenvolvimento recente do *Bluetooth low energy* (BLE), protocolo digital de radiofrequência, permite a criação de redes em malha de dispositivos sem-fios através de implementação de endereços Media Access Control (MAC), em que teremos um dispositivo central (computador, smartphone, etc) e os periféricos unicamente ligados a esse dispositivo. Esta versão de Bluetooth é imensamente compatível com as tecnologias IoT dado o seu baixo consumo energético, baixa taxa de transmissão de dados e baixa latência, mantendo a fiabilidade e intercomunicação na rede.

2.4.6. MQTT

O protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) foi criado por Dr. Andy Stanford-Clark da empresa IBM e por Arlen Nipper da empresa Arcom em 1999. O mesmo é normalizado pela OASIS, nas versões V5.0 e V3.1.1., sendo apenas compatível com comunicação TCP/IP *stack*. O protocolo é caracterizado pela sua simplicidade, baixa taxa de transmissão de dados e compatibilidade no mundo da computação.

É amplamente utilizado na indústria e ramos da eletrotecnia, onde é aplicado em sistemas em que a baixa potência elétrica e computacional dos equipamentos (velocidades de processamento, pouca memória computacional, velocidades reduzidas de comunicação, latência elevada) é presente ou em quaisquer outros sistemas mais complexos [14].

Com a baixa transmissão de dados, mantendo a fiabilidade de intercomunicação, este protocolo garante uma arquitetura viável para conexões entre equipamentos, sem obrigatoriedade de centrais. É um protocolo *open-source*, de programação e configuração acessível e é compatível com uma grande gama de protocolos de conexão sem-fios.

Este protocolo de comunicação terá os denominados “MQTT *client*” e os “MQTT *broker*”. Os “clientes” serão os componentes responsáveis pela publicação e recebimento de informação do sistema (sejam microcontroladores, computadores, servidores locais ou ligados à internet), ou seja, qualquer dispositivo que comunique por TCP/IP *stack* pelo protocolo MQTT, terá essa tipologia de sistema. Os “corretores” são os responsáveis pelo recebimento, filtro e decisão de envio da informação para os “clientes” (sendo servidores *online* ou *offline*), contendo toda a informação, programação e implementação do mesmo [15].

Os sistemas de domótica baseados em protocolos de comunicação MQTT, por exemplo, permitem a criação e utilização de equipamentos *IoT*, potencializando os baixos custos de compra e instalação dos sistemas e mínima intrusão visual/técnica de sistemas de domótica em edifícios.

A comunidade científica utiliza esse protocolo para o estudo e aplicação de protótipos e soluções comerciais de domótica utilizando as valências desse protocolo. Na Figura 5 é apresentado um diagrama ilustrativo da arquitetura do protocolo de comunicação MQTT (implementado no protótipo).

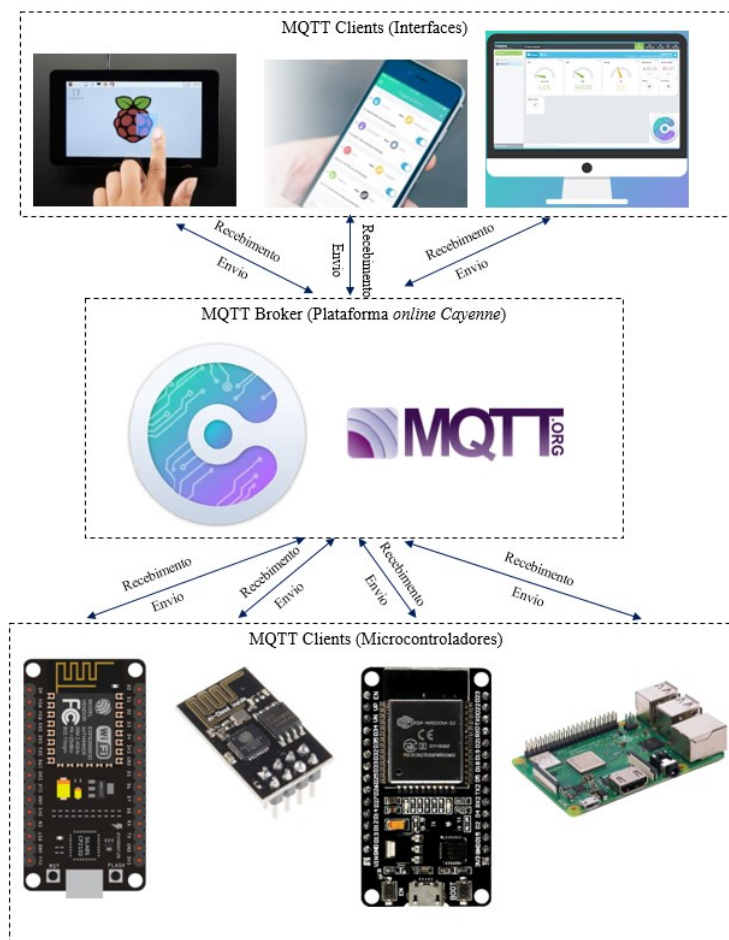


Figura 5 - Diagrama da arquitetura MQTT implementada.

2.6. Arquiteturas de domótica existentes

Os sistemas de domótica existentes possuem inúmeras arquiteturas e estruturas.

Na Figura 6, é explicitado através de diagrama ilustrativo, a interligação dos diferentes componentes de domótica em sistemas com arquitetura à base de cabos de telecomunicações.

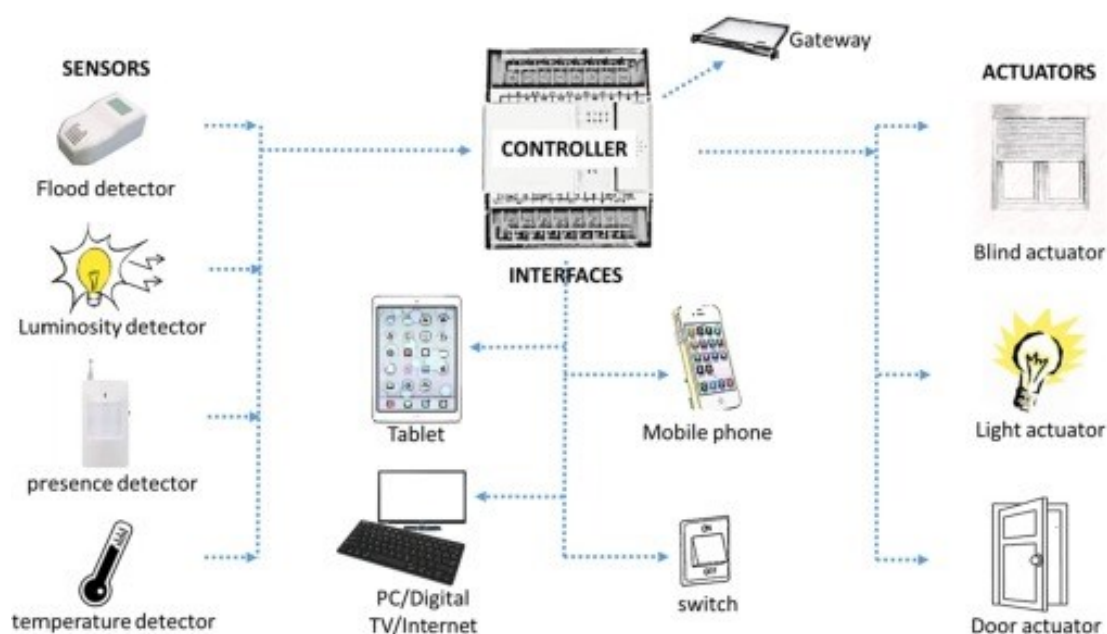


Figura 6 - Arquitetura de rede simplificada para sistema de domótica à base de cabos BUS [19].

Considerando a Figura 6 como exemplo, os sistemas com aplicação de KNX, DALI, etc, baseiam-se na instalação dos variados equipamentos de domótica acoplada à instalação elétrica, interligados por cabos BUS. É necessária a instalação dos seguintes equipamentos no quadro elétrico em uso:

- Fonte de alimentação, responsável pela alimentação de todos os equipamentos integrados no sistema. Este componente é instalado nos quadros elétricos, sendo a saída do mesmo entre 28V a 30V DC;
- A interface ou router TCP/IP e *gateways*, responsáveis pela transmissão de dados entre o sistema local e a internet, para a plataforma/*software* da empresa. São conhecidos por módulos KNX/Internet (exemplo KNX);
- Atuadores, responsáveis pelo controlo de qualquer carga elétrica (luminárias, estores, tomadas, elevadores, AVAC, etc). Os mesmos serão adaptados ao tipo de carga a controlar;

- Sensores, responsáveis pela recolha e envio de informação sobre o sistema. Os mesmos poderão ser de informação digital, analógica, como por exemplos medidores de potência.

Na instalação elétrica, seja qualquer tipo de edifício, serão instalados os equipamentos nos locais apropriados:

- Interruptores/consolas, sendo as interfaces físicas do sistema com o utilizador. Nos mesmos o utilizador realiza a introdução e recolha de dados sobre o sistema, ao qual lhe permite controlar qualquer equipamento anexo à instalação e receber informação sobre a domótica do edifício;
- Sensores, responsáveis pela recolha e envio de informação para o sistema, relativa ao edifício. Os mesmos serão de presença, movimento, luminosidade, temperatura, humidade e serão instalados nos locais mais apropriados a essa recolha de informação.

Com o desenvolvimento das tecnologias *IoT*, têm sido desenvolvidas soluções de baixo custo e menos intrusivas nos edifícios. A interligação dos equipamentos de domótica não necessita de cabos de telecomunicações. A arquitetura de intercomunicação destes sistemas é baseada, por exemplo, em *Wi-Fi*, em que os *smart devices* (sensores, atuadores, controladores) interligam-se sem cabos, conjugando-se no *software* aplicado (plataforma), como explicitado no diagrama da Figura 7.

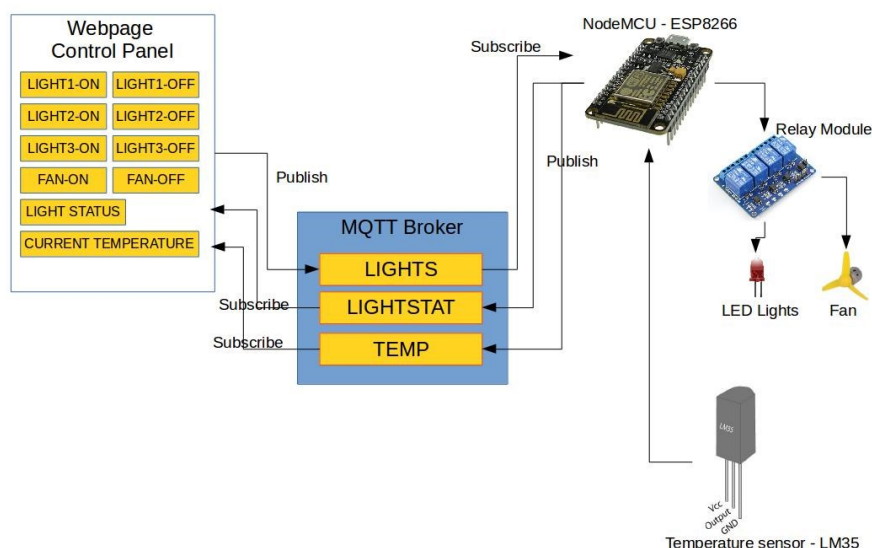


Figura 7 – Exemplo de sistema de domótica IOT MQTT [20].

Este tipo de arquitetura de domótica é o utilizado no sistema de domótica criado, com a utilização dos protocolos anteriormente referidos.

2.7. Soluções comerciais de domótica existentes

Os sistemas de domótica têm sido amplamente desenvolvidos pelas empresas do ramo da eletrotécnica (*Jung, Hager, Legrand, Philips, Schneider*, etc), aos quais as soluções comerciais em oferta diferem consoante o objetivo pretendido.

Deste modo, certas soluções em mercado focam-se em soluções para novas edificações ou requalificações (no caso das soluções à base de cabos) sendo exemplos a *Jung, Hager, Schneider*, etc. Outras soluções focam-se para edifícios existentes (com soluções *wireless*) sendo exemplo a *Legrand, ORNO, Philips*, etc, em que as mesmas poderão ser direcionadas para um controlo total dos equipamentos existentes ou apenas de um conjunto dos mesmos.

2.7.1. Jung

A empresa *Jung* disponibiliza ao consumidor soluções de domótica, personalizadas aos objetivos do projeto, em edifícios ou estruturas. A mesma tem como oferta os demais equipamentos dos sistemas de domótica, como interruptores, painéis tácteis, módulos KNX, sensores, atuadores, etc. Equipamentos esses que intercomunicam a partir do protocolo de comunicação KNX. Estas soluções de domótica requerem a instalação de cabo BUS anexa à instalação elétrica, interligando todos os equipamentos do sistema, tornando-se numa solução tecnicamente incompatível com as já existentes nas instalações.

A ligação destes sistemas de domótica da JUNG, com os serviços na internet, permite o controlo *online* ou *offline* dos equipamentos nos edifícios, desde a iluminação, a climatização, a segurança, os eletrodomésticos, etc. O utilizador poderá utilizar as interfaces *online* ou locais, como consolas no seu edifício conforme o exemplo comercial apresentado da Figura 8, cuja consola KNX é recebe informações e controla todo o sistema. É de salientar que o software específico é inteligente, podendo adaptar-se consoante horários específicos do dia, dias do ano ou em modos criados pelo utilizador (férias, noite, dia).

As desvantagens destas soluções são monetárias, devido ao alto custo dos equipamentos a instalar nos quadros elétricos, a necessidade de mão-de-obra especializada na área e o requerimento de instalação dos equipamentos compatíveis com KNX (como também a passagem de cabo BUS por todos os equipamentos de domótica).



Figura 8- Consola KNX da Jung [21].

2.7.2. Legrand

A empresa Legrand apresenta soluções de baixo-custo, de fácil instalação tanto para instalações por construir ou existentes, de sistema de domótica. Os equipamentos desta empresa comunicam a partir do protocolo *ZigBee*.

A principal característica desta solução é a acessibilidade, tanto em preço como facilidade de instalação. A mesma oferece por exemplo *starter pack's* em que um módulo de tomada (de 16 A) equipada com *gateway* irá conectar o sistema local à internet. A partir desse módulo central, o mesmo irá conectar-se com interruptores (com e sem fios) para o controlo de iluminação e eletrodomésticos, conforme exemplificado na Figura 9. O próprio utilizador configura o sistema consoante o desejado, seja em termos horários ou específicos.

Estes sistemas têm a valência de compatibilidade com as plataformas “*Apple Homekit*”, “*Google Assistant*” e “*Alexa*”, as quais permitem realizar a configuração e posterior utilização diária da solução instalada (a partir de *smartphone*, *tablet*, computadores).

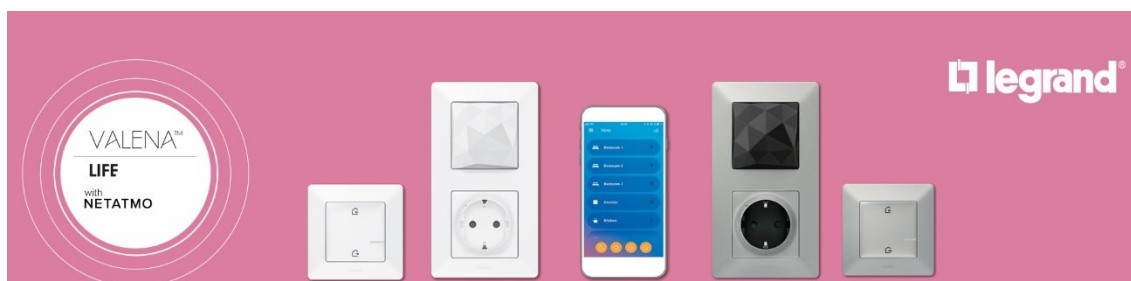


Figura 9- "Starter pack" da Legrand [22].

2.7.3. Philips Hue

O sistema de domótica Philips Hue, focado no controlo de iluminação, é especializado na integração de luminárias “inteligentes” da *Philips* e demais sensores desejados. O protocolo de comunicação *ZigBee* utilizado, é responsável por interligar os equipamentos com a *gateway* do sistema, com as luminárias e os sensores.

Os equipamentos desta empresa contemplam casquilhos com módulos de intercomunicação *wireless*, *dimmers* e relés para instalação direta nas caixas terminais e interruptores digitais para controlo local.

O utilizador pode a partir das demais aplicações existentes (“Google Assistant”, “Apple Homekit”, “Alexa”) configurar o sistema com os parâmetros desejados (horário, climatérico, eventos) e utilizar via internet o controlo do sistema. As plataformas *online* e *apps* oferecem uma interface acessível e rápida para a utilização das luminárias. Uma das desvantagens destas ofertas é o alto valor monetário de compra. A empresa oferece várias soluções comerciais, como é o exemplo da solução básica exposta na Figura 10.



Figura 10- Solução básica "PHILIPS HUE" [23].

2.7.4. Google Assistant

Esta plataforma desenvolvida pela Google, é uma solução de assistente de voz baseada no controlo *online* dos sistemas de domótica, sendo anexa aos mesmos. Seja o controlo através da fala, no qual o utilizador verbaliza as ordens para os aparelhos de interface humana, como

o *Google Home Device* ou controlo direto pela *Graphic user interface* (GUI). Este aparelho e interface gráfica são exibidos na Figura 11.

O utilizador pode controlar a iluminação, a climatização, os eletrodomésticos, os sistemas de segurança e audiovisuais do edifício a partir dessa plataforma. É assim um software compatível com qualquer sistema KNX, DALI, e outros baseados em *IoT*.

Sendo um sistema “inteligente”, o mesmo adapta-se aos eventos e ocorrências captadas pelo sistema, seja o ligar e desligar de luminárias durante a noite, abrir e fechar de portões aquando de saída de pessoas dos edifícios ou até o baixar de estores aquando de dias chuvosos. Estas plataformas *online* oferecem também apoio, na forma de documentação escrita ou audiovisual de como instalar e controlar os demais equipamentos integrados no sistema de domótica adquirido e instalado.



Figura 11 - Módulo "Google Home Assistant" e app de smartphone [24].

2.7.5. ORNO

A marca “ORNO” [25] disponibiliza uma gama de aparelhagens e equipamentos de domótica com capacidade de intercomunicação sem fios. Os mesmos são de fácil instalação e configuração, conforme ilustrados na Figura 12.

No caso do casquilho para lâmpadas OR-SH-1706, o mesmo suporta a utilização de lâmpadas E27. O casquilho permite o controlo remoto por transmissão via radiofrequência de 433.92MHz com a central de comando, realizando o controlo ON/OFF ou *dimming* da luminária.

A tomada elétrica “inteligente” OR-SH-1712 tem capacidade de intercomunicação também pela radiofrequência referida. O mesmo é capaz de controlar o estado ON/OFF de qualquer

carga elétrica acoplada à tomada elétrica, tendo também outros modelos capacidade de *dimming*.

O interruptor “inteligente” OR-SH-1704 é um interruptor eletrônico que intercomunica com a central de controlo do sistema via radiofrequência. O mesmo permite controlar o circuito elétrico ao qual estiver anexo através do seu relé integrado.

A consola de comando OR-SH-1709 é um comando centralizado, que através da intercomunicação das tomadas, casquilhos e interruptores inteligentes (através de radiofrequência) permite o controlo local do sistema.

A *gateway Wi-Fi* OR-SH-1701 é um equipamento que se liga a uma tomada tradicional, e que será responsável pela intercomunicação dos sinais de comando do sistema, deste modo realizando a “bridge” entre os equipamentos instaladas e a internet. Este equipamento permite assim o controlo remoto, através de software *online*, via *internet*. A empresa disponibiliza software específico para a monitorização e controlo de todo o sistema.



Figura 12 - Equipamentos ORNO [25].

2.8. Desenvolvimento acadêmico e científico

A investigação e desenvolvimento de sistemas de domótica, a nível académico e científico, tem tido como um dos seus focos a maior facilidade de instalação, configuração e preço desses sistemas. Nesse âmbito, foram sendo apresentadas na comunidade eletrotécnica internacional protótipos focados nesses objetivos, como é o caso da solução *DomoBus* [25] e vários protótipos experimentais desenvolvidos pela comunidade científica.

A solução *DomoBus* é um projeto de domótica desenvolvido pelo Prof. Dr. Renato Nunes (Instituto Superior Técnico). O seu foco é nas capacidades de intercomunicação de equipamentos de domótica com diferentes tipos de protocolos de comunicações e especificações, integrando-os num único sistema.

A arquitetura do sistema é baseada nas aplicações de módulos de controlo (atuadores, sensores) e módulos de supervisão (intercomunicação). Os mesmos serão compostos por placas de microcontroladores e microprocessadores que irão realizar todo o controlo das cargas elétricas e exportação de informações (estados, consumos elétricos, temperatura, luminosidade, etc). Esses módulos serão interligados com o sistema, que deterá *gateways* responsáveis pela intercomunicação dos dados via rede local *Local Area Network* (LAN) ou internet, como demonstrado no diagrama da Figura 13:

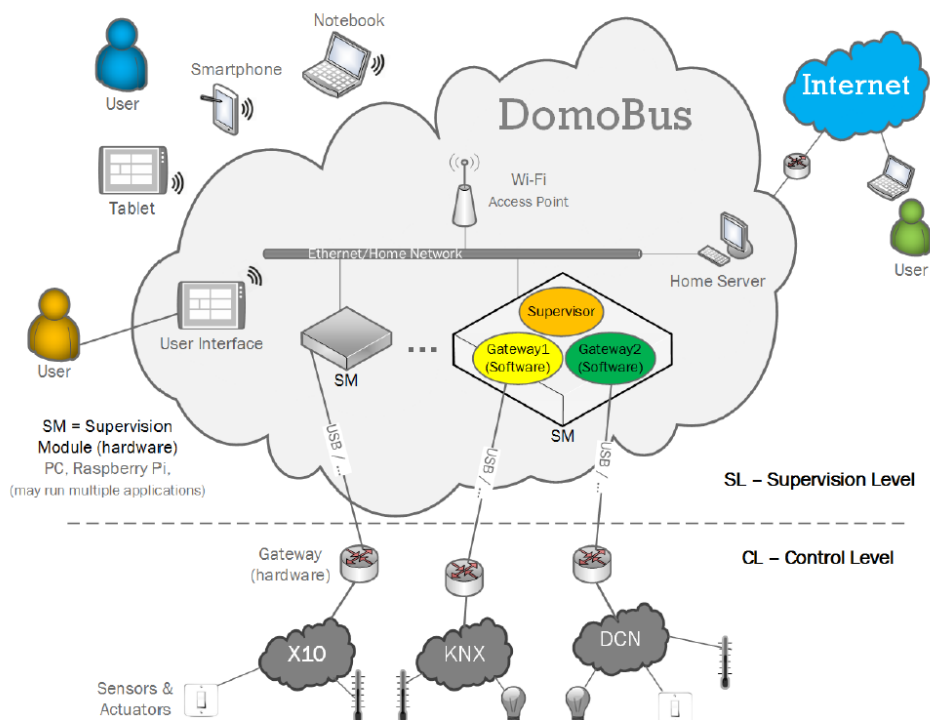


Figura 13 - Arquitetura geral de DomoBus [26].

O sistema é compatível com os existentes protocolos de comunicação existentes (X10, KNX, etc), é totalmente configurável e programável consoante os requisitos do utilizador, também sendo responsável pela gravação de dados relevantes (consumos elétricos, estados das cargas, históricos de sensores).

Em [27], é apresentada uma solução de domótica em forma de protótipo. Na Figura 14, é exibido um diagrama de blocos do protótipo experimental desenvolvido nesta solução.

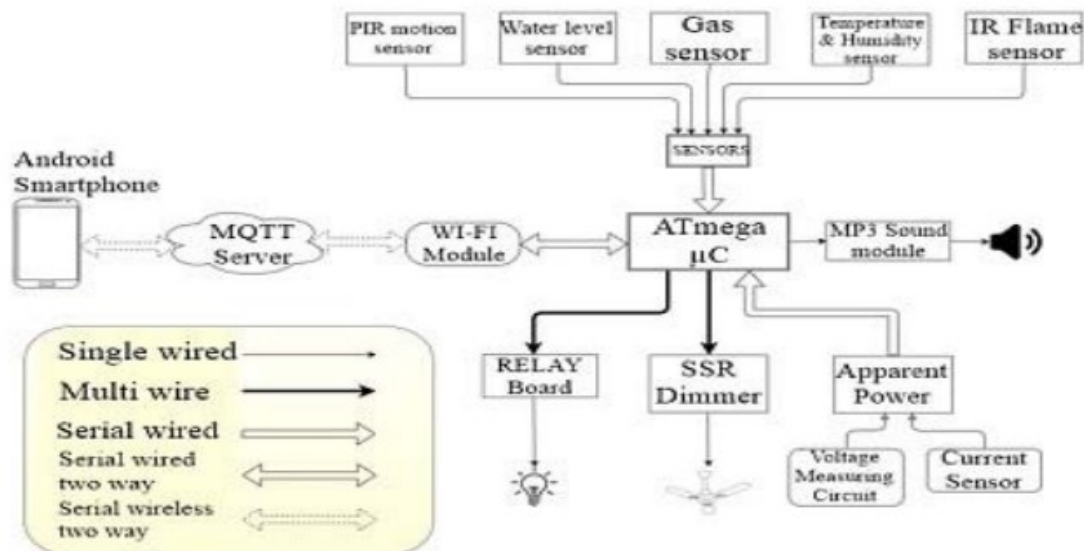


Figura 14- Diagrama de blocos do sistema de domótica [27].

A solução tem como objetivo a integração de sensores e atuadores, num sistema de domótica, em que a intercomunicação entre estes equipamentos será realizada via *Wi-Fi* (arquitetura *wireless*). Os sensores (movimento, inundação, gás, temperatura, incêndio) e atuadores (relés) serão ligados ao microcontrolador (*Atmel ATmega*) que enviará e receberá toda a informação via módulos *Wi-fi* (ESP-8266). Os módulos *Wi-Fi* irão realizar a interligação da central com servidores *online* MQTT, que serão acessíveis pelo software em website ou *app* de *smartphone*. A interface humana terá toda a informação dos inputs e outputs do sistema, permitindo ao utilizador total conhecimento e controlo das partes integrantes do sistema.

Esta solução valoriza-se pelo baixo custo dos equipamentos e da sua instalação, da sua interface *online* de informação e controlo, e também da sua aplicação em domótica de edifícios. Uma das suas desvantagens é a obrigatoriedade de ligação por cabo de todos os equipamentos desejados ao microcontrolador central. Também no caso de perda de conexão à internet (dos microcontroladores), impossibilita o uso de todo o sistema. Outra desvantagem é a impossibilidade de configuração do sistema pelo utilizador, sendo o mesmo completamente pré-construído. O utilizador não pode configurar os funcionamentos horários,

condicionais ou de interface de todo o sistema. Um outro aspeto menos positivo é a compatibilidade limitada com sensores e atuadores modernos.

O sistema referido em [27] necessita de ligação constante à internet, para funcionar como projetado, ou seja, o funcionamento por rede local (LAN) é impossibilitado. Sendo esse um requerimento essencial, a falta dessa ligação irá inutilizar todo o sistema.

Em [28] é apresentada uma solução com base em servidores locais, ou seja, ligado a uma rede local. Na Figura 15, é demonstrado em diagrama ilustrativo, a estrutura do protótipo implementado.

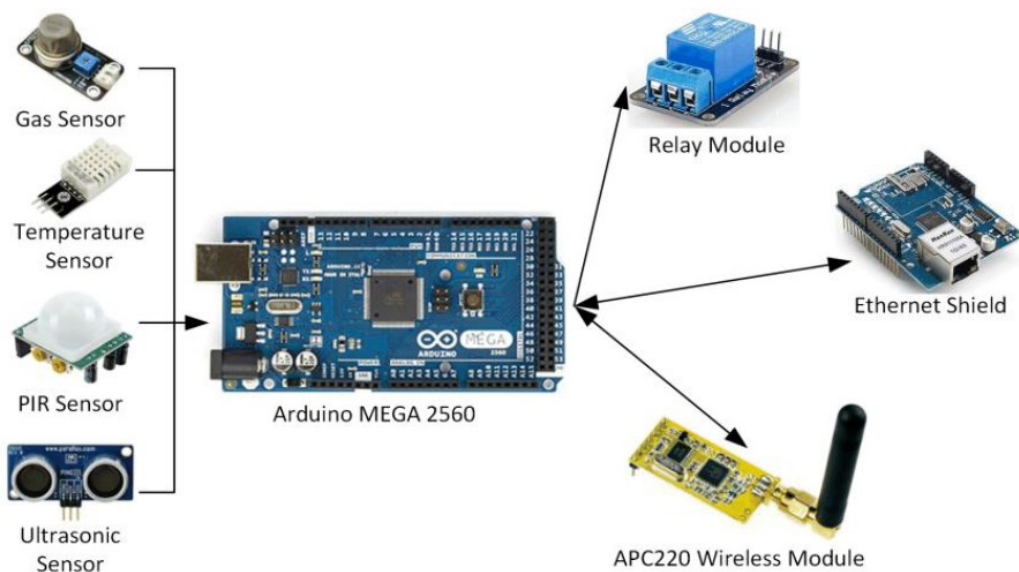


Figura 15- Diagrama da estrutura do sistema IoT [28].

À semelhança da solução em [27], os sensores e atuadores serão ligados a um microcontrolador (*arduino*), sendo esse microcontrolador equipado com módulos Wi-Fi com *ethernet shield* (porta digital para ligação *ethernet*). A comunicação estabelecida entre os microcontroladores e a rede local (via TCP/IP) com um *website* pré-criado e configurado, na rede local, é a estrutura de comunicações implementada do protótipo.

Outra desvantagem é a falha do servidor da rede local ou falta de ligação à internet que impossibilita a utilização do sistema. A necessidade de ligação por cabo dos equipamentos do sistema é também um detrimento. Um aspeto menos positivo do sistema é a impossibilidade de configuração do sistema por parte do utilizador final.

O sistema de domótica apresentado em [29], apresenta uma solução com funcionamento *online*, mas também, alternativamente, *offline* (em caso de falha da ligação do sistema à internet):

O sistema utiliza o protocolo de comunicação *Zigbee*. Através da central, neste caso uma placa de microcontrolador (*cubieboard*), a mesma estará ligada por comunicação sem fios, a módulos *Wi-Fi* (ESP-8266) e módulos programáveis com microprocessador (*Digi XBee® Zigbee*). É estabelecida a *gateway* de comunicação TCP/IP, interligando o sistema local com a internet.

Os demais sensores e atuadores são ligados às entradas e saídas lógicas dos módulos *Wi-fi* e *Zigbee*. A criação e interligação da GUI, permite a monitorização e controlo do sistema. O sistema detém no seu software opção de controlo local (servidor *offline*), ou seja, completamente desligado do servidor *online*. Na Figura 16, é exibido a *interface* do utilizador relativa à monitorização de consumo de energia das cargas, no protótipo desenvolvido.

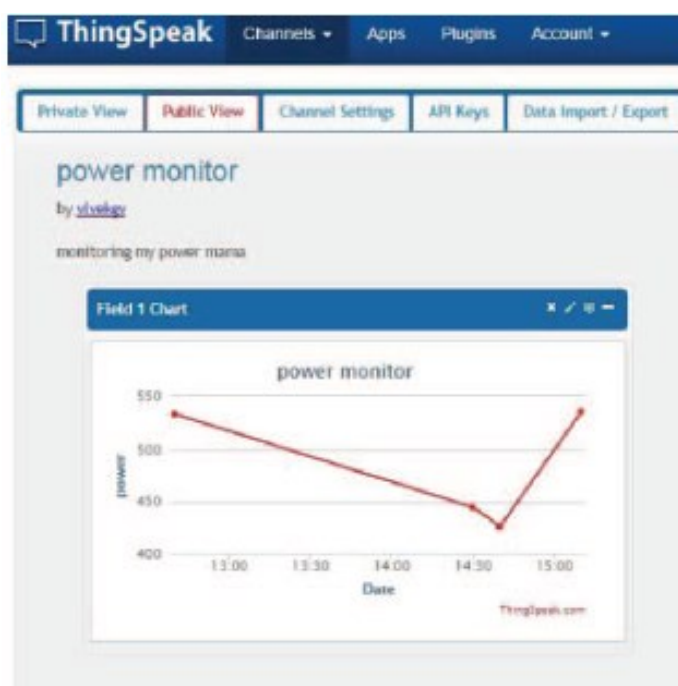


Figura 16 – Interface do protótipo do sistema de domótica desenvolvido [29].

O sistema da Figura 16, tem como valências o baixo consumo elétrico dos módulos de comunicação *wireless*, a possibilidade de funcionamento *offline*, baixo custo de equipamentos e gestão inteligente do sistema. As desvantagens na utilização desta solução residem na incompatibilização com muitos equipamentos *IoT*, aplicações limitadas de sensores e atuadores e muito pouco desenvolvimento de configurações temporais, condicionais e específicas do utilizador relativamente aos estados dos atuadores, ou seja, escassas configurações possíveis do sistema ajustadas pelo utilizador.

Dado o grande número de vias de comunicação entre equipamentos sem-fios, em [30], foi apresentado um sistema que utiliza tecnologia *Bluetooth* para intercomunicação, conforme

indicado na Figura 17, na forma de diagrama ilustrativo do protótipo experimental desenvolvido.

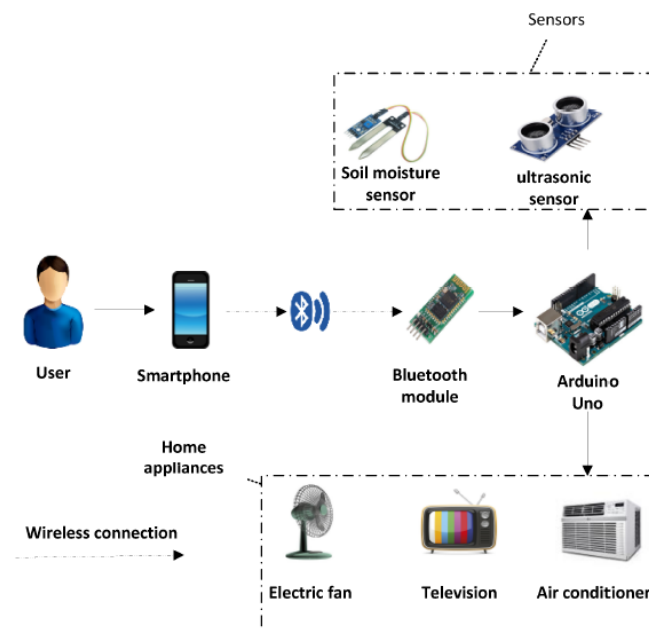


Figura 17 - Diagrama do sistema IoT [30].

De acordo com a Figura 17, verifica-se que o controle e gestão do sistema é realizada apenas através de dispositivos computacionais com capacidade *Bluetooth* (*smartphone's*, *tablets*, etc). O microcontrolador (*arduino*) realiza a interligação da informação do sistema através de *Bluetooth* (através de módulo *Bluetooth*), ou seja, o dispositivo computacional com capacidade *Bluetooth* está ligado através de *Bluetooth* com o microcontrolador. Os demais sensores e atuadores estarão ligados diretamente por cabo ao microcontrolador, nos pinos digitais/análogos de input/output. Foi desenvolvido e aplicado *software* para *smartphone/tablet* para interface com o utilizador. A desvantagem explícita é a dependência de *smartphone* como única opção de controle e monitorização do sistema. Também se destaca a fraca capacidade de configuração do sistema por parte do utilizador e gestão automatizada muito limitada do sistema.

Um dos desafios da domótica é a capacidade da independência e adaptação dos sistemas. Em [31], é apresentada uma metodologia e sistema de domótica inteligente, com capacidade de aprendizagem e adaptação do sistema consoante o uso do mesmo. É aplicado o conceito de *Data Mining* (processo de descoberta de padrões em grandes quantidades de dados), ou seja, a recolha e processamento de dados para obtenção de informação relevante no contexto. Neste caso é aplicado o algoritmo "*Naive Bayes Classifier*", responsável por esse processo. O resultado será a gestão melhorada do sistema de domótica, em termos de adaptação e eficiência energética.

Sendo um dos maiores desafios do universo da domótica, o preço dos seus sistemas e o impacto visual/técnico nas instalações dos edifícios, a comunidade científica e empresarial tem vindo deste modo a explorar estas opções que utilizam as comunicações sem-fios, em vez de sistemas dependentes de instalação física de cabos BUS e módulos tradicionais.

As soluções mais pretendidas são as menos intrusivas e mais económicas de implementar, em instalações existentes ou não, utilizando as telecomunicações *wireless*, sejam de radiofrequência, *Wi-Fi*, etc.

Os protocolos de comunicação apresentados, utilizados em sistemas de domótica com arquitetura *wireless*, diferem nas suas capacidades e características técnicas. No Anexo A apresentam-se os valores relativos às taxas de transmissão de dados, dos protocolos referidos, e os seus alcances de comunicação correspondentes [32]. O consumo energético dos equipamentos *IoT*, que utilizam estes protocolos, é crescente com o aumento das taxas de transmissão de dados correspondentes.

O sistema de domótica desenvolvido nesta dissertação, utiliza os protocolos MQTT e *Wi-Fi* na intercomunicação dos aparelhos, equipamentos e plataforma *online*. Os protocolos escolhidos foram selecionados pela sua grande capacidade de intercomunicação, alcance e da capacidade de, teoricamente, integrar um número infinito de aparelhos simultaneamente ao sistema (ao contrário dos outros protocolos apresentados). O mesmo não depende da instalação de cabos BUS na instalação, utilizando apenas módulos com capacidade *wireless*. Os módulos utilizados, caracterizados pelos preços reduzidos e dimensões reduzidas, podem tornar o sistema viável nas vertentes de instalação e impacto visual. A plataforma *online* utilizada, garante a fácil configuração e utilização do sistema por parte do utilizador, sendo extremamente ampla relativamente a módulos compatíveis e configurações possíveis.

Capítulo 3

3. PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE DOMÓTICA

No presente capítulo é apresentado o desenvolvimento teórico e prático do objeto da dissertação, o protótipo experimental de sistema de domótica para melhoria da eficiência energética.

São apresentados e descritos detalhadamente os módulos utilizados no sistema, desde as suas capacidades e limitações, como também as configurações e programações possíveis.

É também apresentada a implementação e utilização da plataforma online como via de controlo e monitorização do sistema.

3.1. Fundamentos

O protótipo de sistema de domótica, desenvolvido nesta dissertação, tem como principais focos:

- Custo relativamente baixo;
- Capacidade de implementação em instalações elétricas novas e existentes;
- Comunicação *wireless* por *Wi-Fi*, com base nas redes e estruturas *IoT (MQTT)*;
- Compatibilidade com diferentes atuadores, sensores e equipamentos *IoT*;
- A versatilidade e capacidade de configuração do sistema;
- Gestão inteligente da instalação elétrica;
- Melhoria da eficiência energética da instalação.

Na Figura 18, é apresentado um diagrama de blocos ilustrativo do protótipo experimental de domótica criado.

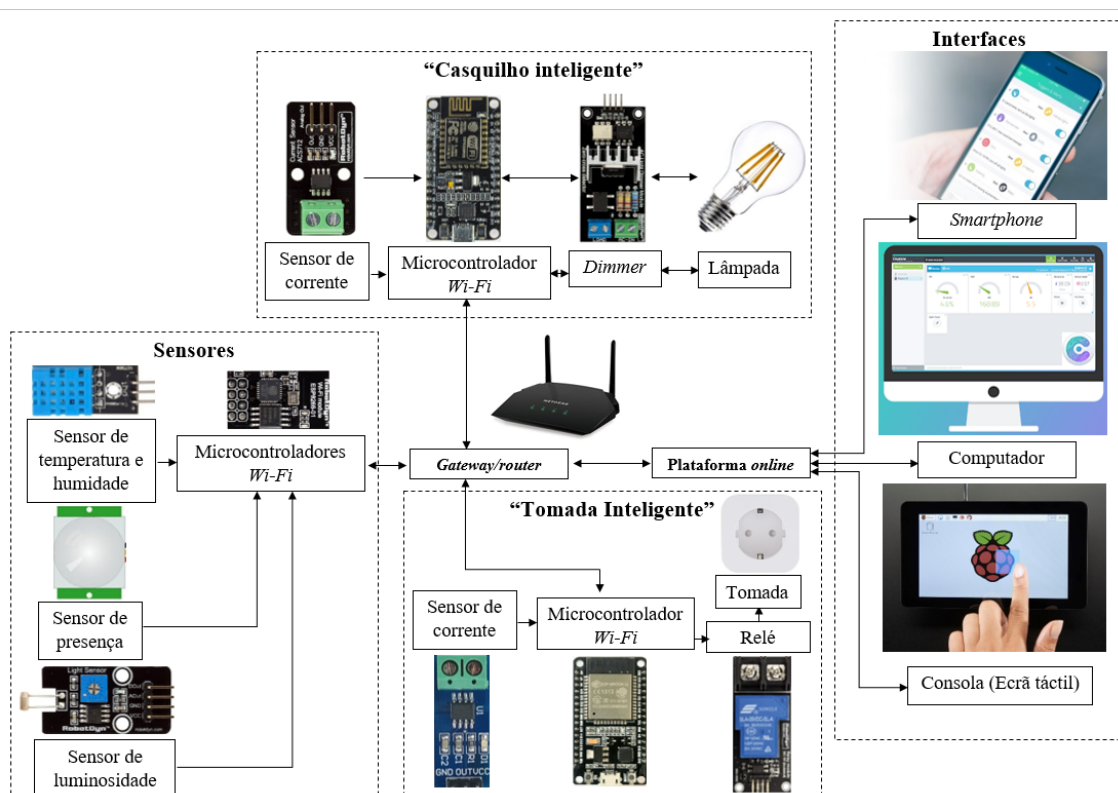


Figura 18- Diagrama de blocos do protótipo experimental.

O sistema contempla um conjunto de atuadores, responsáveis pelo controlo direto das cargas elétricas. Os sensores serão também parte nuclear do sistema, sendo responsáveis pela recolha de informação específica. Os mesmos serão ligados aos microcontroladores *Wi-Fi* utilizados, que irão intercomunicar a informação referente com plataforma *online*. As interfaces

de configuração, monitorização e controlo do sistema de domótica são a consola (ecrã tátil), computador/portátil ou *smartphone/tablet*.

Relativamente ao protótipo construído do sistema referido, o mesmo contemplará os diferentes aparelhos:

- Consola de controlo e monitorização do sistema (microcomputador com ecrã tátil);
- “Tomada Inteligente”: Tomada elétrica (230V AC, SCHUKO), responsável pelo controlo ON/OFF de cargas elétricas ligadas, como também a medição de potência e cálculo de energia elétrica consumida da carga;
- “Casquilho Inteligente”: Casquilho com módulo para ligação de lâmpadas (230V AC), responsável pelo *dimming* e controlo ON/OFF de luminárias, como também a medição de potência e cálculo de energia elétrica consumida da carga;
- Sensores de:
 - Temperatura e humidade relativa;
 - Presença;
 - Luminosidade (iluminância).

Os aparelhos referidos, são montagens realizadas a partir de módulos pré-construídos. Os aparelhos poderão ser instalados nos locais exemplares:

- Consola: Paredes ou mobiliário conveniente;
- “Tomada Inteligente”: Tomadas elétricas SCHUKO, caixas de derivação, caixas terminais, circuitos elétricos de alimentação ou finais (cargas finais), etc;
- “Casquilho Inteligente”: Casquilhos novos ou existentes, luminárias existentes ou novas;
- Sensor de temperatura e humidade relativa: Paredes ou mobiliário conveniente, tetos ou outros locais apropriados;
- Sensor de presença: Paredes, mobiliário conveniente ou tetos;
- Sensor de luminosidade: Paredes, mobiliário conveniente (como por exemplo no tampo de uma mesa de trabalho, entre outros);

Na Figura 19, é exemplificado para um local de escritório, as zonas de possível implementação dos aparelhos referidos:



Figura 19 - Exemplo de implementação dos aparelhos do sistema (escritório).

Sendo este um sistema versátil e adaptável às necessidades dos espaços e do utilizador, estes aparelhos e sistema podem ser instalados em todos os espaços interiores de permanência humana, sendo exemplos domicílios (quartos, salas, cozinhas, instalações sanitárias), escritórios, edifícios de serviços públicos, edifícios e espaços de lazer, etc.

3.2. Equipamentos utilizados no protótipo

O protótipo construído utiliza um conjunto de equipamentos e materiais escolhidos após pesquisa das soluções possíveis e análise das suas características. Foi realizada pesquisa relativamente à oferta comercial dos equipamentos necessários, tendo sido escolhidos equipamentos de relativo baixo custo e de aquisição acessível. Todos os equipamentos utilizados foram selecionados de forma a garantir a compatibilidade técnica no sistema (Alimentação elétrica, protocolos de comunicação e conexão, ligações físicas, sinais digitais ou analógicos de entrada/saída, etc), como também a capacidade de realizar os objetivos pretendidos com fiabilidade (controlo de cargas elétricas) e baixo erro de leituras (sensores) para garantir exatidão no controlo e recolha de informações do sistema. Na vertente prática, os equipamentos foram escolhidos com vista a serem de dimensões relativamente reduzidas, compatíveis com implementação em instalações elétricas existentes ou novas, que permitam uma instalação e utilização acessível pelo utilizador.

3.3. Raspberry Pi 3B (Consola)

A *Raspberry Pi 3B* é um microcomputador com microcontrolador integrado. Este microcomputador é utilizado em conjugação com o ecrã táctil referido no Capítulo 3.3.1., para fornecer ao utilizador uma interface gráfica do sistema. Deste modo, este microcomputador equipado com ecrã táctil será uma consola de monitorização, configuração e controlo do sistema de domótica. Na Tabela 1 são apresentadas as características da *Raspberry Pi* utilizada.

Tabela 1 – Dados técnicos da *Raspberry Pi* utilizada [33].

Designação	Raspberry pi 3B
Alimentação	5V DC
Porta	1x Ethernet
	4x Universal Serial Bus (USB)
	1x High-Definition Multimedia Interface (HDMI)
	1x DSI display
	1x CS (câmaras)
Entrada	1x Audio/video (AV) <i>jack</i>
Microcontrolador	40 pinos <i>General-purpose input/output</i> (GPIO) digitais, VCC (3,3V e 5V), GND
Processador	Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1GB
Protocolo de comunicação	BCM43438 wireless LAN
	Bluetooth Low Energy (BLE)
Memória	SD card

A *raspberry* funciona também como possível *gateway* das intercomunicações *Wi-Fi* (quando é apenas acessível cabo de rede *ethernet*, incompatibilidade de *Wi-Fi access points* com os microcontroladores, etc) com a plataforma *online*. Na Figura 20, apresenta-se o microcomputador referido:



Figura 20 - Raspberry pi 3 modelo B [34].

3.3.1. Ecrã TFT LCD (Interface)

O ecrã TFT LCD *touchscreen* utilizado na consola é acoplado ao microcomputador referido.

A acoplação deste ecrã à *Raspberry Pi* fornece ao utilizador uma forma direta e acessível de receber toda e qualquer informação processada no microcomputador como também a gestão/controlo das interfaces gráficas através de escrita de texto ou apenas clique em botões virtuais. Na Figura 21, apresenta-se a consola do protótipo, contemplando o referido ecrã táctil.

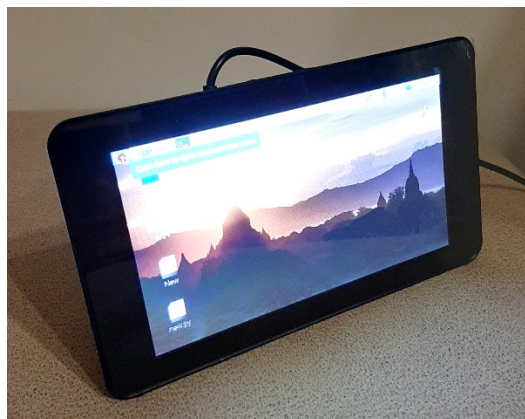


Figura 21 - Ecrã TFT LCD acoplado a Raspberry Pi (Consola).

3.4. Atuadores

Na área da domótica, os atuadores identificam-se como os equipamentos de comando elétricos responsáveis pelo controlo de cargas elétricas ou equipamentos controlados eletricamente, tais como luminarias, estores elétricos, portões, sistemas de rega, cargas elétricas ligadas por tomada (eletrodomésticos), equipamentos AVAC, entre outros.

Os atuadores utilizados neste protótipo são controlados por microcontroladores, externos aos mesmos, através de sinais digitais. Deste modo, esses microcontroladores ligados fisicamente aos atuadores, poderão ser microcomputadores, microcontroladores (*arduino, atmel, etc*) ou apenas microcontroladores de intercomunicação no caso deste protótipo (módulos ESP).

Para proteger os microcontroladores *Wi-Fi* acoplados a estes módulos, de qualquer defeito elétrico, os mesmos serão equipados com opto acopladores. Estes componentes são responsáveis pela transmissão de sinais elétricos entre dois circuitos elétricos por luz, pela utilização de um LED (no primário) e um foto diodo (no secundário), realizando a troca de informação digital entre os circuitos de comando e potência de maneira isolada eletricamente.

3.4.1. “Tomada Inteligente” (relés digitais)

A “Tomada Inteligente” é o aparelho com o atuador responsável pelo controlo ON/OFF de cargas elétricas, neste caso, de cargas ligadas a tomadas SCHUKO (230V AC). A mesma é equipada com módulos de relés digitais, interruptores controlados eletricamente, que permitem o controlo de cargas elétricas a partir de sinais digitais, neste caso, sinais de comando provenientes dos microcontroladores.

Deste modo, a carga elétrica será ligada aos pinos de potência, no caso do protótipo nos contactos normalmente aberto (NO), enquanto que os sinais de comando digitais serão enviados para o módulo relé através do pino input do mesmo. Na Figura 22, apresenta-se o relé digital utilizado no protótipo.

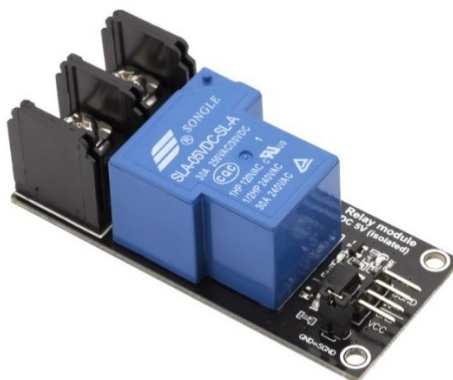


Figura 22 - Módulo de relé digital 5V DC, 30A [34].

Dado o seu tamanho reduzido, estes módulos são instalados em série com circuitos elétricos pontos de ligação e derivação (quadro elétrico, tomadas, caixas terminais, caixas de derivação, etc). Neste protótipo, o relé estará ligado em série com a tomada, realizando o controlo ON/OFF pela “Tomada Inteligente”.

3.4.2. “Casquilho Inteligente” (*Dimmer*)

O “Casquilho Inteligente” é o aparelho com o atuador responsável pelo controlo ON/OFF e controlo *dimming* de luminárias. Esse atuador é um módulo *dimmer*, equipado com *Triode for alternating current* (TRIAC), que pelo controlo de fase da tensão elétrica aos terminais da carga realiza o controlo da potência da carga (ligada em série com este conversor estático). No caso do “Casquilho Inteligente”, sendo lâmpadas (230V AC) a carga anexa, o controlo da potência da carga resultará na regulação do fluxo luminoso emitido pela lâmpada (*dimming*). Estes módulos também permitem também o *dimming* de motores (controlo da potência do motor) realizando o controlo da velocidade destas máquinas elétricas.

Os módulos *dimmer* são construídos em PCBs, onde são instalados pinos digitais e de alimentação do próprio módulo (5V ou 3,3V DC). O pino digital *Zc* é um pino output do *dimmer*, que envia a informação temporal da passagem da tensão elétrica pelo valor zero (*zero-crossing detection*), enquanto que o pino digital *Dimmer* será um pino input responsável pelo sinal de controlo da tensão (consoante o requerido).

O controlo de fase da tensão elétrica na carga será realizado através de TRIAC, sendo este constituído por dois tiristores (SCR) em anti-paralelo. O tiristor (SCR) é um interruptor estático, com estrutura de quatro camadas PNPN, três junções PN e três terminais: ânodo, cátodo e porta (*gate*). O semiconductor passa ao estado de condução (circuito fechado) com um impulso (disparo) de corrente injetado através da junção porta-cátodo. Respetivamente, o tiristor passa ao estado de corte (circuito aberto) quando a corrente que o atravessa tem valor absoluto nulo ($\omega t = \pi$). A passagem do tiristor à condução (pelo impulso de disparo na *gate*) requer que o mesmo esteja polarizado diretamente (tensão ânodo-cátodo positiva) e que a corrente do circuito de potência (a percorrer o tiristor) seja igual ou superior a um valor mínimo I_h (*holding current*). Na Figura 23 exhibe-se o esquema equivalente, símbolo do tiristor e característica corrente-tensão do tiristor [35][36].

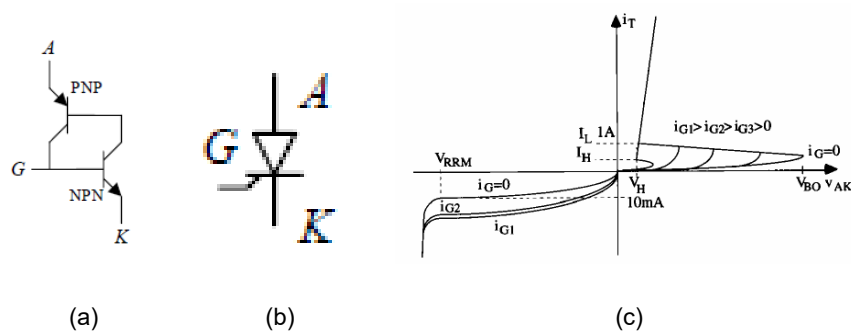


Figura 23 - (a) Esquema equivalente simplificado do tiristor; (b) Símbolo do tiristor; (c) Curvas características corrente-tensão do tiristor [35].

Deste modo, ao intervalo de tempo desde que o tiristor fica polarizado diretamente e o instante de disparo, denomina-se ângulo de disparo representado por α . Ao intervalo de tempo em que o tiristor passa ao estado de condução após o seu disparo, denomina-se ângulo de condução, representado pelo ângulo γ . Os ângulos são inversamente proporcionais, em que pela sua quantificação em radianos, ter-se-á: $\gamma = \pi - \alpha$, como explicitado na Figura 24 (adaptada) [36].

As metodologias usuais dos circuitos usados para disparo dos tiristores caracterizam-se pelo isolamento galvânico. As mais comuns são os transformadores de impulsos e os acoplamentos óticos (presente no TRIAC utilizado) [35].

Considerando uma carga resistiva pura, na Figura 24, exhibe-se as formas de onda da tensão na carga (durante o funcionamento do semiconductor) evidenciando os ângulos de disparo, condução e intervalos de condução dos tiristores em antiparalelo (TRIAC) ligados em série com a carga. O tiristor T1 permite controlar a corrente i_o (na carga) no sentido positivo (da corrente alternada), enquanto que o tiristor T2 realiza o controlo da corrente no sentido negativo [36].

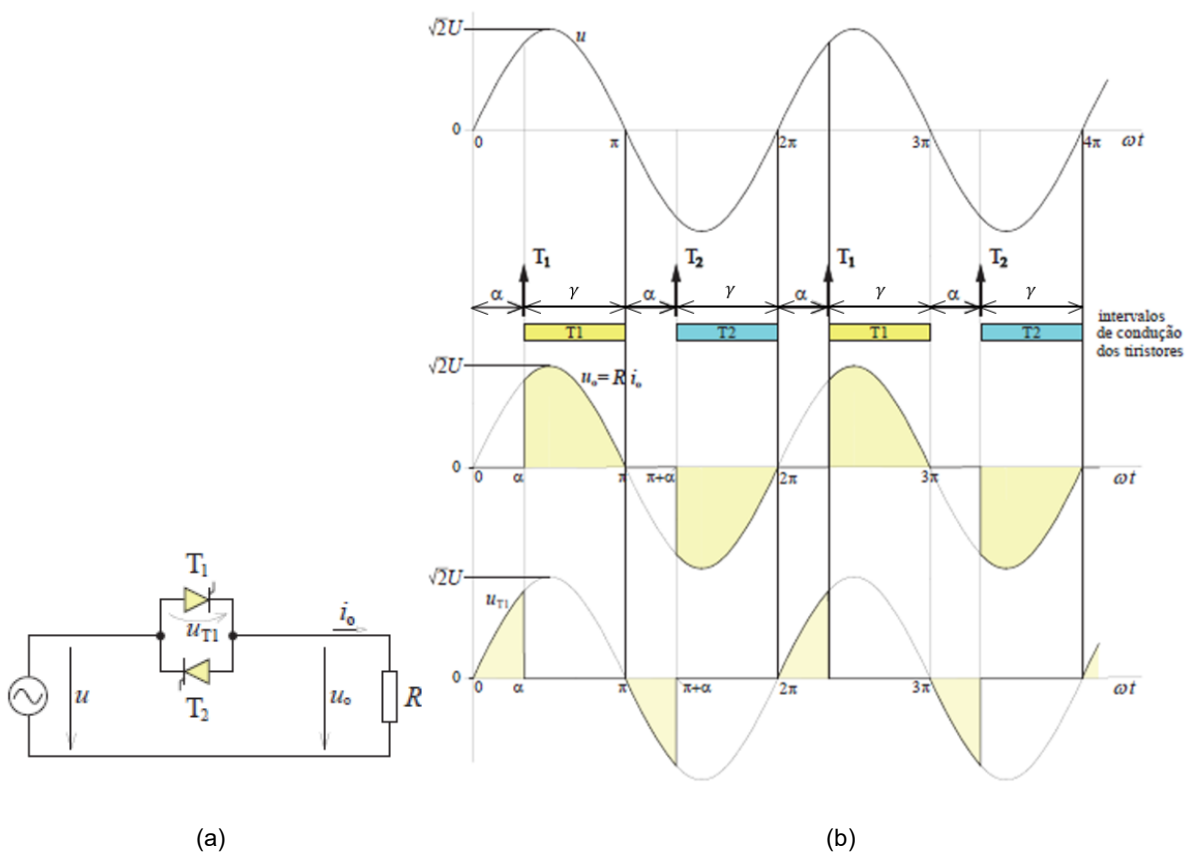


Figura 24 - (a) Esquema do circuito de controlo de fase monofásico com carga resistiva; (b) Diagramas de funcionamento evidenciando os ângulos de disparo e os intervalos de condução dos tiristores (adaptada) [36].

Através do controlo do TRIAC, ligado em série com a carga, é possível controlar a potência elétrica da carga. Deste modo, com o ângulo $\alpha = 0$, ter-se-á o valor máximo de potência da carga (valores máximo de i_0 e u_0). Para $\alpha = \pi$, a potência da carga é nula. Regulando o ângulo α dos tirístores, entre 0 e π , irá se controlar a potência da carga, respetivamente, entre 100% e 0% da sua potência máxima.

Pelos cálculos e considerações técnicas realizadas, foi imposto o referido na programação do microcontrolador anexo ao módulo *dimmer*. O *dimmer* integra o circuito de comando e a interface entre esse circuito e o circuito de potência. Realizando o estudo para um ciclo da tensão elétrica ($f=50\text{Hz}$), teremos ciclos com período de 20ms, ou correspondentemente, meio-período de 10ms. Tal é possível devido à simetria da forma de onda da tensão na carga

Pela equação da potência da carga, $P(W)$, controlada através de TRIAC (3.1) [36]:

$$P(W) = \frac{U^2}{R} * \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2\pi}\right) \quad (3.1)$$

Foram calculado os valores de $P(W)$, dependentes do nível de *dimming* imposto, para o exemplo de $P_{\text{máx}} = 100\text{ W}$. Na Tabela 2 e Figura 25, são apresentados os valores calculados referentes à potência da carga referida, consoante o nível de *dimming* (%) imposto.

Tabela 2 – Valores relativos à equação da potência da carga, por *dimming*.

Nível de <i>dimming</i> (%)	α (ms)	γ (ms)	γ (graus)	γ (radianos)	$P(W)$
0	10,00	0,00	0	0,00	0
10	9,00	1,00	18	0,31	1
20	8,00	2,00	36	0,63	5
30	7,00	3,00	54	0,94	15
40	6,00	4,00	72	1,26	31
50	5,00	5,00	90	1,57	50
60	4,00	6,00	108	1,88	69
70	3,00	7,00	126	2,20	85
80	2,00	8,00	144	2,51	95
90	1,00	9,00	162	2,83	99
100	0,00	10,00	180	3,14	100

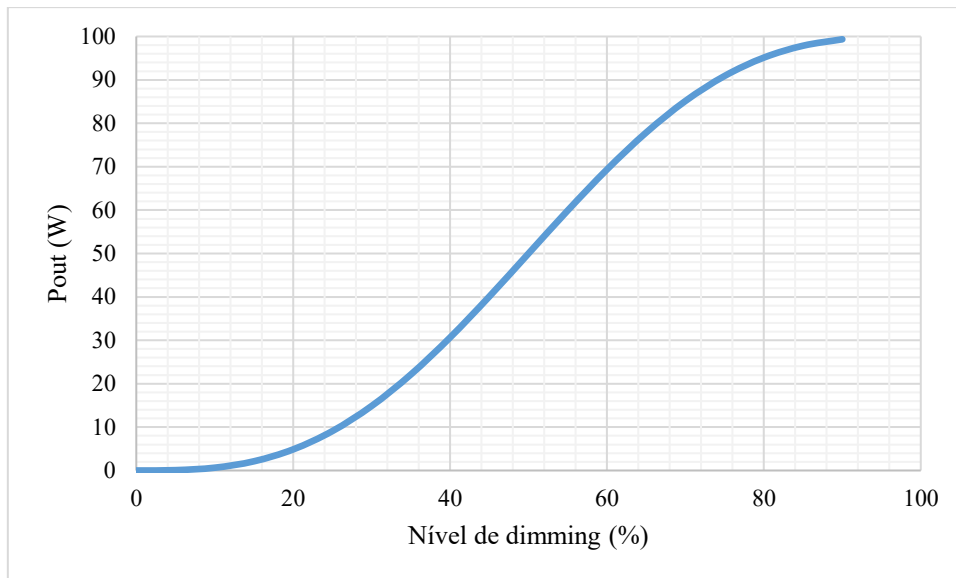


Figura 25 - Gráfico da relação entre o nível de dimming (%) e a potência da carga.

Deste modo, no cálculo da potência elétrica da carga ligada ao *dimmer* (luminária), será considerada a fórmula explicitada aquando de *dimming* da carga.

Na Figura 26, é exibido o módulo *dimmer* utilizado no protótipo.

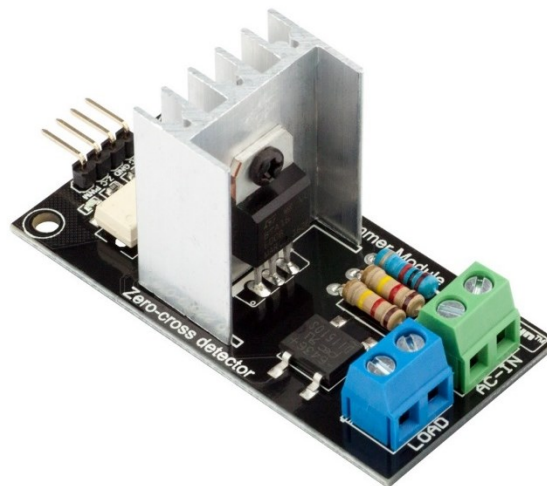


Figura 26 - Módulo Dimmer [34].

3.5. Sensores

A utilização de sensores é amplamente presente nas instalações elétricas, desde a nível industrial, domiciliário, edifícios recebendo público, entre outros. Destacam-se na área da

domótica os sensores de movimento, presença, luminosidade, temperatura, inundação, gases, fumos, voz, som, pressão atmosférica e toque.

As informações fornecidas por esses sensores, sejam de maneira contínua ou faseada, são essenciais para a monitorização dos edifícios ou estruturas, fornecendo alguns dos parâmetros pelos quais os sistemas são controlados (consoante a sua configuração).

3.5.1. Sensor de presença

O sensor de presença é utilizado para realizar um controlo requerido e inteligente dos equipamentos no sistema de domótica. Seja o controlo ON/OFF de luminárias, equipamento AVAC, deteção de intrusão, ou outros objetivos, estes sensores fornecerão informação contínua ao sistema de domótica sobre a presença humana no local onde é instalado.

Os sensores de presença utilizam sensores *Passive Infra Red* (PIR), utilizados para obtenção de informação relativamente a movimentos e/ou presença onde são instalados. Estes sensores são geralmente conhecidos por “Sensores de movimento” ou “Sensores de presença”, em que a diferença entre estes dois “tipos” de sensores é apenas na sensibilidade do nível de movimento presente necessário para a ativação. Os “sensores de movimento” são maioritariamente utilizados em corredores, instalações sanitárias ou locais em que os movimentos humanos são extensos, enquanto que os “sensores de presença” são de elevada sensibilidade ao movimento, sendo que apenas um ligeiro movimento de dedos ou inclinação de membros (exemplo de um clique num teclado) é o suficiente para ativar o sensor. O módulo utilizado é alimentado a 5V DC, com pino digital Output ligado ao microcontrolador ESP-01.

Na Figura 27 é exibido o sensor PIR utilizado no protótipo (sensor de presença).



Figura 27 - Sensor de movimento PIR [34].

No Anexo B, é apresentado o esquema de ligações do sensor de presença.

3.5.2. Sensor de luminosidade (iluminância)

O sensor de luminosidade é utilizado no sistema de domótica para o controlo requerido e inteligente de equipamentos de iluminação (luminárias, estores, entre outros), de acordo com as situações de iluminação presentes no momento.

O sensor de luminosidade utiliza módulos de sensores de iluminância, em que o sensor exportará para o sistema de domótica o valor de iluminância incidente no local onde é instalado. Os módulos de sensor de iluminância enviam informação contínua pelos pinos output no formato digital (*I/O state*) ou analógico (tensão DC) para o microcontrolador, sendo o mesmo alimentado a 3,3V ou 5V DC.

O modo de funcionamento do sensor de iluminância consiste na utilização de *Light dependent resistor* (LDR). Na presença e incidência de luz (natural ou artificial) na área do sensor, o valor da resistência elétrica desse LDR irá aumentar quanto maior a iluminância presente e vice-versa. É utilizado o pino output analógico, sendo o sinal analógico a tensão aos terminais da foto resistência. Com a calibração realizada, o mesmo possibilita a leitura dos valores da iluminância em lux, na área do sensor. Dado que o valor da resistência do LDR terá uma relação inversa com a iluminância detetada, sendo que a escala de 0 a 3,3V corresponderá a uma iluminância correspondente ao mínimo e ao máximo respetivamente.

Na utilização do pino *output* digital, o sinal de informação binário (*I/O state*) dependerá se está acima ou abaixo do limite definido no potenciómetro na PCB do módulo, em termos de iluminância incidente no sensor.

No capítulo 4 é realizado o estudo prático deste equipamento, para a utilização precisa do equipamento na obtenção do nível de iluminância na área do sensor.

Este sensor foi ligado ao microcontrolador *NodeMCU* ESP-32s (sendo também possível a sua ligação ao ESP8266 *NodeMcu*) dado que a ligação em sinal analógico ao ESP-01 é impossibilitada pela falta de pinos analógicos desse microcontrolador. Na Figura 28, é exibido o sensor de luminosidade utilizado no protótipo.

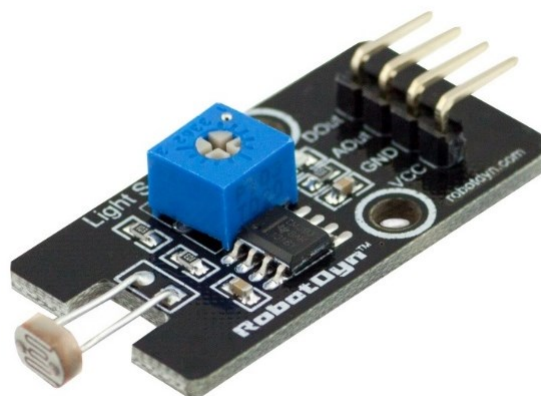


Figura 28 - Sensor de luminosidade (iluminância) [34].

3.5.3. Sensores de corrente

Os módulos de sensores de corrente são utilizados no sistema de domótica para medir potências e calcular a energia elétrica consumida pela carga ligada ao “Casquilho Inteligente” e à “Tomada Inteligente”.

Os módulos de sensores de corrente são equipamentos utilizados para a leitura de valores de corrente em circuitos com tensões AC ou DC, de um dado circuito elétrico. O referido sensor é de efeito *hall*, nos quais existe um circuito condutivo de cobre que com aplicação de corrente elétrica criam um campo magnético que é captado pelo circuito integrado, convertido numa tensão proporcional, no pino analógico Vout do módulo. Essa tensão proporcional é a informação quantitativa que permite a leitura do nível de corrente no circuito elétrico acoplado nos bornes de potência. Na Tabela 3 são caracterizados os módulos de sensor de corrente utilizados:

Tabela 3 – Dados característicos dos ACS712 utilizados (dados do fabricante).

	Tensão de alimentação (V DC)	Sensibilidade (mV/A)	Erro (%)
ACS712 5A (“Casquilho Inteligente”)	5	66	1,5
ACS712 20A (“Tomada Inteligente”)	5	185	1,5

O sensor de corrente é um sensor bidirecional, em que o pino analógico terá tensão de 5V aquando da corrente elétrica se encontrar no valor máximo do calibre (no circuito de potência), e tensão 0V quando a corrente elétrica estiver no valor máximo negativo.

Para uma melhor compreensão das limitações técnicas deste equipamento e da sua aplicabilidade no sistema, foram realizados os ensaios e análises teóricas e práticas presentes no capítulo 4. Os ensaios contemplados baseiam-se na análise do sinal de saída comparando com a corrente no circuito de potência, a sua linearidade e precisão de amostragens. Na Figura 29, é exibido o sensor de corrente utilizado no protótipo.

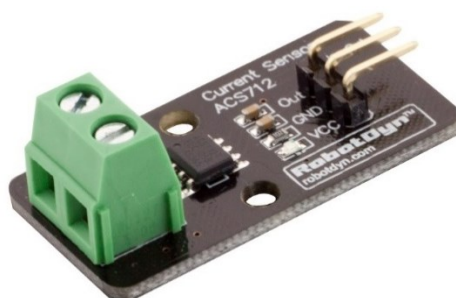


Figura 29 - Módulo de sensor de corrente ACS712 [34].

3.5.4. Sensor de temperatura e humidade relativa

O módulo de sensor de temperatura e humidade relativa (DHT11) é utilizado no sistema de domótica para obtenção do valor de temperatura (°C) e humidade relativa (%) no espaço onde é instalado. Essa informação é utilizada pelo sistema de domótica para realizar o controlo requerido e inteligente de equipamentos AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado). Na Tabela 4, são apresentados os dados característicos deste sensor:

Tabela 4 – Dados característicos do DHT11 utilizado.

Tensão de alimentação	3 a 5V DC	
Taxa de amostragem	1Hz	
	Temperatura	Humidade relativa
Erro	+/- 2°C	+/- 5%

Na Figura 30, é exibido o sensor de temperatura e humidade utilizado no protótipo.

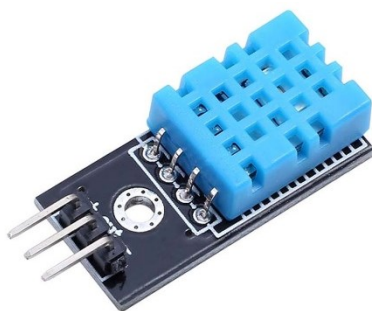


Figura 30 - Sensor de temperatura e humidade DHT11 [34].

No anexo c, é apresentado o esquema de ligações do sensor de temperatura e humidade implementado no protótipo.

3.6. Microcontroladores *Wi-Fi*

3.6.1. ESP8266

Os microcontroladores ESP8266 são responsáveis pelo controlo de atuadores e recebimento da informação dos sensores, como também a intercomunicação com o sistema de domótica. A sua valência reitera na implementação de soluções *wireless*, ou seja, os módulos que esta placa controla ou recebe informação terão a possibilidade de intercomunicação *Wi-Fi* com redes, e conseqüentemente, plataformas computacionais/software específico [37].

Na Tabela 5 são apresentados os dados característicos do ESP8266 (chip).

Tabela 5 – Dados característicos do microcontrolador ESP8266 (chip) [37].

Arquitetura	32-bits
Normas	IEEE 802.11b/g/n
Protocolo de comunicação	Wi-Fi, TCP/IP, <i>Bluetooth</i>
Tensão de alimentação (V DC)	2,7 a 3,6

Estes módulos têm uma vasta gama de modelos, variando em tamanho, capacidade e velocidade de processamento, capacidade de ligações, compatibilidade com sinais analógicos e digitais, etc.

Os módulos ESP-01 são os de tamanho mais reduzido, utilizados com os sensores referidos implementados neste sistema de domótica. Na Tabela 6 são apresentados os dados característicos deste microcontrolador.

Tabela 6 – Dados característicos do microcontrolador ESP-01 [37].

Tensão de alimentação (V DC)	2,7 a 3,6
Pinos GPIO acessíveis	2 digitais
Potência máxima (W)	0,6

O módulo *DevKit CP2102 NodeMCU V3 Lua* é utilizado no “Casquilho Inteligente”. Na Tabela 7 são apresentados os dados característicos deste microcontrolador,

Tabela 7 – Dados característicos do microcontrolador *DevKit CP2102 NodeMCU V3 Lua* [37].

Tensão de alimentação (V DC)	4,75 a 10
Pinos GPIO acessíveis	17 digitais, 1 analógico
Resolução do ADC	10-bit (0 a 1023)
Potência máxima (W)	0,9

Na Figura 31 são exibidos os módulos ESP8266 utilizados no sistema de domótica.

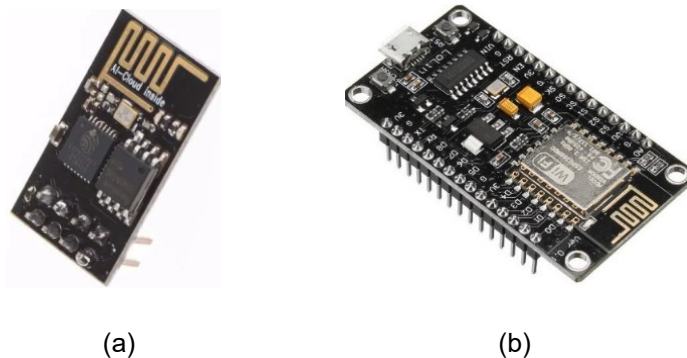


Figura 31 - Módulos ESP8266; (a) ESP-01; (b) DevKit CP2102 NodeMCU V3 Lua [34].

A programação destes módulos é realizada através de plataformas de programação, como é o caso da utilizada neste protótipo, o *Arduino Integrated Development Environment* (IDE). O mesmo permite a programação destes módulos com base nos *Software Development kit* (SDK) fornecidos pelos fabricantes e também bibliotecas de programação aplicáveis.

O módulo ESP8266 *NodeMCU* utilizado no “Casquilho inteligente”, irá controlar o *dimmer* referido. O módulo também irá receber a informação do sensor de corrente utilizado, neste caso o sensor ACS712 de calibre 5A, que irá medir a corrente elétrica na luminária inteligente.

Considerando que o sensor de corrente é alimentado a 5V, aquando de corrente máxima no sensor o mesmo iria ter 5V no pino de saída analógica e vice-versa. Dado que o pino analógico do NodeMCU não pode receber valores de tensão superiores a 3,3V, não se poderá utilizar

toda a gama de medição do sensor de corrente referido. Porém, dado que o mesmo é utilizado para medição de potência numa luminária de espaço interior, o valor de 3,3V nunca é ultrapassado (potências reduzidas).

Realizando os cálculos teóricos, são obtidos os valores teóricos esperados, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores teóricos esperados nas medições com o sensor de corrente ACS712 5A.

Corrente elétrica no circuito de potência do ACS712 (5A)	Tensão de saída do sensor (pino analógico)	Sinal digital convertido à saída do ADC do <i>NodeMCU</i>
5A	5V	N/A
3,3A	3,3V	747
0A	2,5V	511
-3,3A	1,5V	275
-5A	0V	0

O esquema de ligações, realizadas para o “Casquilho inteligente”, está exibido no Anexo D.

3.6.2. ESP-32

O módulo ESP-32 é o microcontrolador responsável pelo controlo do atuador (relé digital) e recebimento de informação do sensor de corrente (“Tomada Inteligente”) e do sensor de luminosidade do sistema de domótica. Na Tabela 9 apresentam-se os dados característicos do ESP-32 (chip).

Tabela 9 – Dados característicos do microcontrolador ESP8266 (chip) [37].

Arquitetura	32-bits
Normas	IEEE 802.11b/g/n
Protocolo de comunicação	Wi-Fi, TCP/IP, <i>Bluetooth</i>
Tensão de alimentação (V DC)	2,3 a 3,6

O módulo *DevKit NodeMCU-32s* é utilizado para os equipamentos referidos. Na tabela 10 são apresentados os dados característicos desse módulo.

Tabela 10 – Dados característicos do microcontrolador *DevKit NodeMCU-32s* [37].

Tensão de alimentação (V DC)	3,3 a 15
Pinos GPIO acessíveis	36 digitais, 10 analógicos
Resolução dos ADC's	12-bit (0 a 4096)
Potência máxima (W)	1,2

Na Figura 32, é apresentado o microcontrolador ESP-32 utilizado no protótipo.



Figura 32- NodeMCU-32s.

Dado que o pino analógico deste microcontrolador não pode receber valores de tensão superiores a 3,3V, não se poderá utilizar toda a gama de medição do sensor de corrente referido. Deste modo, realizando os cálculos teóricos, os valores referentes são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores teóricos esperados nas medições com o sensor de corrente ACS712 20A.

Corrente elétrica no circuito de potência do ACS712 (20A)	Tensão de saída do sensor (pino analógico)	Sinal digital convertido à saída do ADC do <i>NodeMCU</i>
20A	5V	N/A
6,4A	3,3V	3400
0A	2,5V	2048
-6,4A	1,7V	1392
-20A	0V	0

No Anexo E, é exibido o esquema de ligações da “Tomada Inteligente”.

Os consumos energéticos, dos equipamentos nos módulos atuadores e sensores, são desprezáveis [34].

3.7. Plataforma *online*

O protótipo desenvolvido nesta dissertação, na forma de protótipo *IoT*, é totalmente controlado e gerido pela plataforma *online* gratuita “*Cayenne MyDevices*” [38]. A mesma tem a versão gratuita (utilizada), livre para protótipos, mas também uma versão profissional para aplicações comerciais. A versão profissional possibilita funcionamento *offline* (servidor local), configuração mais extensiva da plataforma e do sistema, gravação e histórico mais extenso de dados, apoio técnico especializado e constante, etc.

A plataforma é uma *Application Programming Interface (API) builder*, compatível com variadas IDE's (*ArduinoIDE, Visual studio, Eclipse, etc*), SDK's e protocolos de comunicação. O *software online* criado mantém conexões totalmente encriptadas com os equipamentos conectados, pelos protocolos de comunicação *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*, *MQTT*, *LoRa*, entre outros (*MQTT* neste caso).

Sendo o protocolo *MQTT* o utilizado em todo o protótipo, esta plataforma será responsável por todo o sistema, configuração, implementação e utilização, incluindo a função de “*MQTT broker*” anteriormente explicado.

A utilização desta plataforma destaca-se pela:

- Autenticação obrigatória para utilização total do software e conseqüentemente do sistema por ela controlada;
- Transmissão contínua de informação relativa ao sistema;
- Gravação e apresentação de históricos relativos a valores configurados e programados;
- Programação e configuração de painéis de controlo do sistema para o utilizador em forma de *dashboard* (painel de apresentação de informações e de controlo de interfaces);
- *Layouts* (designs) personalizáveis;
- Compatibilidade com uma grande gama de equipamentos *IoT*;
- Vasta utilização pela comunidade técnico-científica (conseqüente desenvolvimento técnico e prático);
- Configuração, programação e utilização via *website* ou *mobile app*, podendo deste modo ser utilizada em consolas (por exemplo *Raspberry Pi* + ecrã táctil), computadores, *smartphones*, entre outros.

O painel de controlo a que o utilizador tem acesso na plataforma é totalmente configurável. Nesse painel podem ser introduzidos e apresentados gráficos com qualquer informação desejada:

- Consumos de energia elétrica;
- Temperatura;
- Humidade relativa;
- Níveis de luminosidade;
- Níveis de água;
- Valores quantitativos de gases;
- Detecção de presença;
- Medição de Ph;
- Medição de pressão atmosférica;
- Entre outros.

É permitida a introdução e utilização de *widgets* (elemento de interação em interfaces gráficas), ou seja, botões em formato ON/OFF ou controlo de barra deslizante para:

- Controlo de luminárias (ON/OFF e regulação de fluxo luminoso);
- Controlo de cargas (motores de qualquer aplicação e controlo da sua velocidade, ou qualquer equipamento controlado eletricamente, como eletrodomésticos).

Os *widgets* para além de proporcionarem controlo de equipamentos, são também aplicáveis a sensores de qualquer tipo transmitindo toda a informação ao utilizador relativamente ao sensor anexo a esse *widget*.

A criação de eventos é possibilitada para qualquer horário ou data e qualquer padrão/repetibilidade, com a implementação de:

- Agendamento de determinado controlo de cargas;
- Desligar de luminárias durante o período noturno;
- Subida de estores elétricos aquando do alarme matinal;
- Controlo de equipamentos AVAC em certos horários, valores de temperatura, humidade relativa, ou qualquer configuração desejada;
- Entre outros.

A criação e configuração de condições e ações, denominados *triggers*, permite uma extensiva e ampla configuração e utilização do sistema, sendo exemplos:

- No caso de deteção de movimento pelos sensores, a luminária ligada ao “Casquilho Inteligente” irá ligar a luminária ou desligar a mesma aquando de não presença humana no local;

- Detecção de níveis elevados de iluminação pelo sensor de luminosidade, que pela configuração de um *trigger*, irá causar o levantamento dos estores e desligar de luminárias para evitar a utilização desproporcional das mesmas dessa divisão, permitindo uma poupança de energia mantendo níveis luminotécnicos aceitáveis na divisão;
- Parametrização de *triggers* que controlem o fluxo luminoso emitida por uma luminária consoante o nível de luminosidade presente nessa divisão, ou seja, aquando de pouca luminosidade natural, o “Casquilho Inteligente” irá impor um nível de luminância apropriado à situação;
- Controlo ON/OFF de equipamentos AVAC a partir da informação obtida do sensor de temperatura e humidade. Aquando de temperaturas superiores ao definido ou níveis de humidade relativos definidos, os aquecedores, ar-condicionados, ventoinhas, desumidificadores e outros aparelhos de climatização irão ser controlados até se atingirem os níveis requeridos de climatização.

Os *trigger's* são também programáveis para enviar mensagens (via email ou sms) aos utilizadores, consoante certos acontecimentos escolhidos/requeridos. Sejam eles a deteção de movimento ou intrusão, deteção de inundação por parte de sensores apropriados, deteção de gases perigosos, deteção de intrusão por parte de câmaras, entre outros, o utilizador receberá notificação imediata desses acontecimentos por essas vias. Na Figura 33 é exibido um exemplo dos *layouts* passíveis de serem criados na plataforma.

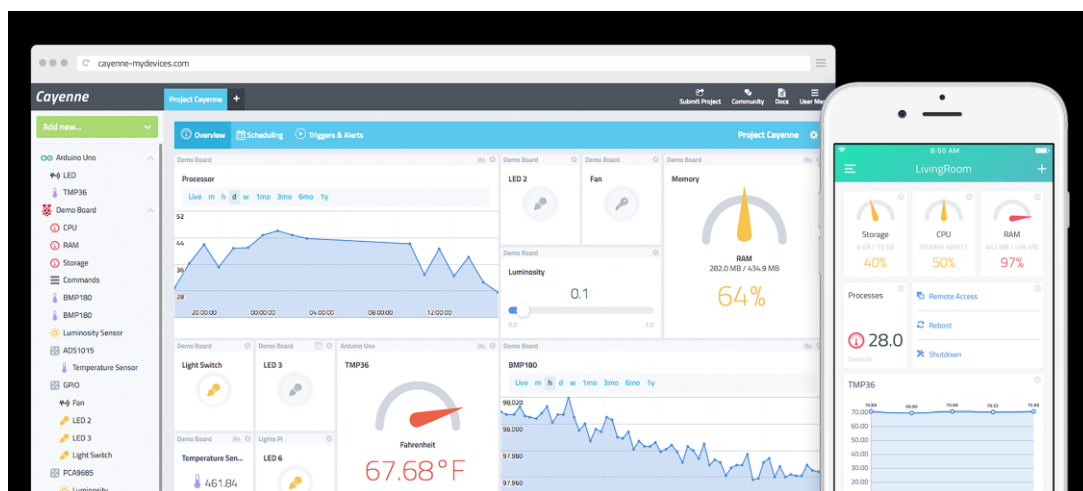


Figura 33 – Exemplo de layout da plataforma online “Cayenne MyDevices” [38].

Capítulo 4

4. RESULTADOS DO PROTÓTIPO EXPERIMENTAL

No presente capítulo são apresentados os resultados experimentais do trabalho prático realizado na dissertação.

São analisados e apresentados os valores e resultados obtidos, relativamente ao funcionamento dos equipamentos e aparelhos implementados, como também os ensaios práticos realizados para testes do protótipo.

Posteriormente apresenta-se a discussão dos resultados obtidos, de acordo com os pressupostos teóricos e na validação prática das considerações teóricas.

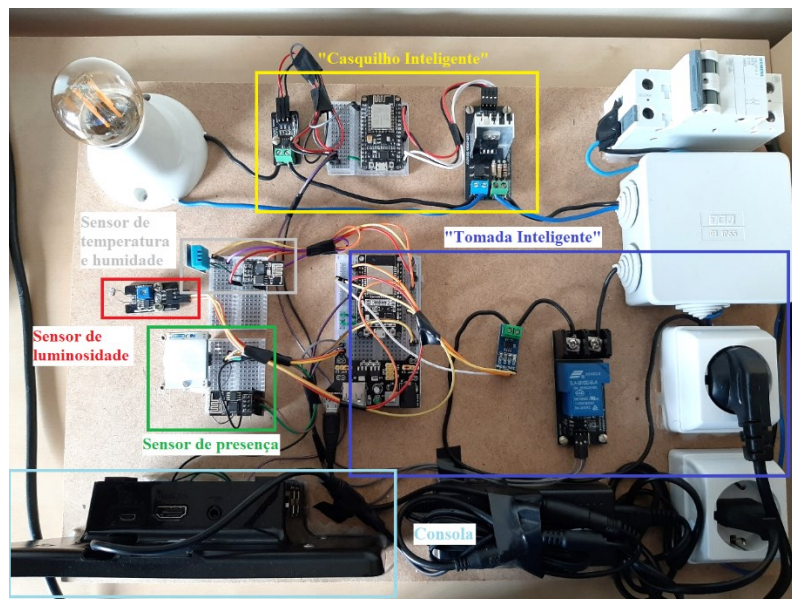
4.1. Introdução

No presente capítulo são apresentados os resultados experimentais obtidos com o protótipo experimental desenvolvido como sistema de domótica.

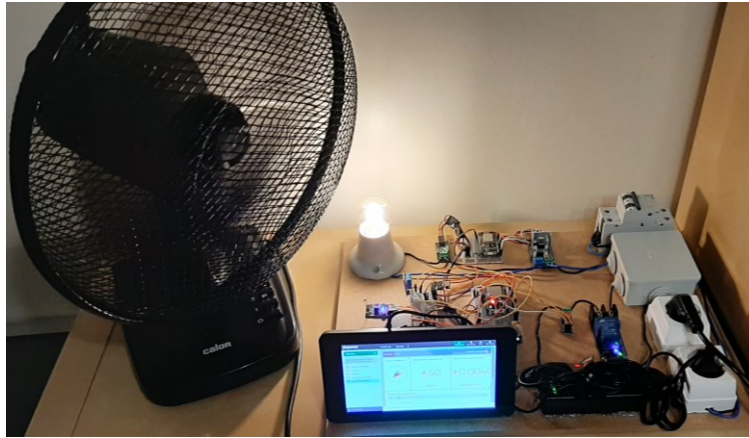
- No subcapítulo 4.2, são explicitados os resultados experimentais relativos ao “Casquilho Inteligente”;
- No subcapítulo 4.3 são exibidos os estudos prático do sensor de luminosidade, como também os resultados finais da utilização do sensor para obtenção dos valores de iluminância;
- No subcapítulo 4.4 são exibidos os resultados finais obtidos da implementação do sensor de presença no sistema de domótica;
- No subcapítulo 4.5. são apresentados os resultados obtidos do estudo prático e implementação da “Tomada Inteligente”;
- No subcapítulo 4.6 encontram-se os resultados finais obtidos da implementação do sensor de temperatura e humidade relativa no sistema de domótica.

O protótipo desenvolvido contempla todos os equipamentos e componentes referidos anteriormente (“Casquilho Inteligente”, “Tomada Inteligente”, sensor de temperatura e humidade, sensor de presença e sensor de luminosidade) como também todos os circuitos de potência e aparelhagem elétrica necessária para utilização adequada do protótipo (Disjuntor, caixa de derivação, tomadas *SCHUKO*, circuitos elétricos, etc).

Na Figura 34 é exibido o protótipo construído.



(a)



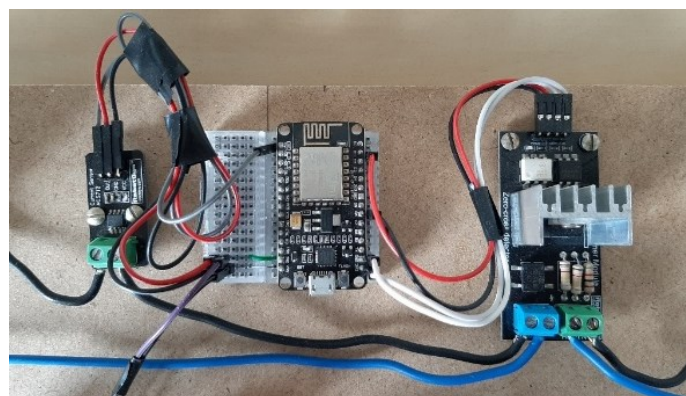
(b)

Figura 34 – Protótipo construído: (a) Vista em planta, (b) Vista frontal.

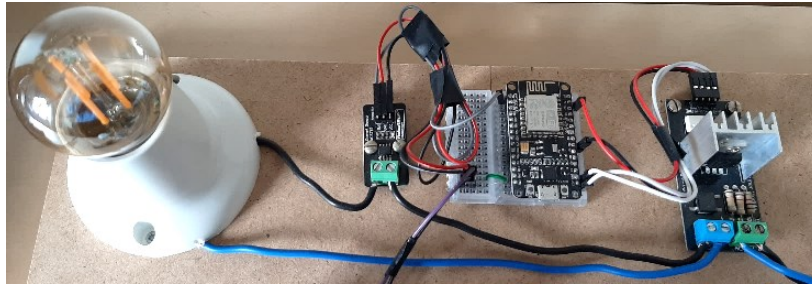
O protótipo experimental apresentado na Figura 33 foi construído numa base única, com todos os aparelhos referidos no Capítulo 3. No Anexo F, é apresentado o protótipo experimental à escala (1:2), com todos os seus constituintes implementados. No Anexo G, são explicitados os valores monetários dos principais componentes necessários para cada módulo do protótipo para comparação preliminar e simplificada com outras soluções de domótica existentes. No Anexo H, são apresentadas as metodologias e procedimentos de integração e configuração de aparelhos *IoT*, no sistema de domótica (plataforma *online*).

4.2. Ensaios do “Casquilho Inteligente “

O “Casquilho Inteligente” contempla o *dimmer* implementado, para o controlo ON/OFF e *dimming* de luminárias e o sensor de corrente. A programação implementada no microcontrolador utilizado neste aparelho encontra-se no Anexo I. Na Figura 35 é apresentado o “Casquilho Inteligente” implementado no protótipo.



(a)



(b)

Figura 35 - Fotografia do "Casquilho Inteligente"; (a) Constituintes do "Casquilho inteligente"; (b) Ligação com luminária (Lâmpada LED).

Realizando a programação do microcontrolador e configuração da plataforma *online*, o utilizador realiza o controlo da luminária a partir de um botão de barra deslizante, com valores de 0% a 100% do fluxo luminoso da mesma (em incrementos de 1%), em que 0% a mesma estará desligada (OFF) e 100% encontrar-se-á no estado de fluxo luminoso máximo (ON). Na *dashboard* respetiva, também é disponibilizado um botão virtual, em que o utilizador pode ligar ou desligar completamente a luminária, sem necessidade de controlar a barra deslizante (Controlo ON/OFF). Na Figura 36 são apresentados os botões referidos:

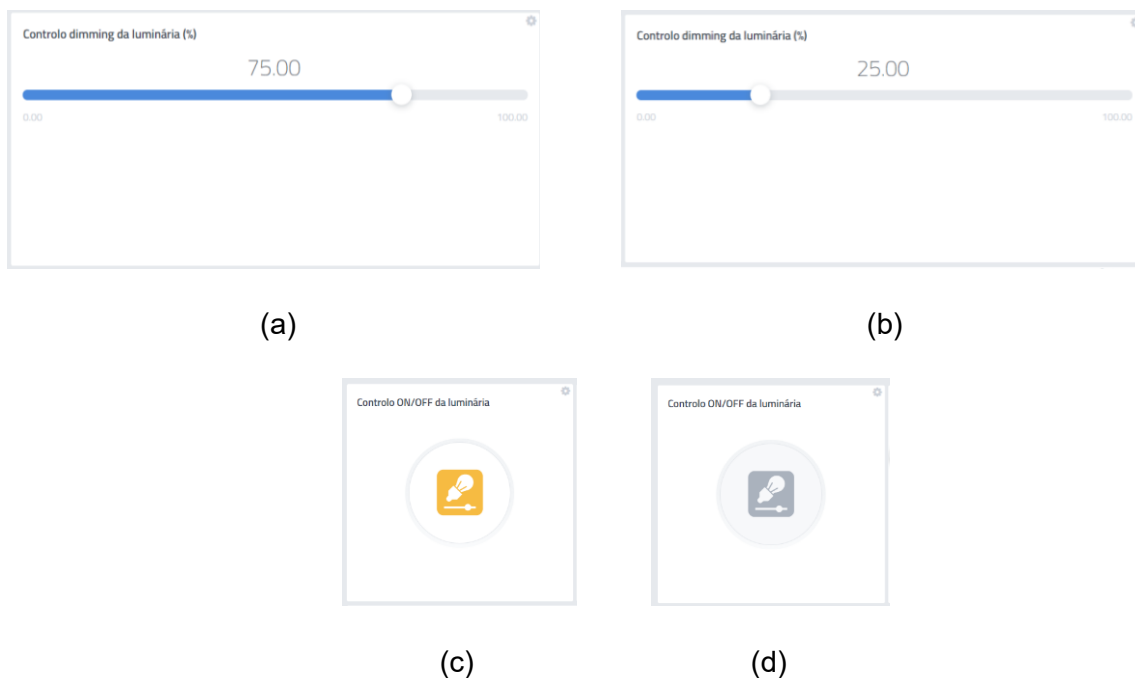


Figura 36 –Botão de barra deslizante para controlo dimming da luminária; (a) para 75%, (b) para 25%; Botão para controlo ON/OFF da luminária; (c) Botão com a luminária ligada, (d) Botão com a luminária desligada.

Na Figura 37, apresenta-se a *dashboard* na *mobile app* (em *smartphone*), com a informação do consumo de energia elétrica da luminária, os botões de barra deslizante para controlo dimming e o controlo ON/OFF da luminária (referente ao "Casquilho Inteligente").



Figura 37 - Dashboard do "Casquilho Inteligente" (Versão mobile app).

Foram realizados ensaios laboratoriais com osciloscópio, para analisar as formas de onda da tensão e corrente elétrica em cargas elétricas, neste caso de lâmpadas de halogéneo e LED.

As lâmpadas utilizadas neste estudo foram:

- Lâmpada de halogéneo, 220/240V, 50Hz, P=42W (informação do fabricante);
- Lâmpada LED, 220/240V, 50Hz, P=4W (informação do fabricante).

O estudo laboratorial das cargas referidas, permitiu a calibração necessária do sensor de corrente, de modo a que as suas medições indiretas de corrente correspondam ao valores reais de corrente. Ou seja, o sensor de corrente tem como sinal de saída analógico a tensão DC proporcional à corrente que percorre os seus bornes de potência. O ESP8266 recebe esse sinal analógico e converte-o em sinal digital correspondente diretamente proporcional e a calibração referente será o cálculo da escala e proporção correta entre o valor da corrente no circuito de potência e o sinal digital convertido.

A programação e implementação dos cálculos e considerações técnicas teóricas no código implementado no microcontrolador permite a utilização deste sensor de corrente, na leitura precisa da corrente do circuito de potência.

A tensão elétrica na carga foi analisada com uma sonda diferencial (Sonda para osciloscópio *Elditest* GE 8115 Diferencial 20 MHz ou 30 MHz, 1000x ou 100x, $\pm 1500V$ AC/DC BNC CAT III 1500 V GE8115), ligada aos terminais da carga, para análise em osciloscópio. Esta sonda foi utilizada, em todos os ensaios laboratoriais realizados, com a escala de 1000x.

A corrente elétrica foi analisada em osciloscópio com uma sonda amperimétrica (Sonda para osciloscópio *FLUKE* 80i-110s AC/DC, alcance 0,1 a 100A DC ou 0,1 a 70A AC, sensibilidade

10mV/A ou 100mV/A, 600V de tensão de isolamento). Esta sonda foi utilizada, em todos os ensaios laboratoriais realizados, com a sensibilidade de 100mV/A.

O osciloscópio utilizado para obter a informação de ambas as sondas foi ligado a computador para exportação dos resultados gráficos (Osciloscópio digital *Tektronix* TDS2024, 200MHz, 2GS/s).

Na Figura 38, é exibida:

- A forma de onda da corrente na carga (I), com os valores medidos pelo protótipo (sensor de corrente), à esquerda;
- As formas de onda da tensão (V) e corrente na carga (I), por ensaio experimental com medição pelo osciloscópio, à direita.

Esta comparação foi realizada para comprovar a correta medição de corrente pelo protótipo, com alimentação direta (230V AC) da lâmpada.

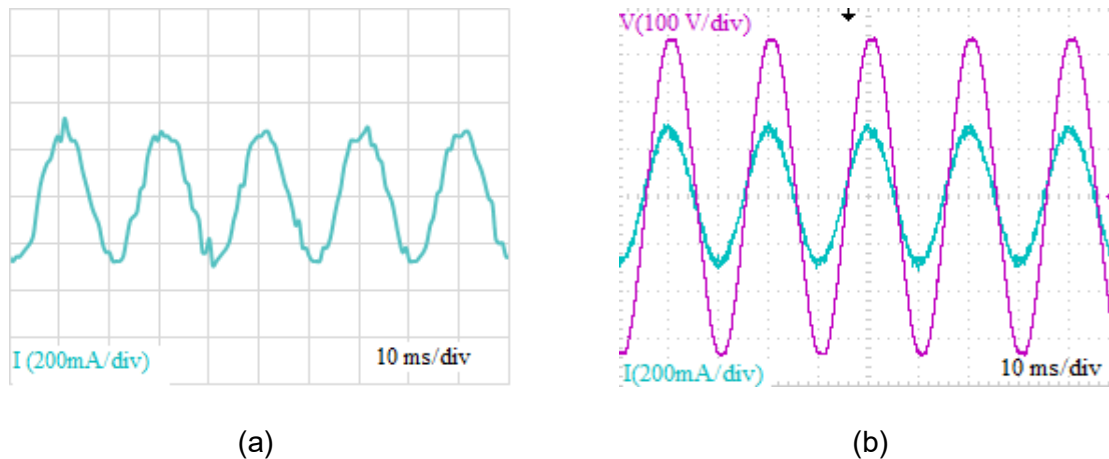


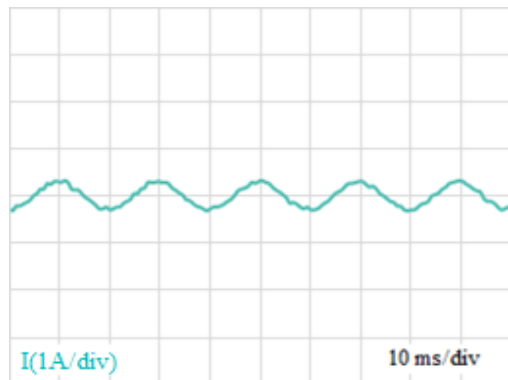
Figura 38 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V: (a) Resultados experimentais do protótipo, lâmpada de halogéneo; (b) Resultados experimentais laboratoriais, lâmpada de halogéneo;

Pela análise dos resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio, presentes na Figura 37:

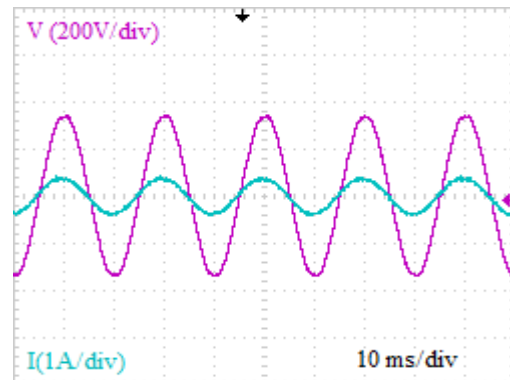
- Lâmpada de halogéneo: $I_{m\acute{a}x} = 0,31 A$; $I_{eficaz} = 0,22 A$; $P_{m\acute{a}x} = 101,4 W$; $P_{eficaz} = 50,6 W$

Os resultados obtidos pelo protótipo, da medição de corrente na carga, e os resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio são equivalentes em forma de onda e valores absolutos da corrente.

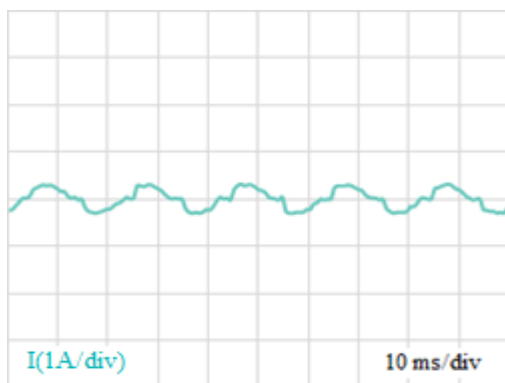
Para a análise da utilização do *dimmer* a diferentes níveis de *dimming* impostos (100%, 75% e 25%), são exibidas as formas de onda da corrente na carga (I) medidas pelo protótipo e as formas de onda da tensão (V) e corrente na carga (I) medidas pelo osciloscópio, na Figura 39.



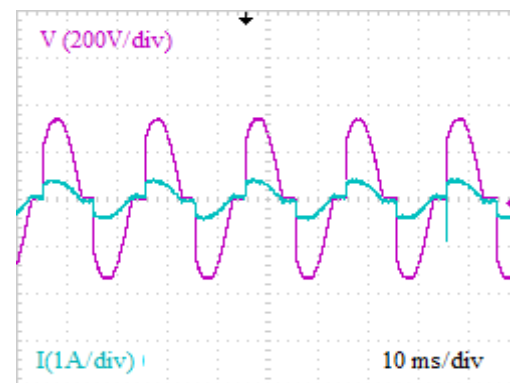
(a)



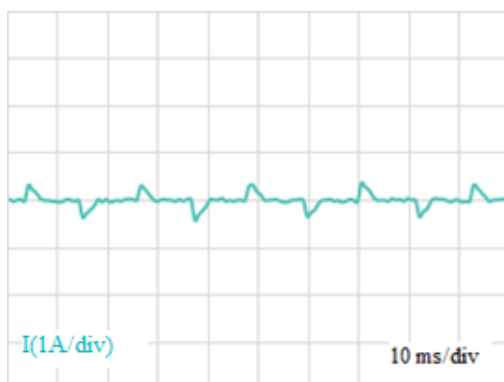
(b)



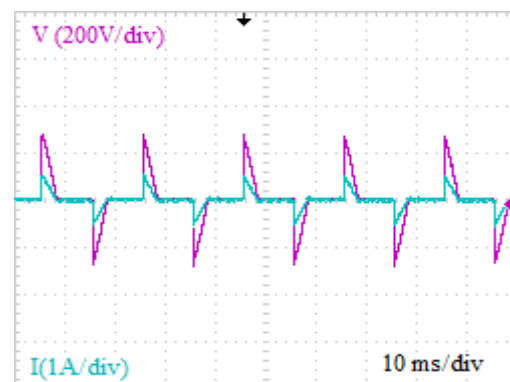
(c)



(d)



(e)

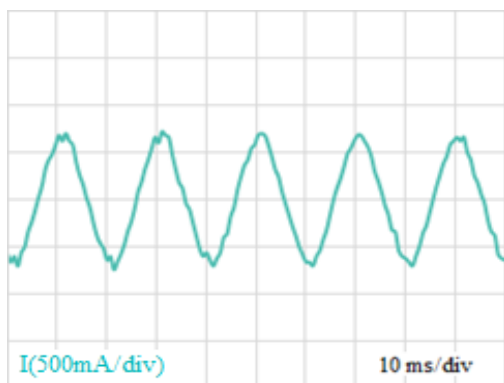


(f)

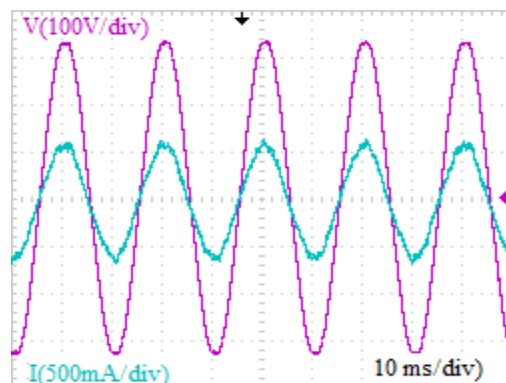
Figura 39- Formas de onda da tensão e corrente elétrica na lâmpada de halogênio, com *dimming*: (a) Resultados experimentais do protótipo, lâmpada de halogênio, 100% *dimming* (b) Resultados experimentais laboratoriais, 100% *dimming*; (c) Resultados experimentais do protótipo, 75% *dimming* (d) Resultados experimentais laboratoriais, 75% *dimming*; (e) Resultados experimentais do protótipo, 25% *dimming* (f) Resultados experimentais laboratoriais, 25% *dimming*;

Os resultados obtidos pelo protótipo, da medição de corrente na carga, e os resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio são equivalentes em forma de onda e valores absolutos da corrente. É comprovado que a alimentação direta da lâmpada e utilização do *dimmer* a 100% são equivalentes, assegurando a equivalência de utilização entre um interruptor normal e este *dimmer* na potência máxima da luminária (o *dimming 0%* é também comprovado como interrupção total da alimentação da carga). Também é comprovada a implementação correta de *dimming* na lâmpada, pelo controlo de fase da tensão na carga, aos quais os valores dos ângulos de condução e disparo observados são os calculados teóricamente.

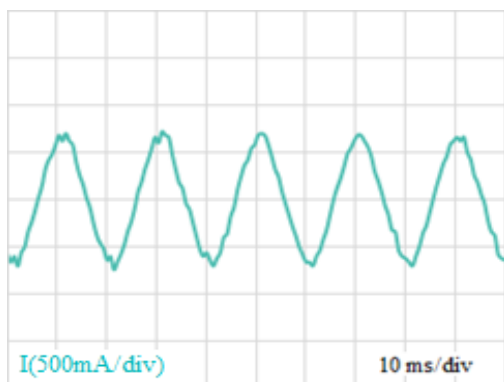
Com o objetivo de comprovar a compatibilidade do *dimmer* utilizado com cargas elétricas indutivas, neste caso um motor (230V AC), foi analisado o comportamento dessa carga. Na Figura 40 são apresentados os valores da corrente (I) e as formas de onda da tensão (V) na carga.



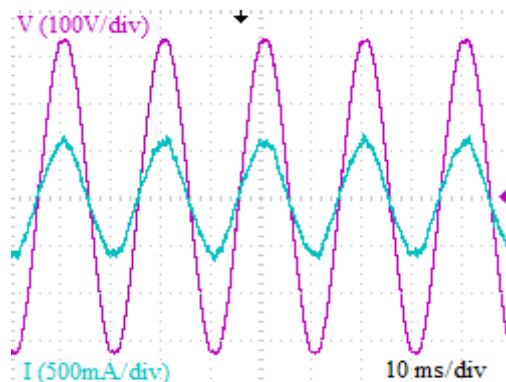
(a)



(b)



(c)



(d)

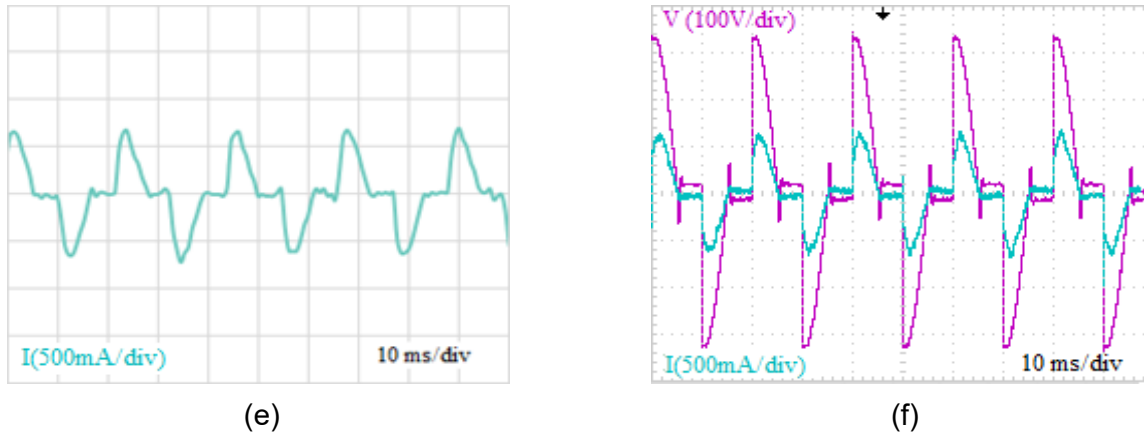


Figura 40 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V (motor); (a) Resultados experimentais do protótipo; (b) Resultados experimentais laboratoriais; (c) Resultados experimentais do protótipo, dimming 100%; (d) Resultados experimentais laboratoriais, dimming 100%; (e) Resultados experimentais do protótipo, dimming 75%; (f) Resultados experimentais laboratoriais, dimming 75%;

Pela análise dos resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio, exibidos na Figura 39:

- Carga: $I_{m\acute{a}x} = 0,64 A$; $I_{eficaz} = 0,45 A$; $P_{m\acute{a}x} = 208,00 W$; $P_{eficaz} = 103,5 W$;

Os resultados obtidos pelo medição realizado no protótipo, da medição de corrente na carga, e os resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio são equivalentes tanto em forma de onda como em valores absolutos da corrente.

Pela análise dos resultados obtidos, a metodologia de funcionamento do TRIAC é corretamente implementada na regulação da potência da carga. Os valores dos ângulos de disparo e condução respetivos aos níveis de *dimming* calculados, são verificados e comprovados na análise gráfica das formas de onda obtidas. O “Casquilho Inteligente” realiza corretamente o controlo ON/OFF e *dimming* da carga.

4.2.1. Cálculo de energia elétrica consumida

A medição da potência e cálculo da energia elétrica consumida pela carga é realizada, considerando a tensão elétrica da rede (de valor fixo teórico) de 230 V (eficaz) e o valor medido pelo sensor de corrente. Para comprovar a precisão das medições de potência e cálculo de energia elétrica consumidas, do “Casquilho inteligente”, foram ligadas durante o período de 1 hora à potência máxima (*dimming* de 100%) duas lâmpadas:

- Lâmpada de halogêneo, estudada no capítulo 4.2.;
- Lâmpada LED.

Realizando os cálculos referidos da lâmpada de halogéneo:

$$P_{eficaz} = 50,6 \text{ W (dimming 100\%, potência máxima);}$$

$$E = P(kW) \times \Delta t(h) = 0,0506 \text{ kWh .}$$

O resultado obtido desse ensaio é apresentado na Figura 41, com a apresentação dos valores na *dashboard* da plataforma *online*.

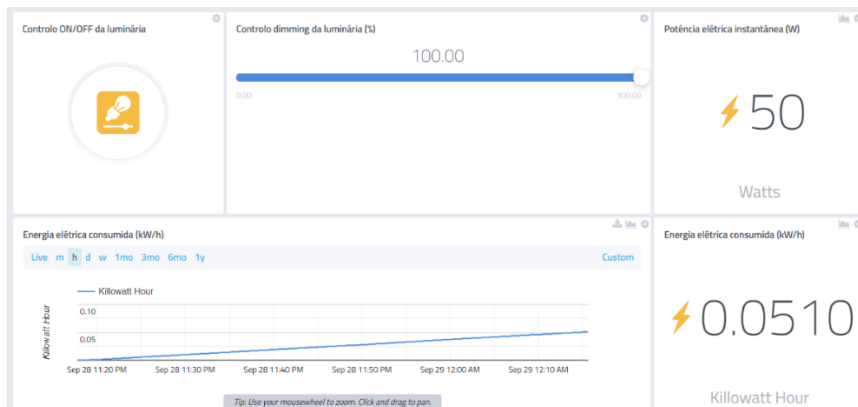


Figura 41 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada de halogéneo (Estado ON).

Para comprovar a precisão do *dimming* da luminária, em termos de diminuição do fluxo luminoso emitido e consequente redução da potência elétrica, foi realizado o ensaio do funcionamento da lâmpada de halogéneo durante uma hora, com nível de dimming de 50%.

Deste modo, dado que teoricamente o valor da potência pela carga será dada (pela equação 3.1), o cálculo teórico da energia elétrica consumida por essa lâmpada nesse período será:

$$E = 0,0253 \text{ kWh}$$

É exibido, na Figura 42, a *dashboard* do "Casquilho Inteligente", referente ao ensaio explicitado anteriormente.



Figura 42 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada de halogéneo (Estado 50 % dimming).

Para comprovar a compatibilidade do “Casquilho Inteligente”, com qualquer tipo de lâmpada (230V AC), foram realizados ensaios com uma lâmpada LED. Estes ensaios servem para comprovar que o aparelho realiza o *dimming* correto da lâmpada como também o cálculo de energia elétrica consumida. Pela análise laboratorial da lâmpada referida:

- Lâmpada LED: $I_{m\acute{a}x} = 0,04 A$; $I_{eficaz} = 0,04 A$; $P_{m\acute{a}x} = 13,01 W$; $P_{eficaz} = 9,2 W$.

Realizando o cálculo referido:

$$E = 0,0092 kWh.$$

O resultado obtido desse ensaio é apresentado abaixo, com a apresentação dos valores na *dashboard* da plataforma *online*, na Figura 43.

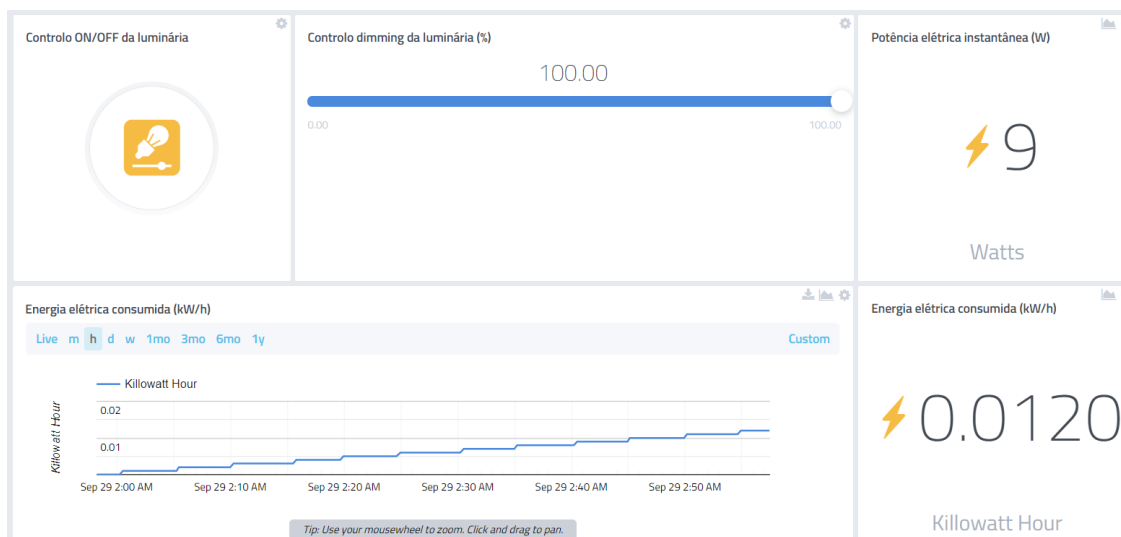


Figura 43 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada LED (Estado ON).

Foi realizado o ensaio do funcionamento da lâmpada de LED durante uma hora, com nível de dimming de 50%.

Deste modo, dado que teoricamente o valor da potência da carga será dada (pela equação 3.1), o cálculo teórico da energia elétrica consumida por essa lâmpada nesse período será:

$$E = 0,0046 kWh$$

É exibido, na Figura 44, a *dashboard* do “Casquilho Inteligente”, referente ao ensaio explicitado anteriormente.

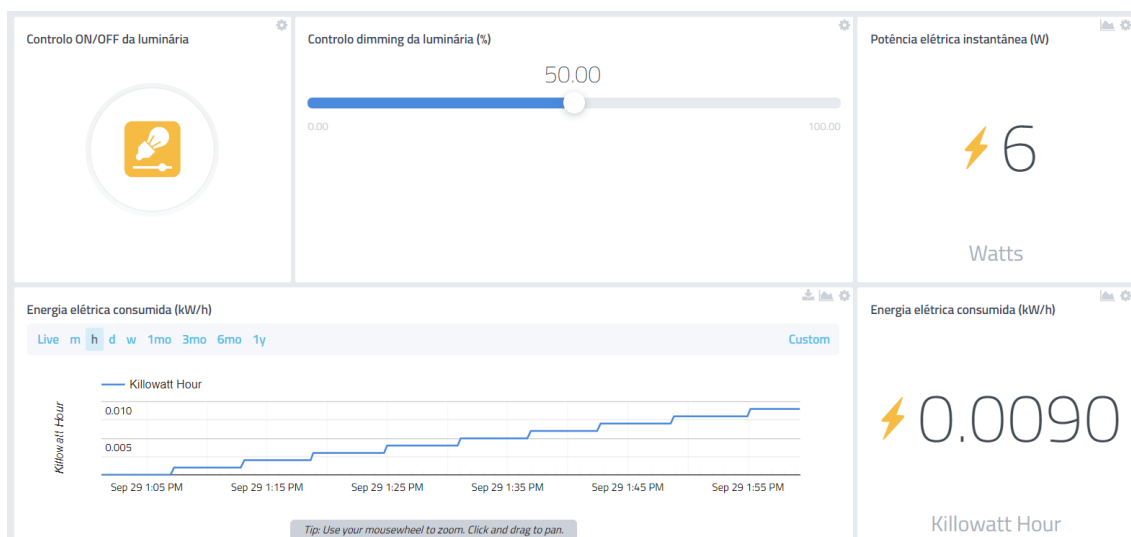


Figura 44 - Dashboard do "casquilho inteligente", resultados práticos da lâmpada LED (Estado dimming a 50%).

Os valores de medição da potência e cálculo da energia elétrica consumidos teóricos aproximam-se aos valores práticos obtidos pelo protótipo. Os erros entre os valores práticos e teóricos justificam-se pelo erro de 1,5% (do calibre) do sensor de corrente, a conversão analógico-digital do sinal proveniente do sensor de corrente e a consideração teórica do valor da tensão a 230V AC fixos. Também a amostragem limitada dos valores de corrente (30 amostragens por ciclo/período da corrente elétrica) contribui para o erro observado. O "Casquilho Inteligente" realiza corretamente o cálculo de energia elétrica consumida pela carga.

4.3. Sensor de luminosidade (iluminância)

O sensor de luminosidade utilizado no protótipo é ligado ao microcontrolador ESP-32 descrito previamente.

Na figura 45, exhibe-se o sensor de luminosidade e a ligação com o microcontrolador referente.

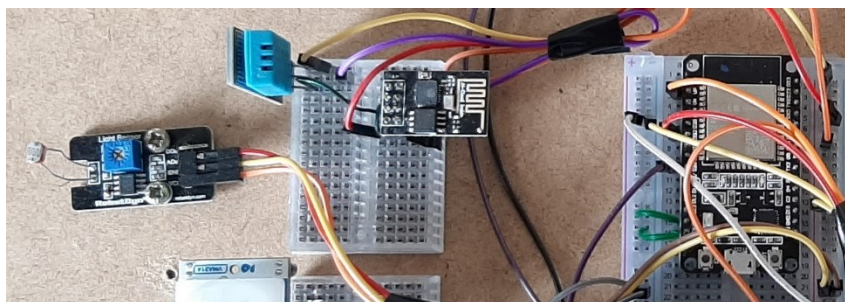


Figura 44 - Sensor de luminosidade e ligação ao microcontrolador referente.

Dado que a curva característica do equipamento, neste caso do LDR, é desconhecida, foram realizados ensaios laboratoriais para a obtenção da curva característica do equipamento, de forma prática.

Foi utilizado um luxímetro digital (*KOBAN KL 1332*) para obtenção do valor de iluminância (lux) na área do sensor e um multímetro digital (*KEWTECH KT115, IEC 61010-1, CAT.III,300V*) para medição do sinal analógico de saída do sensor, (sendo esse sinal a tensão aos terminais do LDR) com diferentes situações de iluminância. Deste modo, a curva característica obtida relacionará a tensão aos terminais do LDR (output analógico do sensor) e o valor de iluminância no local.

É exibido na Figura 46, os valores experimentais da curva característica prática.

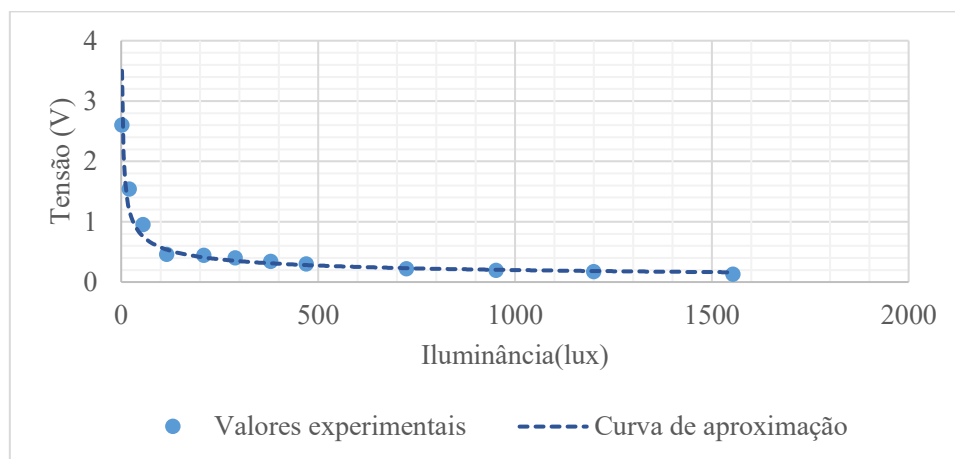


Figura 46 – Valores experimentais da tensão aos terminais do LDR, em relação ao valor de iluminância presente no sensor.

A curva de aproximação obtida tem como fórmula:

$$Tensão = 4,8651 * Iluminância - 0,468. \quad (4.1)$$

Aquando da realização deste ensaio, também foi registado os valores obtidos no ESP-32 utilizado. Ou seja, os valores analógicos provenientes do sensor, convertidos para sinal digital (resolução 12-bit, 0-4096) no microcontrolador. Como referido anteriormente, em teoria, quanto maior o valor de iluminância, menor o valor da tensão aos terminais do LDR e consequentemente menor o valor digital convertido e vice-versa.

Exibe-se abaixo a *dashboard* acessível ao utilizador, referente a este sensor. Um dos *widgets* exibe o valor momentâneo da iluminância presente, enquanto o gráfico paralelo apresenta o histórico dos valores registados (em qualquer intervalo de tempo). Na Figura 47 é apresentada a *dashboard* referente ao sensor de luminosidade.

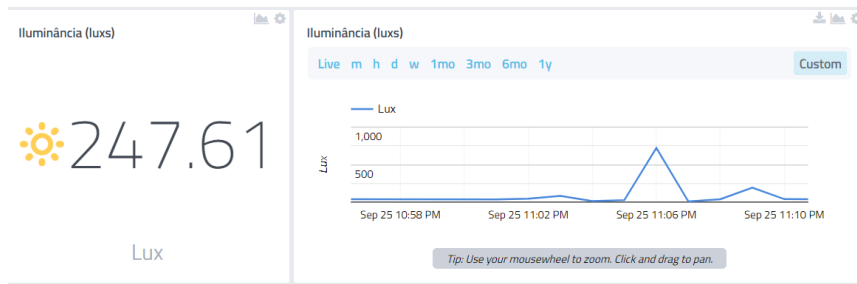
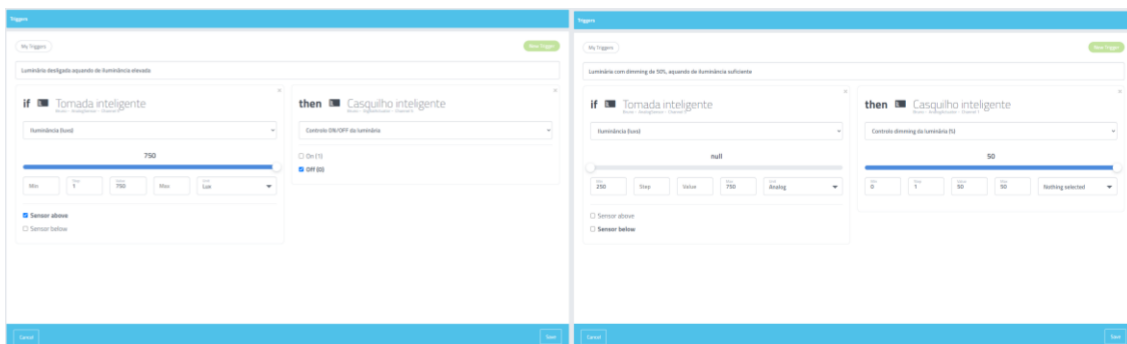


Figura 47 – Dashboard do sensor de luminosidade (iluminância).

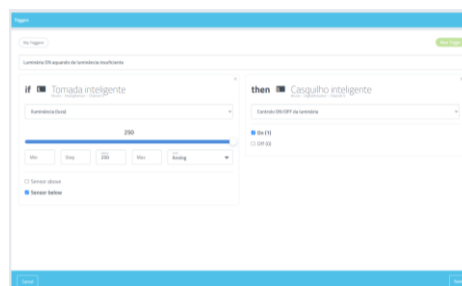
4.3.1. Configuração implementada

Para realizar o controlo ON/OFF ou *dimming* apropriado da luminária, consoante determinados níveis de iluminância presentes, foram configurados e implementados vários *triggers* no sistema. Considerando o nível requerido de iluminância numa mesa ou local de trabalho de valores de 500 lux, esse foi considerado o nível desejado de iluminância incidente no sensor. Na Figura 48 apresenta-se a configuração, pela plataforma *online*, deste controlo automático implementado.



(a)

(b)



(c)

Figura 48- Dashboard da configuração e implementação do trigger relativo ao controlo da luminária inteligente (dependente da iluminância); (a) Desligamento da luminária aquando de iluminância natural elevada; (b) Dimming da luminária a 50% aquando de iluminância suficiente; (c) Luminária ON aquando de iluminância natural insuficiente.

Na Figura 49, é apresentado o fluxograma com o controlo realizado, do controlo implementado na Figura 48.

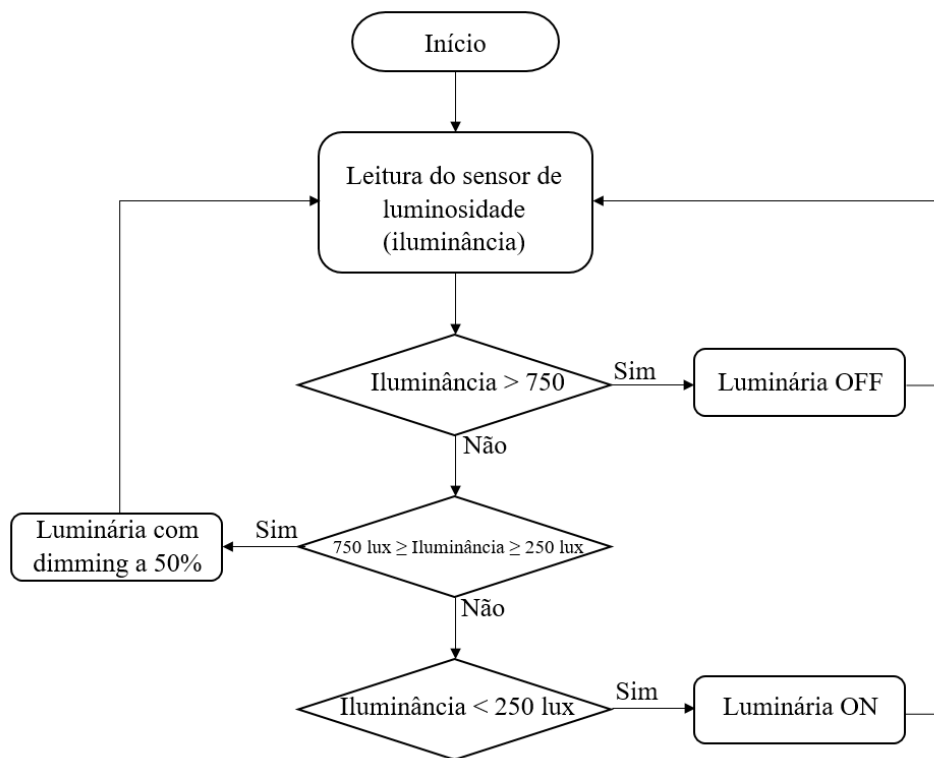


Figura 49- Fluxograma do controlo da luminária.

A configuração destes *triggers* deverá ser realizada de maneira adequada à situação do local, ou seja, dependente do número de luminárias, as suas características luminotécnicas, a presença ou não de luz natural, etc. A metodologia explicitada na Figura 47 e Figura 48 é um exemplo de aplicação.

Para adaptar a utilização da luminária aos requerimentos horários, poderá ser definido um *trigger* que irá desligar a luminária em períodos noturnos (ou no intervalo horário requerido) todos os dias (sendo possível definir qualquer outro padrão de repetibilidade). Na Figura 50, é exibido a *dashboard* da implementação desse *trigger*.

Figura 50 – Dashboard da configuração e implementação do trigger referente ao controlo da luminária (dependente de horário).

4.4. Sensor de presença

O sensor de presença é ligado ao microcontrolador ESP-01, descrito previamente.

Na figura 51, apresenta-se o sensor de presença e as ligações ao microcontrolador referente.

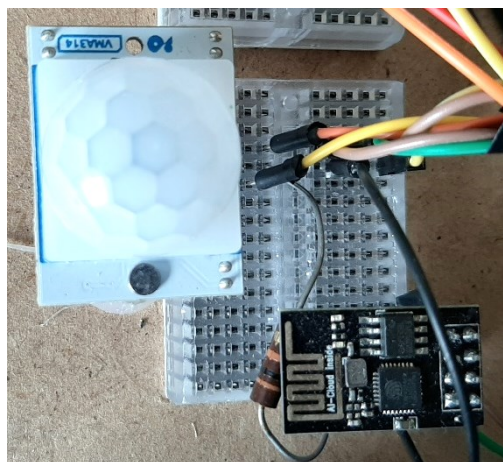


Figura 51 - Sensor de presença e microcontrolador referente.

O código implementado neste microcontrolador encontra-se no Anexo J. A informação vinda do mesmo é recebida, guardada e exibida na *dashboard* da plataforma *online*, com um monitor a exibir presença ou não de pessoas no local de deteção (no momento), mas também um

gráfico a exibir esse valor ao longo do tempo (neste caso um período de 1 hora), como exibido nas Figuras 52 e 53:



Figura 52 - Dashboard do sensor de presença; Detecção de presença no momento (a); Não deteção de presença no momento (b).

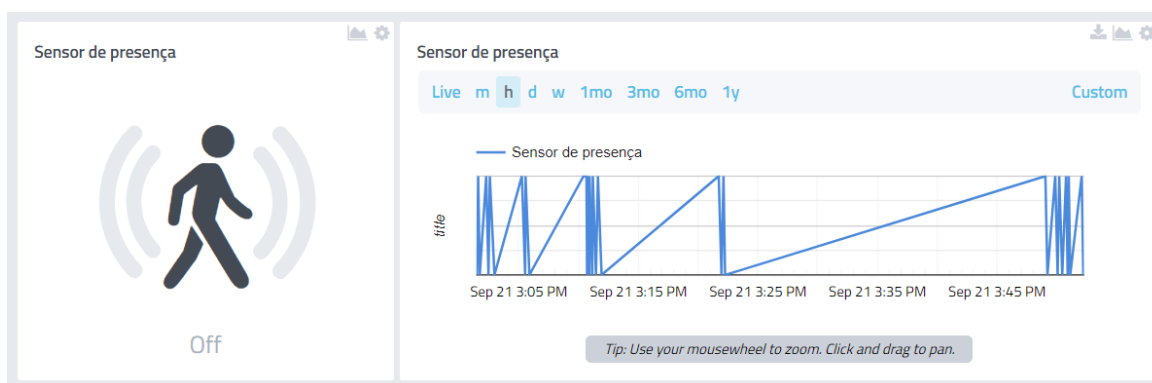


Figura 53 – Dashboard do sensor de presença, widget de estado e gráfico de estados (valor ≤ 1 equivale a não deteção, valor = 1 equivale a deteção).

4.3.1. Configuração implementada

Sendo o sensor de presença uma possível ferramenta para a deteção de intrusão em edifícios ou locais, a plataforma *online* permite que o utilizador seja notificado aquando de deteção de intrusão (presença humana no local do sensor em horário especificado). O utilizador facilmente define um *trigger*, para ser notificado por telemóvel via sms, ou seja, receber aviso telefónico que o sensor alterou o seu estado de OFF para ON, num horário em que não deveria haver deteções de presença naquela área. Também é possível receber o aviso por email ou ambos (sms e email).

Na Figura 54 exibe-se a *dashboard* disponível para a configuração e implementação desse *trigger*.

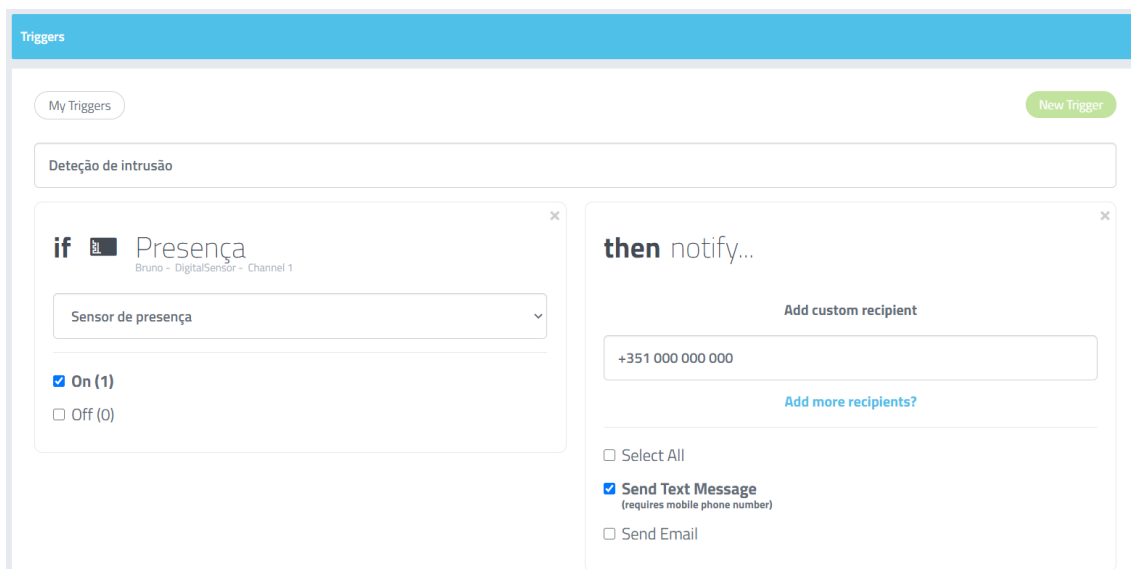


Figura 54 – Dashboard de configuração e implementação de trigger “Detecção de intrusão”.

4.5. Ensaios da “Tomada Inteligente”

A “Tomada Inteligente” foi implementada em série com uma tomada SCHUKO, para controlo da carga ligada à mesma e cálculo da energia elétrica consumida.

Na figura 55, apresenta-se a “Tomada Inteligente”.

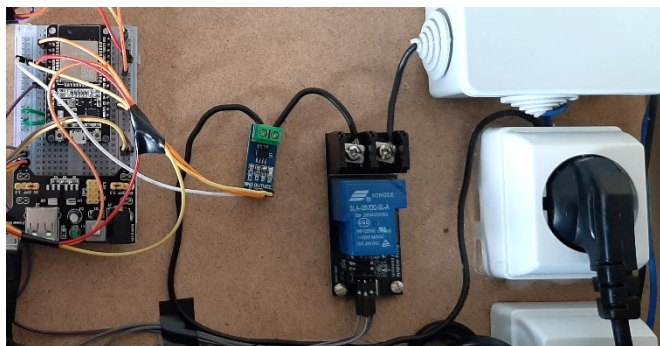


Figura 55 - “Tomada Inteligente” do protótipo.

Foi ligada à “Tomada Inteligente” um equipamento AVAC (arrefecimento por ventilação), como carga elétrica genérica. Por questão de disponibilidade técnica, o sensor de iluminância foi conectado a este microcontrolador. O código implementado neste microcontrolador é apresentado no Anexo K.

Para o controlo do relé digital, e consequentemente o controlo ON/OFF da “Tomada Inteligente”, foi configurado um botão digital na *dashboard* da plataforma *online* para utilizar e

monitorizar o estado da mesma e controlá-la manualmente se requerido. Demonstra-se na Figura 56 a *dashboard* construída.

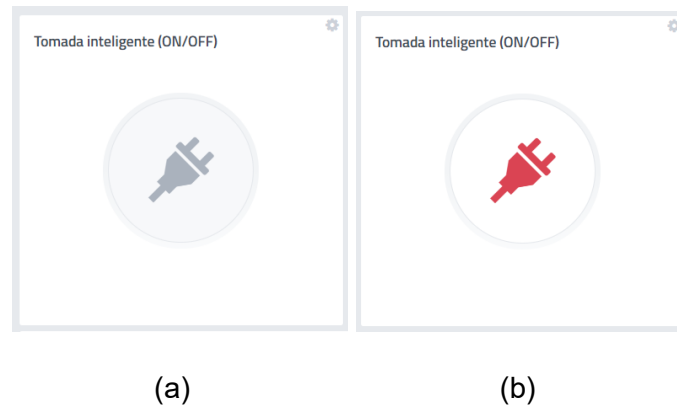


Figura 56 – Widget de controlo ON/OFF da tomada inteligente; (a) Tomada desligada, estado OFF; (b) Tomada ligada, estado ON.

A utilização de cargas elétricas genéricas, permitiu, como anteriormente explicado, a necessária calibração e parametrização do sensor de corrente utilizado.

Pela análise laboratorial pelo osciloscópio, realizou-se o estudo de várias cargas elétricas genéricas. A carga ligada ao protótipo é a seguinte:

- Ventoinha de climatização (AVAC, arrefecimento por ventilação), 220/240V, 50Hz, P=41W (informação do fabricante).

Na Figura 57, é exibida a forma de onda da corrente na carga (I) lidos pelo protótipo e as formas de onda da tensão (V) e corrente na carga (I) medidos pelo osciloscópio.

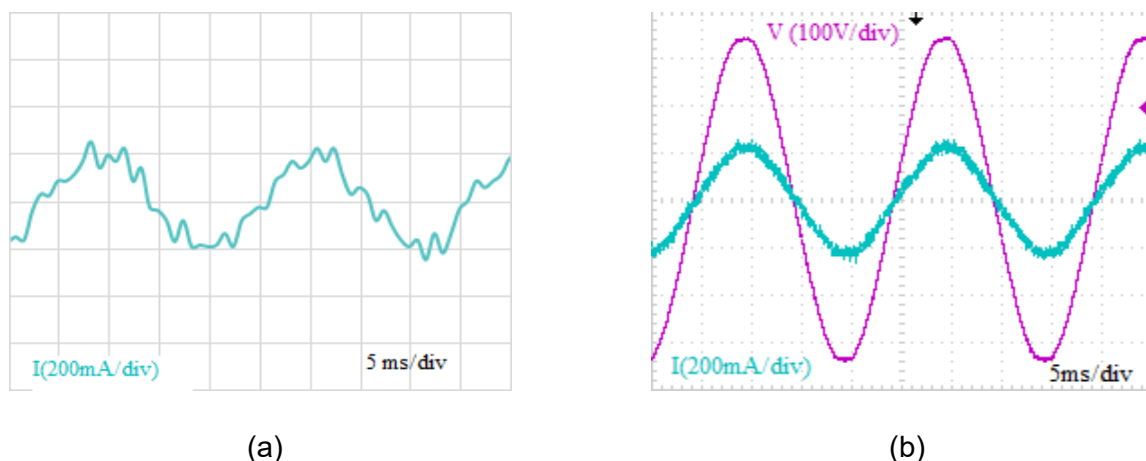


Figura 57 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V; (a) Resultados experimentais do protótipo (ventoinha); (b) Resultados experimentais laboratoriais (ventoinha);

Pela análise dos resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio, presentes na Figura 57.

Carga: $I_{m\acute{a}x} = 0,26 A$; $I_{eficaz} = 0,18A$; $P_{m\acute{a}x} = 84,50 W$; $P_{eficaz} = 41,4W$;

Os resultados obtidos pelo protótipo, da medição de corrente na carga, e os resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio são equivalentes em forma de onda e valores absolutos da corrente, comprovando a correta medição de corrente pelo protótipo.

Foi estuda uma outra carga, para comprovar a correta medição de corrente pelo protótipo, com qualquer tipo de carga compatível:

- o Eletrodoméstico (aquecimento por ventilação), 220/240V, 50Hz, P=1000W (informação do fabricante).

Na Figura 58, é exibida a forma de onda da corrente na carga (I) medido pelo protótipo e as formas de onda da tensão (V) e corrente na carga (I) pela medição do osciloscópio.

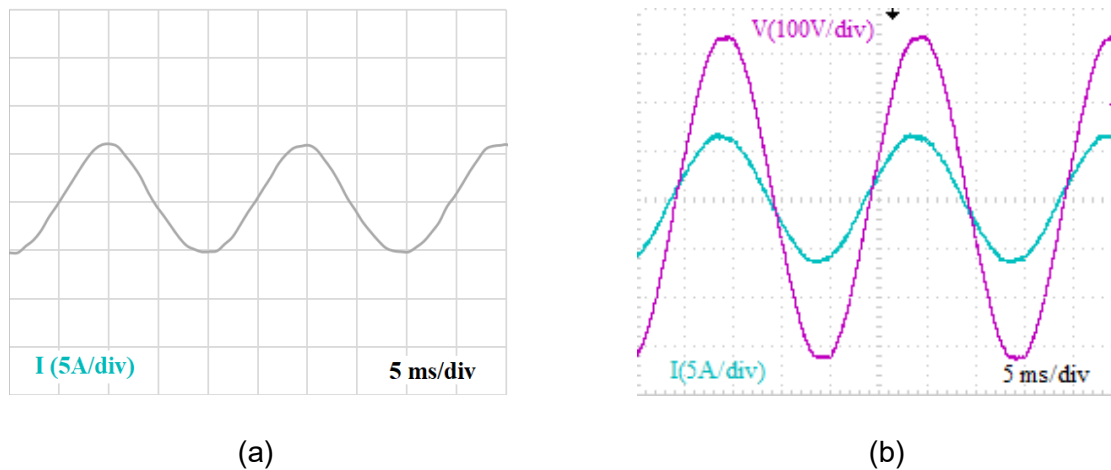


Figura 58 - Formas de onda da tensão e corrente elétrica com alimentação direta 230V; (a) Resultados experimentais do protótipo (eletrodoméstico, aquecimento); (b) Resultados experimentais laboratoriais (eletrodoméstico, aquecimento);

Pela análise dos resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio, presentes na Figura 57.

Carga: $I_{m\acute{a}x} = 6,8 A$; $I_{eficaz} = 4,8 A$; $P_{m\acute{a}x} = 2211,8 W$; $P_{eficaz} = 1104,0 W$;

Os resultados obtidos pelo protótipo, da medição de corrente na carga, e os resultados obtidos laboratorialmente pelo osciloscópio são equivalentes em forma de onda e valores absolutos da corrente.

4.5.1. Cálculo de energia elétrica consumida

A medição da potência e cálculo da energia elétrica consumida pela carga é realizada, considerando a tensão elétrica da rede (de valor fixo teórico) de 230 V (eficaz) e o valor medido pelo sensor de corrente. Para comprovar a precisão das medições de potência e

cálculo da energia consumida pelas cargas ligadas à “Tomada Inteligente”, foi ligada durante o período de 10 minutos, a carga (estuda anteriormente):

- o Ventoinha de climatização : $P_{eficaz} = 41,4 W$

Realizando o cálculo teórico da energia elétrica consumida nesse período:

$$E = 0,0070 kWh$$

O resultado obtido desse ensaio é exibido na Figura 59, com a apresentação dos valores referentes na *dashboard* da plataforma *online*.

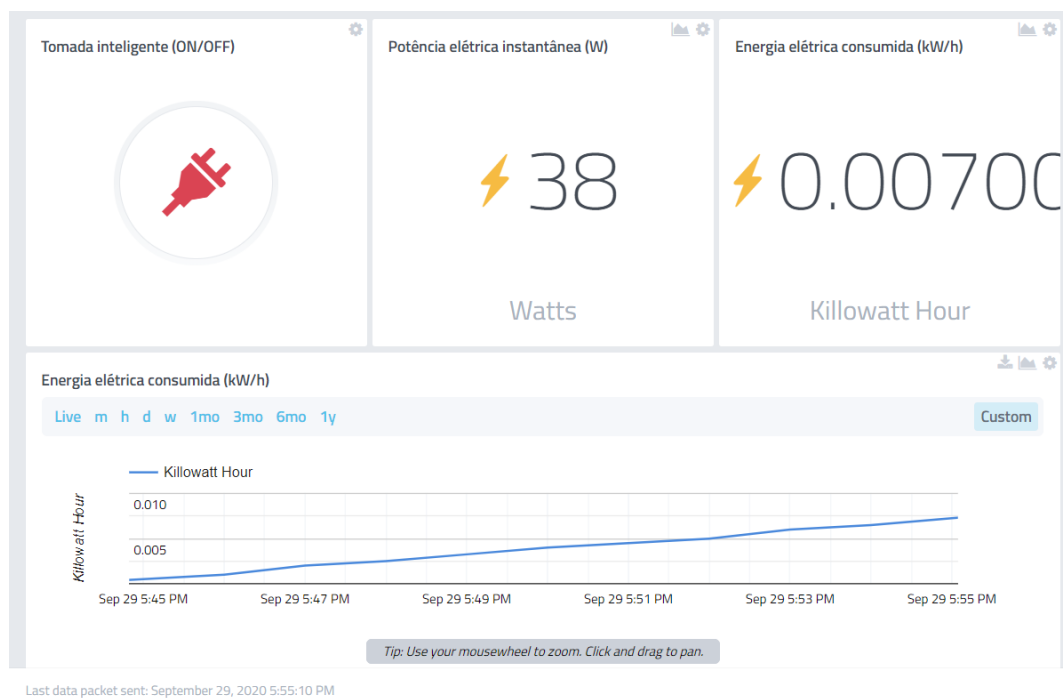


Figura 59 - Dashboard da "tomada inteligente"; Funcionamento de ventoinha durante 10 minutos.

À semelhança do ensaio anterior, foi ligada à “Tomada Inteligente” durante 10 minutos, a carga estudada no Capítulo 4.5:

- o Eletrodoméstico (aquecimento por ventilação): $P_{eficaz} = 1104 W$

Deste modo, o valor da energia elétrica consumida por essa carga nesse período:

$$E = 0,1877 kWh$$

O resultado obtido desse ensaio é apresentado na Figura 60, com a apresentação dos valores referentes na *dashboard* da plataforma *online*.

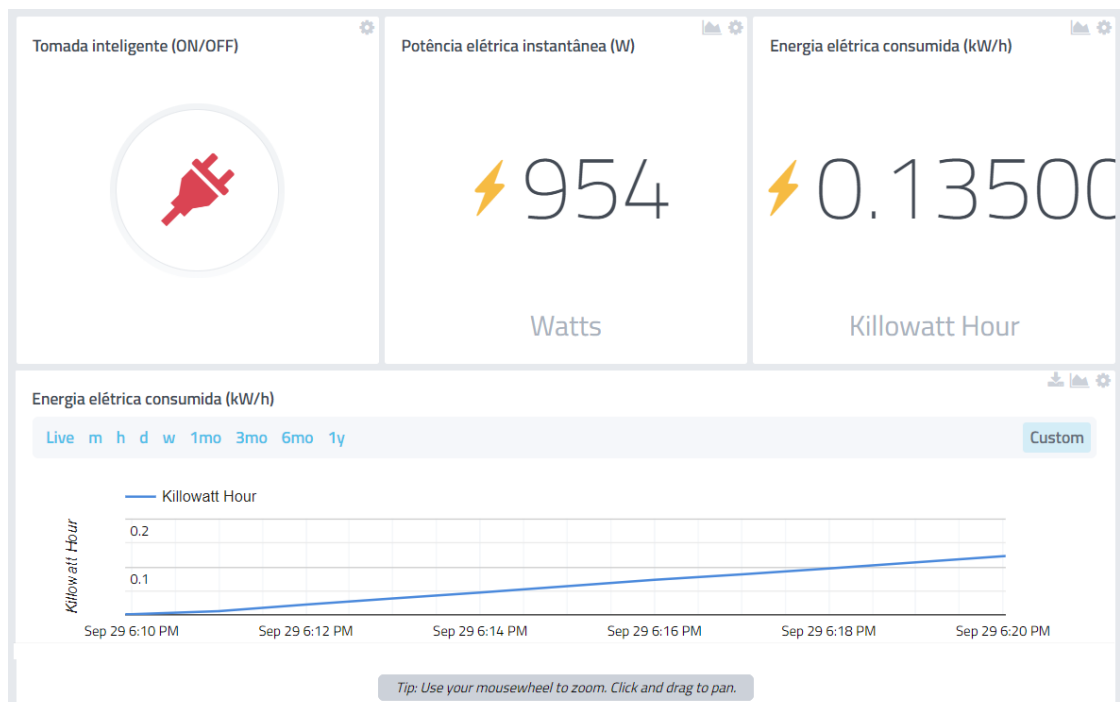


Figura 60 - Dashboard da "Tomada inteligente", resultados práticos para eletrodoméstico (aquecimento por ventilação).

Os valores práticos, do protótipo, aproximam-se aos valores teóricos calculados.

O erro entre os valores referidos justifica-se pelo erro do sensor de corrente (1,5% do calibre 20A), a conversão analógica-digital do sinal analógico do sensor de corrente para o ESP-32 e também a amostragem limitada dos valores da corrente pelo sistema (30 amostragens por ciclo da corrente elétrica).

4.6. Sensor de temperatura e humidade relativa

O sensor de temperatura e humidade relativa foi ligado a um microcontrolador ESP-01 singular.

Na Figura 61, é exibido o sensor de temperatura e humidade relativo implementado no protótipo.

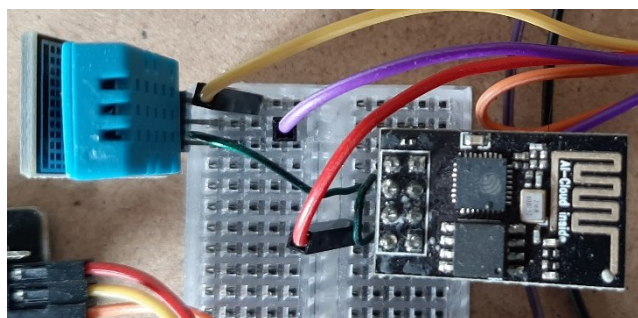
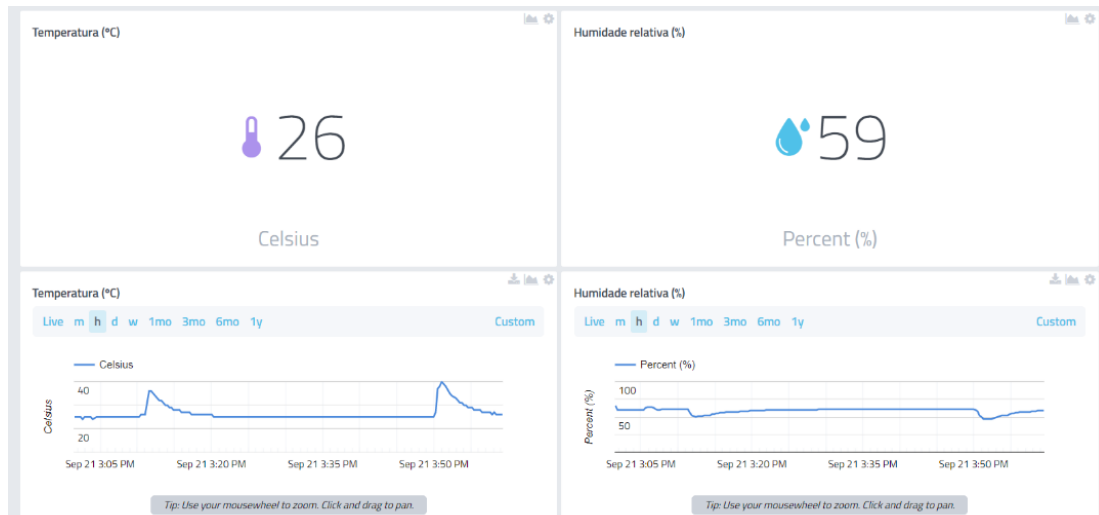


Figura 61 - Sensor de temperatura e humidade relativa e microcontrolador referente.

Encontra-se no Anexo L o código implementado no microcontrolador referente.

A plataforma recebe, guarda e exhibe esses valores na sua *dashboard* (painel de apresentação de informações e de controlo de interfaces) como exibido na Figura 62, com dois monitores a exibir o valor atual da temperatura e humidade, mas também dois gráficos respetivos a exibir os valores referidos ao longo do tempo (no período temporal de uma hora).



(a)



(b)

Figura 62- Dashboard da informação de temperatura e humidade relativa local; (a) Website; (b) Mobile app .

O sensor de temperatura e humidade relativa exibem, de forma contínua, as informações ao utilizador pela plataforma *online*.

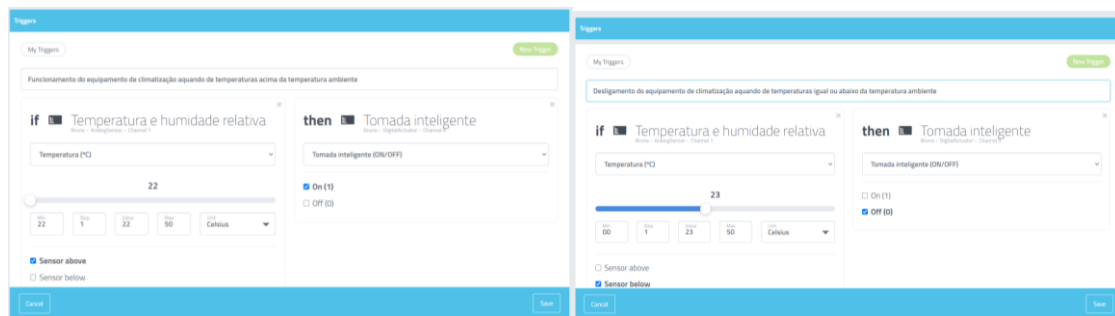
4.6.1. Configuração implementada

O sistema de domótica implementado pelo protótipo, realiza o controlo da “Tomada inteligente” para gerir um equipamento AVAC (neste caso ventoinha de climatização).

O *trigger* configurado e implementado força o funcionamento do equipamento AVAC quando o valor da temperatura no espaço estiver acima da temperatura ambiente desejável. Quando o valor da temperatura no espaço estiver no valor da temperatura ambiente ou abaixo, a tomada inteligente irá desligar o equipamento AVAC ligado ao aparelho “Tomada Inteligente”.

Este controlo garante que a temperatura se mantenha em níveis desejáveis para a presença humana, e também irá aumentar a eficiência energética dado desligar o equipamento quando a temperatura estiver em níveis aceitáveis, numa “zona de conforto”.

Na Figura 63 demonstra-se a configuração e implementação desse *trigger*.



(a)

(b)

Figura 63 – Dashboard da configuração e implementação dos triggers referentes ao controlo da tomada inteligente; (a) e (b) dependente da temperatura.

Para garantir que o funcionamento do equipamento de climatização apenas ocorre apenas em momentos necessários (presença humana no local em questão), é adicionado a configuração e implementação do *trigger* que controla a tomada inteligente também a partir da informação do sensor de presença no local, exibida na Figura 64.

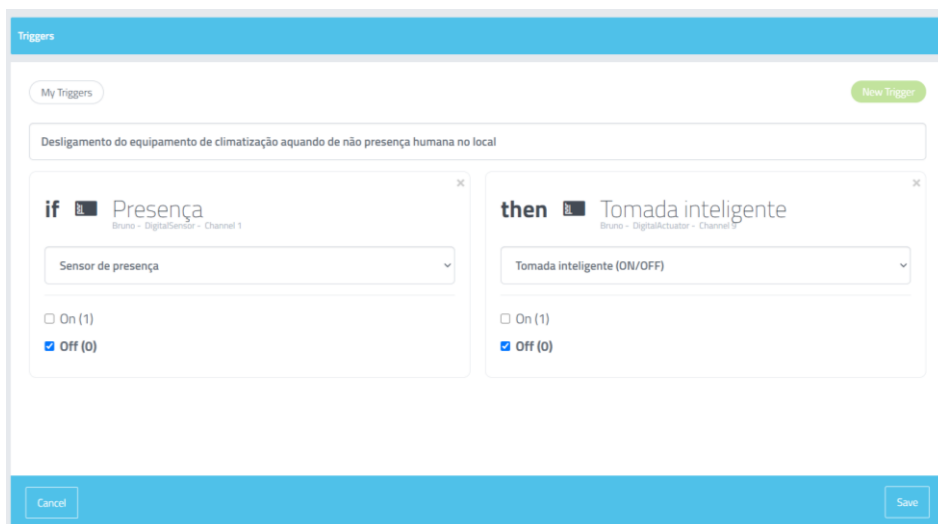


Figura 64 - Dashboard da configuração e implementação dos triggers referentes ao controlo da tomada inteligente (dependente da presença humana).

Na Figura 65, é apresentado um fluxograma do controlo implementado na “Tomada Inteligente”.

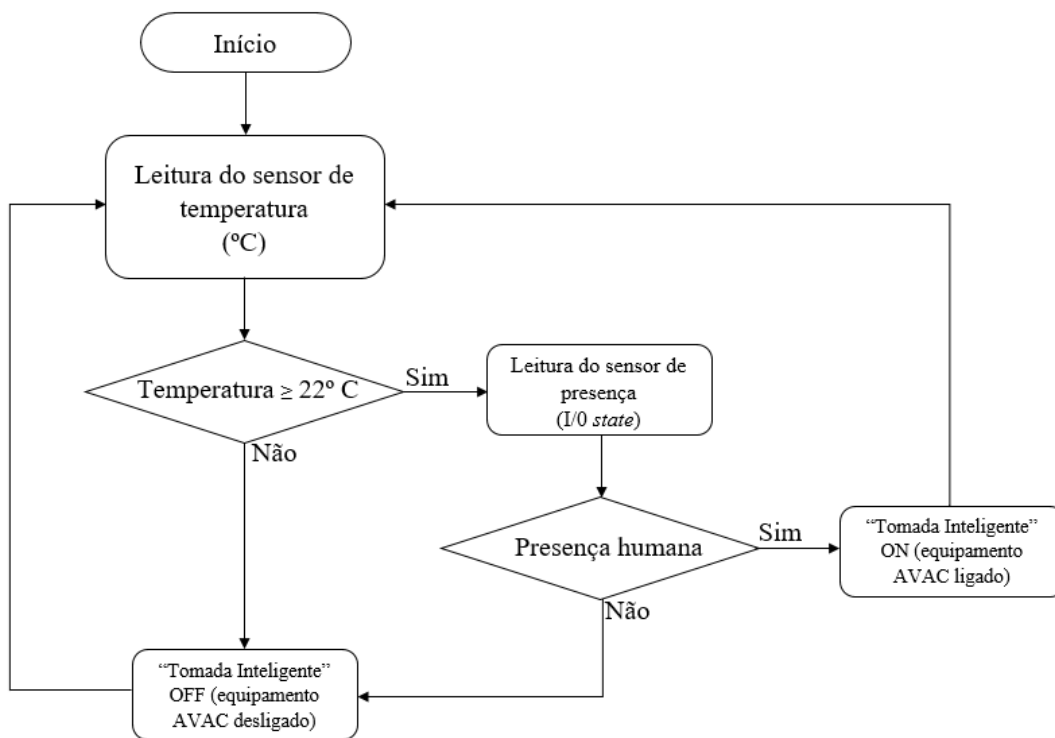
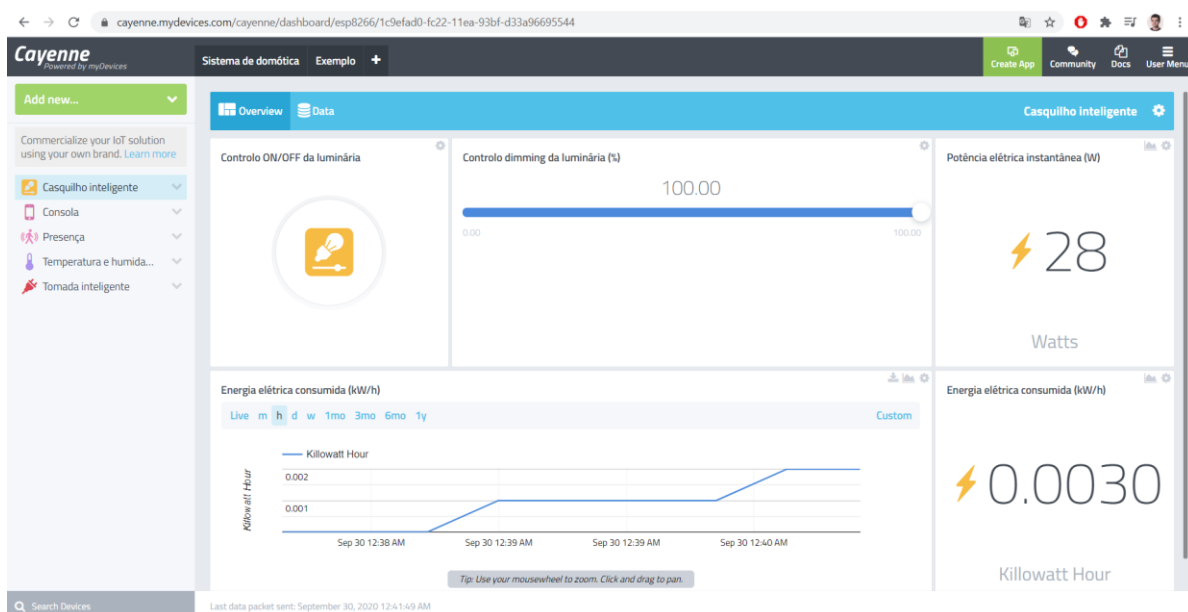


Figura 65 - Fluxograma do controlo implementado na “Tomada Inteligente”.

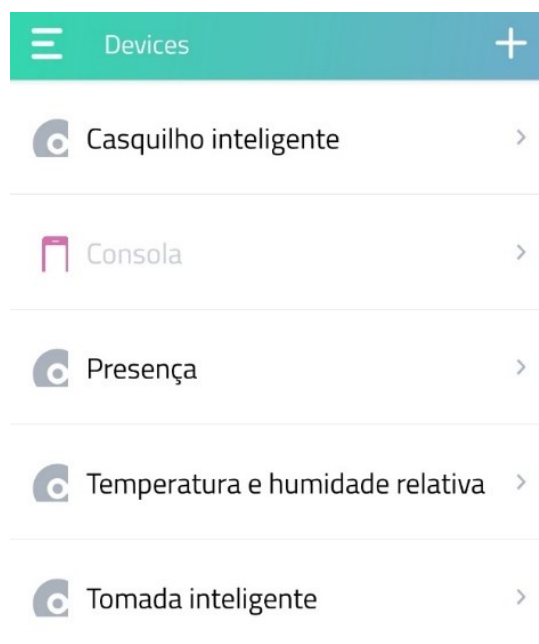
Salienta-se, que o controlo manual da tomada inteligente (através dos botões virtuais presentes na *dashboard*), cancela e sobrepõe-se em prioridade e controlo a estes *triggers*.

4.7. Exposição geral

Relativamente à plataforma *online* desenvolvida, é apresentada na Figura 66, a *dashboard geral* no *website* e na *mobile app* da plataforma do sistema.



(a)



(b)

Figura 66 – Plataforma online; (a) Website; (b) Mobile app.

Capítulo 5

5. CONCLUSÕES

No presente capítulo são apresentadas as conclusões do projeto desenvolvido.

É verificado o cumprimento dos objetivos definidos e identificadas as limitações do projeto.

Também são apresentadas perspectivas de desenvolvimento futuras para o trabalho realizado.

5.1. Considerações finais

O trabalho realizado ao longo desta dissertação foca-se nas temáticas da eficiência energética e sistemas de domótica.

Foi realizada uma revisão de conceitos técnicos, económicos e sociais da temática da eficiência energética, tanto a nível da eletrotecnia como a nível político-social.

São apresentados os contextos e os fundamentos dos sistemas de domótica no universo da eletrotecnia. Desta forma, apresentou-se uma perspetiva da evolução da tecnologia da domótica ao longo dos anos, tanto a nível dos equipamentos utilizados, estruturas e arquiteturas implementadas, como a forma de configuração, instalação e controlo destes sistemas de domótica.

Salientaram-se as respetivas características das soluções de domótica atualmente existentes, desde as suas arquiteturas, estruturas, equipamentos e aparelhos utilizados, possibilidades de configuração e utilização, como também as suas limitações técnicas e custos associados. Foi também explicitado o trabalho científico que tem sido desenvolvido nos últimos anos, na procura de melhorar estes sistemas a nível técnico e monetário.

Foram definidos objetivos para planeamento e construção do protótipo experimental do sistema de domótica implementado. Deste modo, foram apresentadas e realizadas um conjunto de análises teóricas e práticas que guiaram o projeto na construção, configuração, programação e ensaios finais do protótipo.

5.2. Trabalho realizado

Tendo por base os objetivos propostos inicialmente e o estudo realizado dos sistemas de domótica existentes, desenvolveu-se um sistema de domótica na forma de protótipo experimental. Este protótipo é compatível com a instalação em edifícios novos ou existentes, com capacidade *wireless* (baseado nas tecnologias *IoT*) e de relativo baixo custo.

Os equipamentos e materiais utilizados no protótipo foram pesquisados, analisados e selecionados pelas suas características técnicas, pela sua capacidade de interligação com os restantes equipamentos, pelo seu custo e pela sua facilidade de instalação e configuração pelo utilizador através da plataforma de gestão desenvolvida.

Após a sua conceção, a implementação do protótipo foi conseguida pela montagem e interligação dos diferentes módulos e equipamentos existentes.

Foi realizada toda a programação necessária dos microcontroladores do sistema assim como da plataforma *online* utilizada. Foram realizados ensaios experimentais e trabalho teórico e prático que permitiram o controlo requerido e inteligente de luminárias, cargas elétricas genéricas (230V AC, ligadas a tomadas SCHUKO), medição de potência e cálculo de energia elétrica consumida e obtenção de informações específicas, sendo elas a deteção de presença humana, temperatura e humidade relativa e iluminância.

5.3. Resultados obtidos

Os objetivos definidos, relativos às capacidades do sistema de domótica, foram conseguidos:

- Controlo ON/OFF e *dimming* de luminárias;

A construção do “Casquilho Inteligente” reitera ao protótipo e ao sistema de domótica essas capacidades. Os resultados obtidos foram o controlo correto de luminárias (em vários tipos de lâmpadas), tanto no controlo ON/OFF como na regulação do fluxo luminoso emitido pelas mesmas. A metodologia implementada (controlo de fase da tensão na carga, controlando a potência da carga) é implementada com sucesso, comprovada pelos ensaios e análises realizados.

A compatibilidade deste método de controlo para motores (230V AC) é também comprovada por ensaios e análises realizados.

- Medição de potência e cálculo de energia elétrica consumida pelas luminárias.

Os resultados obtidos pelos ensaios e análises realizadas comprovam a medição e cálculo corretos e fiáveis, com valores mínimos de erro de 0,79% (lâmpada de halogéneo) e 30,4% (lâmpada LED), da energia elétrica consumida pela luminária ligada ao aparelho construído.

- Controlo ON/OFF de cargas elétricas genéricas de instalações elétricas de baixa tensão (230V AC).

A construção da “Tomada Inteligente” viabiliza ao sistema de domótica o controlo referido, estando a mesma capaz de realizar esse controlo de forma eficaz e fiável para qualquer carga compatível.

- Medição de potência e cálculo de energia elétrica consumidas por cargas elétricas genéricas;

Os resultados obtidos pelos ensaios e análises realizadas comprovam a medição e cálculo corretos e fiáveis da energia elétrica consumida pelas cargas estudadas. Os erros presentes têm valores nulos (ventoinha) e de 28% (equipamento de climatização), sendo os mesmos aceitáveis considerando os valores monetários baixos dos equipamentos utilizados.

- Medição de temperatura, humidade relativa, presença e iluminância pelos sensores.

O sistema de domótica implementado contempla a medição da informação referida com sucesso. Os resultados obtidos, na forma de informação disponibilizado ao utilizador pelo sistema de domótica, são comprovadamente corretos e fiáveis. Os mesmos são utilizados com sucesso para o controlo requerido e inteligente das cargas anexas ao sistema.

- Configuração e utilização acessível do sistema e gestão inteligente do mesmo.

A implementação dos *triggers* e eventos exemplificados são implementados com sucesso para melhorar a aplicação do sistema, no aumento do conforto humano no local, mas também na vertente da eficiência energética. Os mesmos são acessíveis a qualquer tipo de utilizador, desde profissionais a pessoas não formadas nem aptas em computação, contemplando inúmeras possibilidades de configurações de utilização.

Através dos ensaios efetuados a cada um dos equipamentos, explicitados no Capítulo 4, e depois de testados todos os elementos integrados num único sistema global, verificou-se que o protótipo desenvolvido cumpre todos os requisitos indicados nos objetivos deste trabalho.

Os atuadores e sensores integrados no protótipo funcionam corretamente como equipamentos individuais, mas também como componentes no sistema de domótica, em que os sensores obtêm informação crucial para o controlo inteligente das cargas (pelos atuadores) e na monitorização das condições temporais na instalação. A interligação dos atuadores, sensores e interfaces é conseguida, permitindo a centralização de todos os equipamentos no sistema de domótica.

O protótipo projetado e construído tem capacidade de desenvolvimento futuro e implementação em instalações elétricas novas ou existentes, na forma de um sistema de domótica, tecnicamente e financeiramente acessível, amplamente configurável e adaptável a qualquer instalação e exigências do utilizador.

5.4. Perspetivas de trabalho futuras

Sendo este um protótipo experimental de possíveis sistemas de domótica, serão concebíveis desenvolvimentos futuros deste projeto:

- Implementação do sistema com a versão profissional da plataforma *online*;

Como referido no documento, a plataforma *online* utilizada é gratuita para protótipos. Deste modo, a mesma tem diversas limitações técnicas e informáticas, destacando-se:

- A gravação de dados enviados para a plataforma com limite mensal (eliminação dos dados gravados ao fim de um mês);
- Limitação de configuração dos *triggers* e eventos dos sistemas;
- Obrigatoriedade de ligação permanente dos microcontroladores à internet (inutilização do sistema aquando de impossibilidade de conexão a internet);
- *Widgets*, gráficos e demais interfaces gráficas limitadas;
- Entre outros.

A implementação do sistema com a versão profissional iria colmatar essas limitações por completo, incluindo a possibilidade de utilização do sistema de forma *offline* (com servidor local) e apoio técnico especializado permanente (equipa técnica profissional na área). O custo associado à plataforma profissional é de 0,5€ a 2€ por dispositivo (mensalidade), valores que dependem do número de dispositivos instalados, valências requeridas do sistema e tipo de utilizador.

- Implementação de equipamento com melhor resolução;

A implementação de equipamento com resolução superior permitiria a melhoria das leituras realizadas pelos sensores. O exemplo mais crucial no protótipo é do sensor de corrente e microcontrolador anexo (cálculo da energia elétrica consumida pela carga):

A limitação de 30 amostragens da corrente, por período da corrente alternada, como do erro inerente do sensor, como a taxa de atualização do pino analógico do microcontrolador utilizado, contribuem para um erro considerável no cálculo de energia elétrica consumida pelas cargas.

- Desenvolvimento do sistema para aplicações comerciais:

A utilização deste protótipo como base para produtos comerciais finais seria possível com investimento por parte de empresas da área. Desde a adaptação e criação de PCB's para módulos finais da "Tomada inteligente", "Casquilho inteligente", os sensores de presença,

temperatura, humidade relativa e luminosidade, permitira que estes módulos fossem comercializados num formato diretamente utilizável por consumidores finais (profissionais ou não) nas instalações elétricas novas ou existentes.

- Ensaio laboratoriais aplicados a situação real:

A melhoria do sistema construído poderá ser conseguida com a execução de mais ensaios, como exemplo:

- Instalação do “Casquilho inteligente” e “Tomada Inteligente” numa instalação elétrica existente: comparação dos valores de energia elétrica consumida com e sem o sistema de domótica, aumento do conforto e utilidade desses aparelhos;
- Instalação dos sensores em instalações elétricas existentes para comprovar a sua fiabilidade, precisão e utilidade geral;
- Utilização do sistema de domótica em diferentes espaços e locais, para testar a sua utilidade, fiabilidade, configuração, adaptabilidade e quantificar a eficiência energética das instalações onde é instalado.

Referências Bibliográficas

- [1] “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”, Portaria n.º 949-A/2006 - Diário da República n.º 175/2006, 1º Suplemento, Série I de 2006-09-11.
- [2] Murray Patterson, “What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues,” Energy Policy, 1996.
- [3] “Diretiva (UE) 2018/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, que altera a Diretiva 2012/27/UE relativa à eficiência energética (Texto relevante para efeitos do EEE.)”, 2018
- [4] Julien Mailland, Kevin Driscoll, “Minitel: Welcome to the Internet”, 2017.
- [5] José Dias, “Domotic Framework for the Internet of Things”, IST, 2017
- [6] Cruzl M.D., Ortegal J.A., Barriga Á., Fernández-Montes A. (2008) Development Environment Using FPGA For Domotics Applications Based On X10 Technology. In: Sobh T., Elleithy K., Mahmood A., Karim M.A. (eds) Novel Algorithms and Techniques In Telecommunications, Automation and Industrial Electronics. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-1-4020-8737-0_27
- [7] X10. “X10 basics” [Online]. <https://www.x10.com/x10-basics.html> (Acedido a 15/08/2020)
- [8] Associação KNX Portugal [Online]. <https://www.knx.pt> (Acedido a 15/08/2020)
- [9] João Nunes, “Configuração de Sistemas Domóticos”, IST, 2009.
- [10] X-Bus [Online]. <http://www.urmet.cn> (Acedido a 15/08/2020)
- [11] L. Meyer, “An introduction to Digital Addressable Lighting Interface (DALI) systems & study of a DALI daylighting application,” Tese de Mestrado, Kansas State University, 2007
- [12] Sunricher DALI systems [Online]. <https://www.sunricher.com/dali-series.html> (Acedido a 15/08/2020)
- [13] Ricardo Severino, “ On the use of IEEE 802.15.4/ZigBee for time-sensitive wireless sensor network applications”, ISEP, 2008.
- [14] Zigbee [Online]. <https://www.electricaltechnology.org/2017/09/zigbee-technology-wireless-networking-system.html> (Acedido a 15/08/2020)
- [15] MQTT, “Building Smarter Planet Solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry”, IBM, 2020.

- [16] LoRa, "A technical overview of LoRA and LoRaWan", LoRa Alliance, 2020.
- [17] Wi-Fi Alliance [Online]. <https://wi-fi.org/> (Acedido a 15/08/2020)
- [18] Bluetooth SIG, "Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP) Specification", 2003.
- [19] Vadillo, Laura & Martín-Ruiz, María & Malagón Hernández, Javier & Valero Duboy, Miguel & Lindén, Maria. (2016). The Role of Smart Homes in Intelligent Homecare and Healthcare Environments. doi: 10.1016/B978-0-12-805195-5.00014-4
- [20] Home Automation using IOT [Online]. <http://www.notespoint.com/home-automation/>, (Acedido a 15/08/2020)
- [21] Jung [Online] <https://www.jung.de/pt/> (Acedido a 15/08/2020).
- [22] Legrand [Online]. <https://www.legrand.pt/valena-life-with-netatmo/pro/> (Acedido a 15/08/2020)
- [23] Philips Hue [Online] <https://www2.meethue.com/en-us> (Acedido a 15/08/2020)
- [24] Google Assistant [Online] <https://assistant.google.com/> (Acedido a 15/08/2020)
- [25] Orno [Online] <https://www.orno.pl/en> (Acedido a 15/08/2020)
- [26] Renato Jorge Caleira Nunes, "DomoBus - A New Approach to Home Automation", IST, 2017
- [27] N. Vikram, K. S. Harish, M. S. Nihaal, R. Umesh and S. A. A. Kumar, "A Low Cost Home Automation System Using Wi-Fi Based Wireless Sensor Network Incorporating Internet of Things (IoT)," 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC), Hyderabad, 2017, pp. 174-178, doi: 10.1109/IACC.2017.0048.
- [28] Gunawan, Teddy & Yaldi, Intan & Kartiwi, Mira & Ismail, Nanang & Zabah, Nor & Mansor, H. & Nordin, Anis. (2017). Prototype Design of Smart Home System using Internet of Things. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 7. 107-115. 10.11591/ijeecs.v7.i1.pp107-115
- [29] G. V. Vivek and M. P. Sunil, "Enabling IOT services using WIFI - ZigBee gateway for a home automation system," 2015 IEEE International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN), Kolkata, 2015, pp. 77-80, doi: 10.1109/ICRCICN.2015.7434213.
- [30] M. Asadullah and K. Ullah, "Smart home automation system using Bluetooth technology," 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), Karachi, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIEECT.2017.7916544.

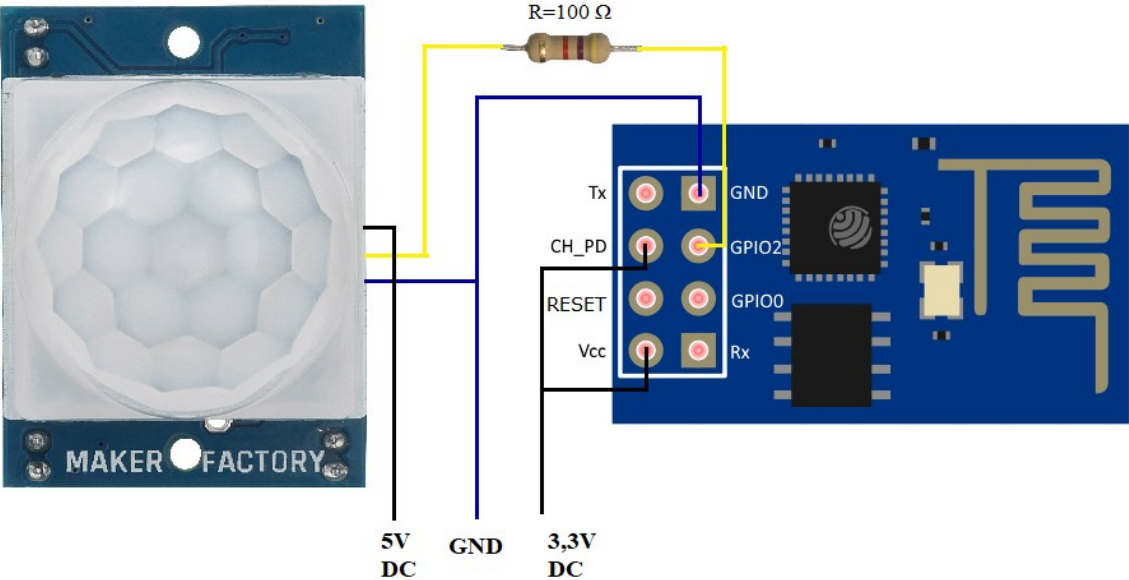
- [31] V. H. Bhide and S. Wagh, "i-learning IoT: An intelligent self learning system for home automation using IoT," 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), Melmaruvathur, 2015, pp. 1763-1767, doi: 10.1109/ICCSP.2015.7322825.
- [32] L.Tian, S. Deronney, S. Latré, J. Famaey, "Implementation and validation of an IEEE 802.11ah module for NS-3", WNS3 '16: Proceedings of the Workshop on ns-3, 2016, doi: 10.1145/2915371.2915372
- [33] The MagPi, "Get started with raspberry pi", 2019.
- [34] Robotdyn [Online]. <https://robotdyn.com/> (Acedido a 15/08/2020)
- [35] Luís M.S.Redondo, "Apontamentos sobre Semicondutores de Potência para Engenharia Electrotécnica", ISEL, Março de 2008.
- [36] João C.Palma, "Fundamentos de eletrónica de potência", IPL, 2018.
- [37] Expressif [Online], <https://www.espressif.com/>, (Acedido a 15/08/2020)
- [38] MyDevices [Online], <https://mydevices.com/>, (Acedido a 15/08/2020)

Anexos

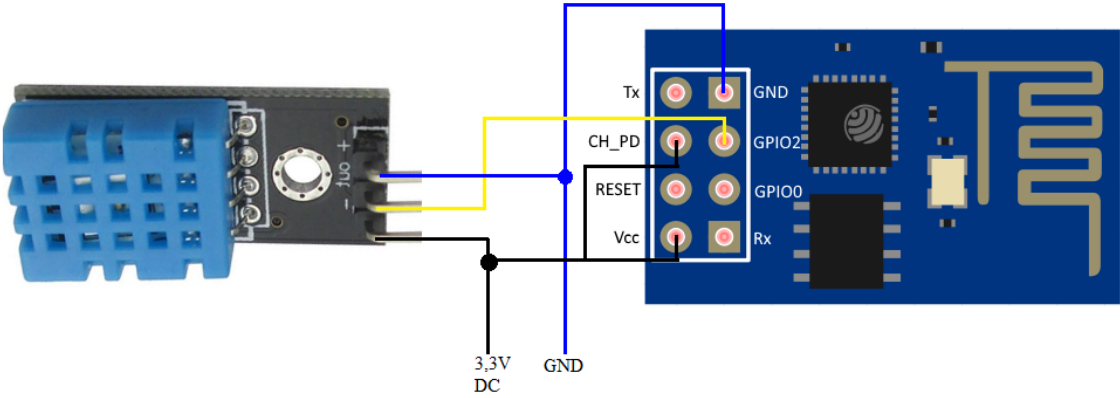
Anexo A – Tabela das características técnicas dos protocolos de comunicação apresentados

	Protocolos de comunicação	
	Taxas de transmissão de dados (kbps)	Alcance em edifícios (m)
<i>Wi-Fi</i>	< 600000	< 100
Bluetooth	< 50000	< 50
Zigbee	< 200	< 50
LoRa	< 20	< 500

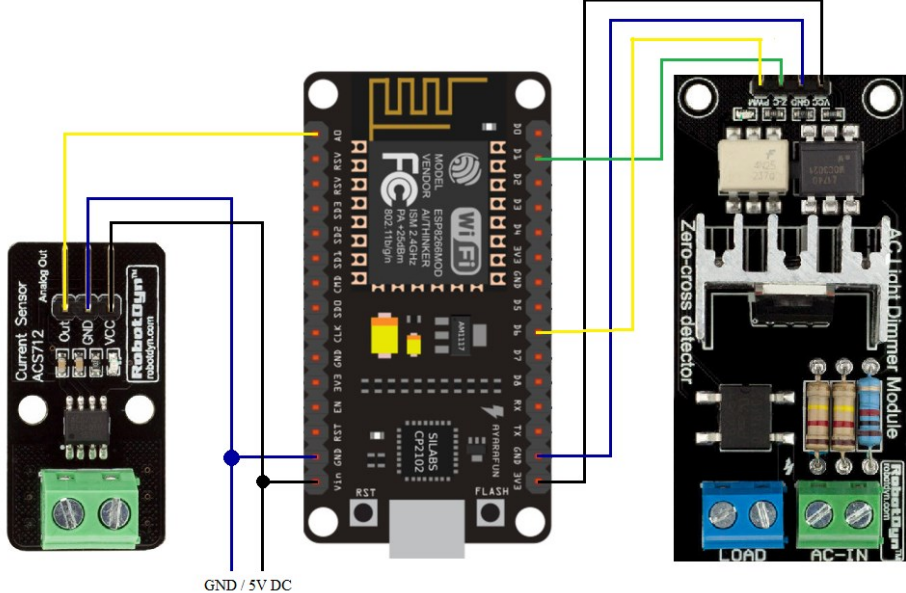
Anexo B – Esquema de ligações do sensor de presença



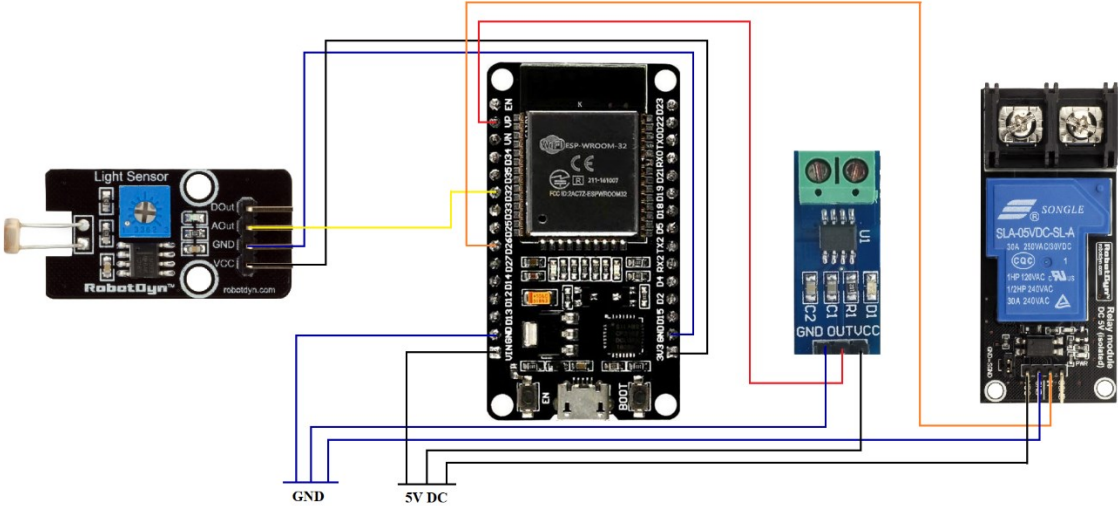
Anexo C – Esquema de ligações do sensor de temperatura e humidade relativa.



Anexo D – Esquema de ligações do “Casquilho Inteligente”



Anexo E – Esquema de ligações da “Tomada Inteligente”



Anexo G - Valor monetário de compra de equipamentos

“Tomada Inteligente”	
Principais componentes	Valor (€)
Relé digital 30A (robotdyn)	2,37
NodeMCU ESP-32s	3,01
Sensor de corrente 20A (robotdyn)	3,16
Transformador 230V AC / 5V DC (TMPS 03-105)	10,80
Involucro, tomada e ficha SCHUKO	9,99
Somatório	29,33

“Casquilho Inteligente”	
Principais componentes	Valor (€)
Dimmer (TRIAC)	3,07
NodeMCU ESP8266	2,19
Sensor de corrente 5A (robotdyn)	2,54
Transformador 230V AC / 5V DC (TMPS 03-105)	10,80
Involucro (caixa) e casquilho	5,99
Somatório	24,59

Sensor de luminosidade	
Principais componentes	Valor (€)
Sensor de luminosidade (LDR)	0,63
NodeMCU ESP-32s	3,01
Transformador 230V AC / 5V DC (TMPS 03-105)	10,80
Involucro (caixa)	3,99
Somatório	18,43

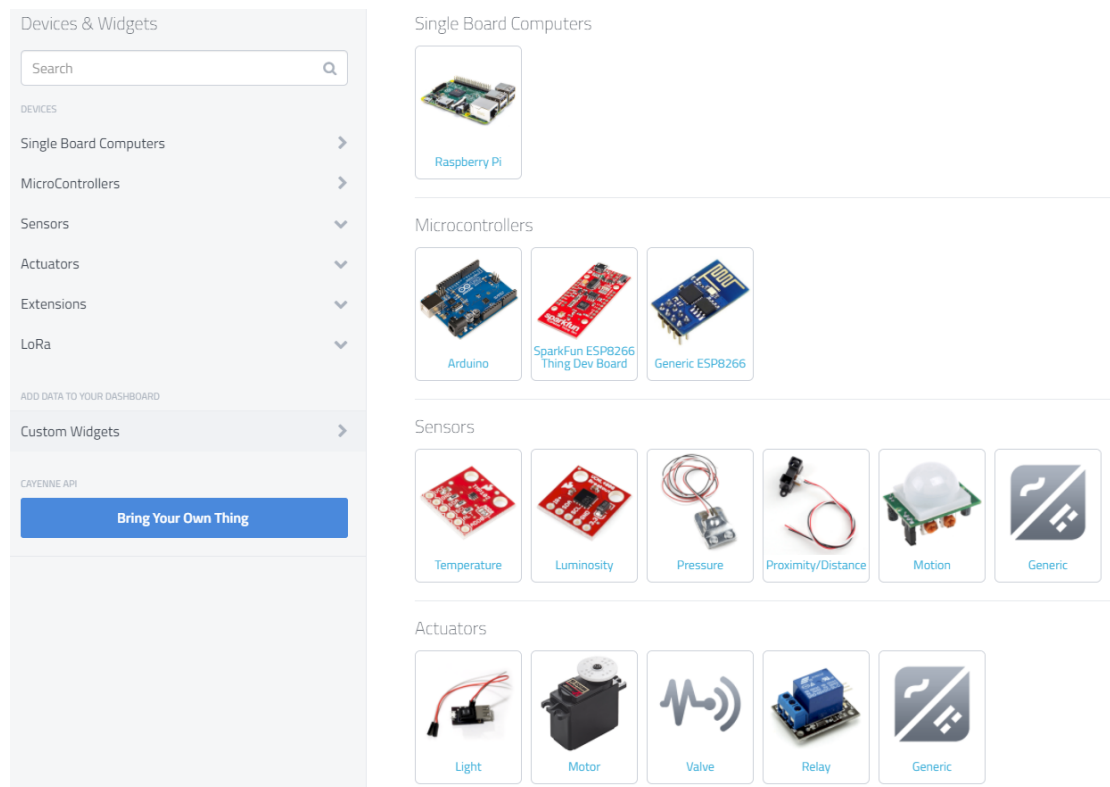
Sensor de temperatura e humidade	
Principais componentes	Valor (€)
DHT11	0,83
ESP-01	0,87
Transformador 230V AC / 5V DC (TMPS 03-105)	10,80
Involucro (caixa)	3,99
Somatório	16,49

Sensor de presença	
Principais componentes	Valor (€)
Sensor PIR	1,71
ESP-01	0,87
Transformador 230V AC / 5V DC (TMPS 03-105)	10,80
Involucro (caixa)	1,99
Somatório	15,37

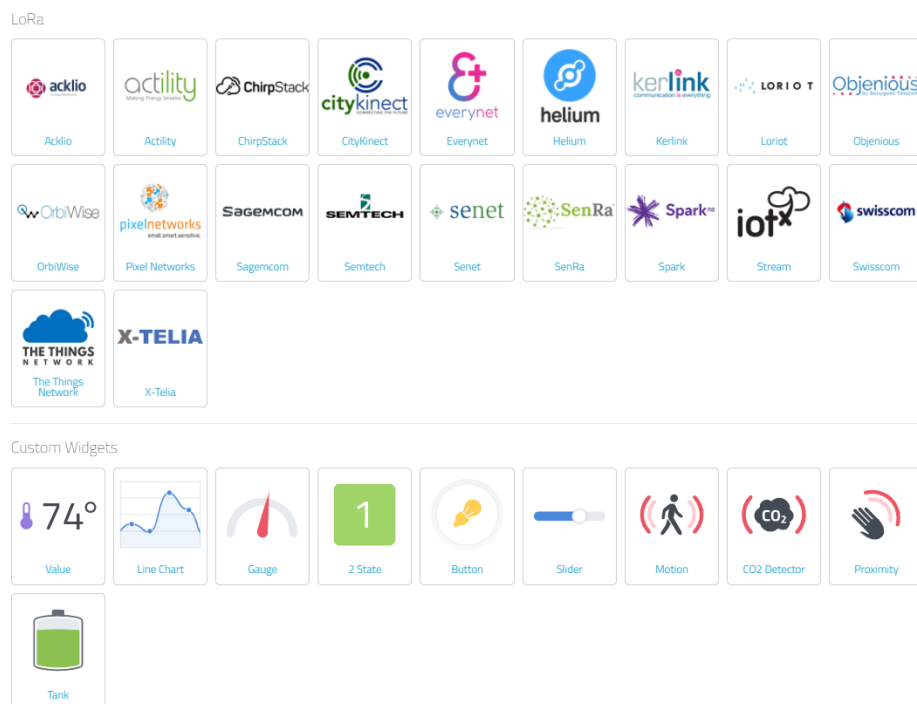
Consola de interface	
Principais componentes	Valor (€)
Raspberry pi 3B	33,15
Ecrã TFT (7 polegadas)	23,69
Involucro/caixa	26,63
Transformador 230V AC / 5V DC	3,99
Somatório	87,46

Anexo H – Metodologias de integração e configuração dos aparelhos IoT, no sistema de domótica

- Escolha do aparelho IoT a integrar no sistema:



- Escolha do aparelho IoT a integrar no sistema (LoRa) e/ou criação de widgets para as dashboard:



- Configuração (exemplar) de *widget*, de visualização gráfica de variável (Humidade relativa em %), do sensor de temperatura e humidade:

- Configuração (exemplar) de *widget*, de controlo ON/OFF, da Tomada Inteligente:

- Configuração de microcontroladores *Wi-Fi* (criação de informação única do MQTT *client* para autenticação) a implementar no código da programação do microcontrolador, para integração do mesmo no sistema de domótica (plataforma *online*):

Connect your Device

SELECT YOUR BOARD

Generic ESP8266

STEPS TO CONNECT

- Install the [Arduino IDE](#) and add [Cayenne MQTT Library](#) to Arduino IDE.
- Install the ESP8266 board package to Arduino IDE. [show me how](#)
- Install required USB driver on your computer so you can program the ESP8266. [show me how](#)
- Connect the ESP8266 to your PC/Mac via data-capable USB cable.
- In the Arduino IDE, go to the **tools** menu, select your **board**, and the **port** your ESP8266 is connected to.

MQTT USERNAME:
af7ff680-f0fa-11e9-ba7c-716e7f5ba423

MQTT PASSWORD:
02659680d3bf6c2c0d9b92a713f1bd1159ec0db

CLIENT ID:
242e0ea0-8a5a-11eb-a2e4-b32ea624e442

MQTT SERVER:
mqtt.mydevices.com

MQTT PORT:
1883

NAME YOUR DEVICE (optional):
Generic ESP8266

⏸ Waiting for board to connect...

NEED HELP?
[MQTT API Docs](#)
[Ask our community](#)

- Configuração da consola *Raspberry Pi*, para integração da mesma no sistema de domótica (plataforma *online*):

Connect your Raspberry Pi



Terminal / SSH

To download and install myDevices Cayenne on your Pi, use the Terminal on your Pi or SSH. Run the following commands:

```
wget https://cayenne.mydevices.com/dl/rpi_k8voeepnh1.sh
sudo bash rpi_k8voeepnh1.sh -v
```

If you don't already have the Raspbian OS, [grab it here](#).
[Need a Raspberry Pi?](#)

Anexo I - Código implementado no microcontrolador ESP8266 *NodeMCU* do “Casquilho inteligente”:

/*

Bruno Pedro

"Home automation system for energetic efficiency improvement"

Master degree dissertation - ISEL - Lisboa - 2020

Smart lamp socket, with lamp dimming (230V AC, 50Hz) with electrical power and energy consumption measurement.

Compatible with any type of single phase, low voltage AC lamp (LED, halogen, incandescent, etc) and single phase, low voltage AC electrical motors (fans, ventilators, heaters, etc)

Equipments utilized:

ESP8266 (CP2102 NodeMCU V3 Lua);

ACS712 (5A range) of Robotdyn, AC and DC current measurements, 5V DC (VCC);

AC dimmer (TRIAC module) of Robotdyn, 3,3V (VCC);

Online platform:

<https://mydevices.com/> (Cayenne IoT platform)

ESP8266 board package (arduino IDE, NodeMCU 0.9 (ESP-12 Module))

I do not own any library used in this code. All rights belong to owners.

*/

```
#include <RBDdimmer.h> // Supplier official dimmer library
```

```
#include <CayenneMQTTESP8266.h> //Cayenne library for ESP8266 communication method
```

```
#define CAYENNE_PRINT Serial //Serial monitor for cayenne communications
```

```
#define outputPin 12 //Output pin for ESP8266, Input pin of AC dimmer, responsible for electrical wave modulation
```

```
#define zerocross 5 // Input pin for ESP8266, Output pin of AC dimmer, responsible for sending the temporal information of electrical wave null value
```

```
dimmerLamp dimmer(outputPin, zerocross); //Initialization of ports for ESP8266
```

```
int outVal = 100; //variable for AC dimmer
```

```
float outVal2 = 0;
```

```
int preVal = 0; //variable for AC dimmer
```

```
float power; //variable for power measurement
```

```
double power2; //variable for power measurement
```

```
double powerK; //variable for power measurement
```

```
double sum = 0; //variable for energy measurement
```

```
double energy; //variable for energy measurement
```

```
int button = 1; //variable for ON/OFF lamp control by AC dimmer
```

```
char ssid[] = "HotspotWifi"; // Name of Wi-Fi access point used
```

```
char wifiPassword[] = "12345678"; // Password of Wi-Fi access point used
```

```

char username[] = "af7ff680-f0fa-11e9-ba7c-716e7f5ba423"; //Username of device connected
(Cayenne MQTT)
char password[] = "02659680d3bf6c2c0d9bd92a713f1bd1159ec0db"; //Password of device
connected (Cayenne MQTT)
char clientID[] = "1c9efad0-fc22-11ea-93bf-d33a96695544"; //ClientId of device connected
(Cayenne MQTT)

```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Initialization of arduino IDE serial monitor
  dimmer.begin(NORMAL_MODE, ON); //Initialization of AC dimmer: ("name of
device".begin(mode selection, device state selection)
  dimmer.setPower(50); //First value of AC dimmer output power
  pinMode(13, INPUT); //Virtual pin, used for ON/OFF control of lamp
  Cayenne.begin(username, password, clientID, ssid, wifiPassword); //Initialization of MQTT
connection of device with MQTT, with required information
}

```

```

void loop() {
  float output = 0; //Analog output of ACS712
  int max1 = 0; //variable for current measurement
  int max2 = 0; //variable for current measurement
  int max3 = 0; //variable for current measurement
  int sumcurrent = 0; //variable for current measurement
  int nullvalue = 0; //variable for current measurement
  int correctmax = 0; //variable for current measurement
  float mediumvalue = 0; //variable for current measurement
  int average; //variable for current measurement

  //The following electronic/computing setup reads and processes 1500 values of electrical
current each second
  for (int i = 0; i < 500; i++)
  {
    output = analogRead(A0); // A0 is ESP8266 NodeMCU only analog pin (with ADC)
    // "output" variable is ESP8266 reading of analog value of ACS712 out pin (DC electric
voltage).
    //The integrated ADC of ESP8266 has 10-bit resolution. The converted decimal values of
DC voltage (by ESP8266 adc of A0 pin) from ACS712 will be outputted to "output" variable
    //with values of 0 to 1023, being 0=0V and 1023=Max DC voltage of ACS712 out pin.
    //ESP8266 NodeMCU pin A0 supports up to 0-3,3V DC max.
    sumcurrent = sumcurrent + output; // summation of current values
    nullvalue = sumcurrent / 500; // Null value of electrical current (average value of electrical
wave)
    Serial.print(output);
    Serial.println();
    if (output > max1) {
      max1 = output; // Max current calculation
    }
  }
}

```

```

}
for (int i = 0; i < 60; i++)
{
    output = analogRead(A0);
    Serial.print(output);
    Serial.println();
    if (output > max2) {
        max2 = output;
    }
}
for (int i = 0; i < 940; i++)
{
    output = analogRead(A0);
    Serial.print(output);
    Serial.println();
    if (output > max3) {
        max3 = output;
    }
}
if ((max1 < max2) && (max1 < max3))
{
    correctmax = max1;
    Serial.println();

}
if ((max2 < max1) && (max2 < max3))
{
    correctmax = max2;

}
if ((max1 < max3) && (max1 < max3))
{
    correctmax = max3;
}
Serial.print("max1=");
Serial.print(max1);
Serial.print("max2=");
Serial.print(max2);
Serial.println();
Serial.print("max3=");
Serial.print(max3);
Serial.print("Corrected max value="); // correctmax value will be the filtered max current value
(due to ACS712 and ESP8266 error in measurement)
Serial.print(correctmax);
Serial.println();
Serial.print("Nullvalue=");
Serial.print(nullvalue);
Serial.println();

```

```

power = (((correctmax - nullvalue) * 0.0194) / (sqrt(2))) * 230;
//Conversion of analog output signal from ACS712 to ESP8266, to current (Amperes) and to
effective/rms power(W).
// The proportionality constant (0.0194) was calculated per precise laboratory experiments
and results
if (power < 0)
{
power = 0 ;
}
Serial.print("outVal=");
Serial.print(outVal); // dimming value of load (%)
Serial.println();
outVal2 = outVal;
power2 = power * (((0.0314 * outVal) - (0.5) * sin((2 * ((0.0314 * outVal)))))) / 3.14159);
//Calculation of eletrical power consumed, with % dimming of load (equation explained in
dissertation)
Serial.println();
Serial.print("Power1(W):");
Serial.print(power);
Serial.print("Power2(W):");
Serial.print(power2);
Serial.println();
powerK = power2 / 1446000 ; //Conversion of power in Watts (W), to power in kilowatts (kW),
to energy in 1 second. Every 2,48s a value is sent, consequently 1800 readings per hour
Serial.print("Power(kW) 1sec:");
Serial.print(powerK, 7);
Serial.println();
sum = (sum + powerK); // Summation of eletrical energy (kW/h) value
energy = sum; // Total eletrical energy (kW/h) value
Serial.print("Energy:");
Serial.print(sum, 7);
Serial.println();
delay(10);

// The following conditons are implemented to enable an ON/OFF button on cayenne online
dashboard to control the ON/OFF lamp.
if (button == 1)
{
delay(10);
dimmer.setState(ON); //name.setState(ON/OFF);
}
if (button == 0)
{
delay(10);
dimmer.setState(OFF); //name.setState(ON/OFF);
}
delay(10);
Cayenne.loop(); // Cayenne code loop

```

```

}

CAYENNE_IN(1) //MQTT channel for dimming value (%)
{
  outVal = getValue.asInt(); // Dimming value (%) sent from cayenne online dashboard
  if (preVal != outVal)
  {
    dimmer.setPower(outVal);
    Serial.print("Dimming value (%)\n");
    Serial.println(outVal);
  }
}

CAYENNE_OUT(2) //MQTT channel for electrical energy consumption (values in kW/h) for
latest value
{
  Cayenne.virtualWrite(2, energy, "energy", "kwh");
}

CAYENNE_OUT(3) //MQTT channel for electrical energy consumption (values in kW/h) for
graph
{
  Cayenne.virtualWrite(3, energy, "energy", "kwh");
}

CAYENNE_OUT(4) //MQTT channel for electrical power consumption (values in W) for latest
value
{
  Cayenne.virtualWrite(4, power2, "pow", "w");
}

CAYENNE_IN(5) //MQTT channel for ON/OFF control of lamp by AC dimmer
{
  int currentValue = getValue.asInt();
  button = currentValue;
}

```

Anexo J - Código implementado no microcontrolador ESP-01 do sensor de presença:

```
/*
  Bruno Pedro
  "Home automation system for energetic efficiency improvement"
  Master degree dissertation - ISEL - Lisboa - 2020

  Motion sensor (PIR)

  Equipments utilized:
  ESP8266 (ESP-01); VCC and CH_PD 3,3V DC VCC
  PIR sensor, digital output, 5V DC VCC. 100 ohms resistance between GPIO2 of ESP-01 and
  OUT in of PIR sensor
  Online platform:
  https://mydevices.com/ (Cayenne IoT platform)
  ESP8266 board package (arduino IDE)

  I do not own any library used in this code. All rights belong to owners.
*/

#include <CayenneMQTTESP8266.h> //Cayenne library for ESP8266 communication method
#define CAYENNE_PRINT Serial //Serial monitor for cayenne communications
#define CAYENNE_DEBUG //Serial monitor for cayenne communications for debug

char ssid[] = "HotspotWifi"; // Name of Wi-Fi access point used
char wifiPassword[] = "12345678"; // Password of Wi-Fi access point used

char username[] = "af7ff680-f0fa-11e9-ba7c-716e7f5ba423"; //Username of device connected
(Cayenne MQTT)
char password[] = "02659680d3bf6c2c0d9bd92a713f1bd1159ec0db"; //Password of device
connected (Cayenne MQTT)
char clientID[] = "d9ca0200-bd41-11ea-93bf-d33a96695544"; //ClientId of device connected
(Cayenne MQTT)

#define SENSOR_PIN 2 // Do not use digital pins 0 or 1 since those conflict with the use of
Serial.
#define VIRTUAL_CHANNEL 1 // Cayenne MQTT virtual channel number 1 is used for this
device

void setup()
{
  pinMode(SENSOR_PIN, INPUT); // ESP-01 digital pin used for receiving sensor information,
INPUT mode
  Serial.begin(74880); // Baud rate suitable for ESP-01
  Cayenne.begin(username, password, clientID, ssid, wifiPassword); //Initialization of MQTT
connection of device with MQTT, with required information
}
```

```

void loop()
{
  Cayenne.loop(); // Cayenne code loop
  checkSensor(); // Sensor status check
}

int previousState = -1;
int currentState = -1;
unsigned long previousMillis = 0;

void checkSensor()
{
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Check sensor data every 250 milliseconds
  if (currentMillis - previousMillis >= 100) {
    // Check the sensor state and send data when it changes.
    currentState = digitalRead(SENSOR_PIN);
    if (currentState != previousState) {
      Cayenne.virtualWrite(1 , currentState, "digital_sensor", "d"); // Cayenne MQTT virtual
channel number 1 is used for this device
      Cayenne.virtualWrite(2 , currentState, "digital_sensor", "d"); // Cayenne MQTT virtual
channel number 2 is used for this device, for the secondary graph
      previousState = currentState;
    }
    previousMillis = currentMillis;
  }
}

```

Anexo K - Código implementado no microcontrolador ESP-32 da “Tomada Inteligente”:

/*

Bruno Pedro

"Home automation system for energetic efficiency improvement"

Master degree dissertation - ISEL - Lisboa - 2020

Smart power plug, with electric load ON/OFF control (230V AC, 50Hz) and with electrical power and energy consumption measurement.

Compatible with any type of single phase, low voltage electric load that are connectable to SCHUKO power plug tipology.

Equipments utilized:

ESP-32 (NodeMCU-32S Lua);

ACS712 (20A range) of Robotdyn, AC and DC current measurements, 5V DC (VCC);

Digital relay (30A / 250V AC)

Robotdyn light sensor, LDR with analog and digital outputs (3,3V DC VCC);

Online platform:

<https://mydevices.com/> (Cayenne IoT platform)

I do not own any library used in this code. All rights belong to owners.

*/

```
#include <CayenneMQTTESP32.h> //Cayenne library for ESP8266 communication method
#define CAYENNE_PRINT Serial //Serial monitor for cayenne communications
```

```
double sum = 0; //variable for energy measurement
float power; //variable for power measurement
double powerK; //variable for power measurement
double energy; //variable for energy measurement
float lux = 0; //variable for luminosity measurement
float luxs = 0; //variable for luminosity measurement
```

```
char ssid[] = "HotspotWifi"; // Name of Wi-Fi access point used
char wifiPassword[] = "12345678"; // Password of Wi-Fi access point used
```

```
char username[] = "af7ff680-f0fa-11e9-ba7c-716e7f5ba423"; //Username of device connected
(Cayenne MQTT)
char password[] = "02659680d3bf6c2c0d9bd92a713f1bd1159ec0db"; //Password of device
connected (Cayenne MQTT)
char clientID[] = "3710e110-7902-11ea-93bf-d33a96695544"; //ClientId of device connected
(Cayenne MQTT)
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200); //Initialization of arduino IDE serial monitor
  pinMode(26, OUTPUT); // Output pin of ESP-32, Input pin of digital relay, responsible for the
  ON/OFF control off relay.
```

```

Cayenne.begin(username, password, clientID, ssid, wifiPassword); //Initialization of MQTT
connection of device with cayenne, with required information
}

```

```

void loop() {
float output = 0; //Analog output of ACS712
float output2 = 0; //Analog output of light sensor
int sumcurrent = 0; //variable for current measurement
int sum2 = 0; //variable for luminosity measurement
int max1 = 0; //variable for current measurement
int max2 = 0; //variable for current measurement
int max3 = 0; //variable for current measurement
int nullvalue = 0; //variable for current measurement
int correctmax = 0; //variable for current measurement
float average2 = 0; //variable for luminosity measurement

```

//The following electronic/computing setup reads and processes 1500 values of electrical current each second

```

for (int i = 0; i < 500; i++)
{
output = analogRead(A0); // A0 is ESP-32 NodeMCU analog pin of GPIO36 (with ADC)
// "output" variable is ESP32 reading of analog value of ACS712 out pin (DC electric voltage).
//The integrated ADC of ESP-32 has 12-bit resolution. The converted decimal values of DC
voltage (by ESP-32 adc of A0 pin) from ACS712 will be outputted to "output" variable
//with values of 0 to 4096, being 0=0V and 4096=Max DC voltage of ACS712 out pin.
//ESP8266 NodeMCU analog pins supports up to 0-3,3V DC max.
sumcurrent = sumcurrent + output; // summation of current values
nullvalue = sumcurrent / 500; // Null value of electrical current (average value of electrical
wave)
Serial.print(output);
Serial.println();
if (output > max1) {
max1 = output; // Max current calculation
}
}
for (int i = 0; i < 60; i++)
{
output = analogRead(A0);
Serial.print(output);
Serial.println();
if (output > max2) {
max2 = output;
}
}
for (int i = 0; i < 940; i++)
{
output = analogRead(A0);

```

```

Serial.print(output);
Serial.println();
if (output > max3) {
    max3 = output;
}
}
if ((max1 < max2) && (max1 < max3))
{
    correctmax = max1;
    Serial.println();

}
if ((max2 < max1) && (max2 < max3))
{
    correctmax = max2;

}
if ((max1 < max3) && (max1 < max3))
{
    correctmax = max3;
}

Serial.println();
Serial.print("max1");
Serial.print(max1);
Serial.println();
Serial.print("max2");
Serial.print(max2);
Serial.println();
Serial.print("max3");
Serial.print(max3);
Serial.println();
Serial.print("Corrected max="); // correctmax value will be the filtered max current value (due
to ACS712 and ESP8266 error in measurement)
Serial.print(correctmax);
Serial.println();
Serial.print("Nullvalue=");
Serial.print(nullvalue);
Serial.println();
power = (((correctmax - nullvalue) * 0.00692) / (sqrt(2))) * 230; //conversion of output signal
from ACS712, to current (Amperes), to power (W)
//Conversion of analog output signal from ACS712 to ESP-32, to current (Amperes) and to
effective/rms power(W).
// The proportionality constant (0.00692) was calculated per precise laboratory experiments
and results (explained in dissertation)
if (power < 30 )
{
    power = 0;
}

```

```

}
Serial.println();
Serial.print("Power(W):");
Serial.print(power);
Serial.println();

powerK = power / 1895000 ; //Conversion of power in Watts (W), to power in kilowatts (kW),
to energy in 1 second. Every 1,90s a value is sent, consequently 1607 readings per hour
Serial.print("Power(kW) 1sec:");
Serial.print(powerK, 7);
Serial.println();
sum = (sum + powerK); // Summation of electrical energy (kW/h) value
energy = sum;
Serial.print("Energy:"); // Total electrical energy (kW/h) value
Serial.print(sum, 7);
Serial.println();
delay(10);

// The following code regards to the light sensor output values.
for (int i = 0; i < 50; i++)
{
  output2 = analogRead(32); //GPIO32 is the analog pin of ESP-32 connected to analog
output of light sensor.
  //The ESP-32 will convert, through ADC, the voltage output of LDR and convert it to a range
of 0 to 4096.
  Serial.print(output2);
  Serial.println();
  sum2 = sum2 + output2;
}
average2 = sum2 / 50; //Average value obtained, to improve value reading precision
lux = pow((average2 / 12117), (1 / (-0.71))); // Calculation of luxs detected by light sensor.
// The formula used takes the digital value of voltage from LDR and calculates the luxs in the
area. This formula and constants were obtained from precise laboratory experiments.
Serial.print("Average signal=");
Serial.print(average2);
Serial.println();
Serial.print("luxs=");
Serial.print(lux);
Serial.println();
luxs = lux;
Cayenne.loop();
delay(10);
}

CAYENNE_OUT(1)
{
  Cayenne.virtualWrite(1, energy, "energy", "kwh"); //MQTT channel for electrical energy
consumption (values in kW/h) for latest value

```

```

}
CAYENNE_OUT(2)
{
  Cayenne.virtualWrite(2, energy, "energy", "kwh"); //MQTT channel for electrical energy
consumption (values in kW/h) for graph
}
CAYENNE_OUT(3)
{
  Cayenne.virtualWrite(3, power, "pow", "w"); //MQTT channel for electrical power consumption
(values in W) for latest value
}
CAYENNE_OUT(5)
{
  Cayenne.virtualWrite(5, luxs, "lum", "lux"); //MQTT channel for luxs detected by light sensor
}
CAYENNE_OUT(6)
{
  Cayenne.virtualWrite(6, luxs, "lum", "lux"); //MQTT channel for luxs detected by light sensor
}
CAYENNE_IN(9) //MQTT channel for ON/OFF control of digital relay
{
  int currentValue = getValue.asInt();
  if (currentValue == 1) {
    digitalWrite(26, HIGH); // GPIO PIN 26 ON
  }
  else
  {
    digitalWrite(26, LOW); // GPIO PIN 26 OFF
  }
}
}

```

Anexo L - Código implementado no microcontrolador ESP-01 do sensor de temperatura e humidade relativa:

```
/*
Bruno Pedro
"Home automation system for energetic efficiency improvement"
Master degree dissertation - ISEL - Lisboa - 2020

Temperature and relative humidity sensor (DHT11)

Equipments utilized:
ESP8266 (ESP-01); VCC and CH_PD 3,3V DC VCC
DHT11 sensor, digital output, 3,3V DC VCC. GPIO2 of ESP-01 connected to OUT of sensor
Online platform:
https://mydevices.com/ (Cayenne IoT platform)
ESP8266 board package (arduino IDE)

I do not own any library used in this code. All rights belong to owners.
*/

#include "DHT.h" // Library of DHT11 temperature and humidity sensor
#define DHTTYPE DHT11 // Definition of DHT sensor used: DHT11

#define dht_dpin 2 // OUT pin used for output digital information
DHT dht(dht_dpin, DHTTYPE); // DHT11 parameterization

#include <CayenneMQTTESP8266.h> //Cayenne library for ESP8266 communication method

#define CAYENNE_PRINT Serial //Serial monitor for cayenne communications
#define CAYENNE_DEBUG //Serial monitor for cayenne communications for debug

// WiFi network info.
char ssid[] = "HotspotWifi"; //Serial monitor for cayenne communications
char wifiPassword[] = "12345678"; //Serial monitor for cayenne communications for debug

char username[] = "af7ff680-f0fa-11e9-ba7c-716e7f5ba423"; //Username of device connected
(Cayenne MQTT)
char password[] = "02659680d3bf6c2c0d9bd92a713f1bd1159ec0db"; //Password of device
connected (Cayenne MQTT)
char clientID[] = "f2f89ea0-bd4e-11ea-93bf-d33a96695544"; //ClientId of device connected
(Cayenne MQTT)

#define SENSOR_PIN 2 // Do not use digital pins 0 or 1 since those conflict with the use of
Serial.

void setup()
{
```

```

dht.begin(); // Initialization of DHT11 sensor
pinMode(SENSOR_PIN, INPUT); // ESP-01 digital pin used for receiving sensor information,
INPUT mode
Serial.begin(9600); // Baud rate suitable for ESP-01
Cayenne.begin(username, password, clientID, ssid, wifiPassword); //Initialization of MQTT
connection of device with MQTT, with required information
}

void loop()
{
  Cayenne.loop(); // Cayenne code loop
  delay(1000);
}

int previousState = -1;
int currentState = -1;
unsigned long previousMillis = 0;

CAYENNE_OUT(1) //MQTT channel responsible for sending temperature constant information
{
  float t = dht.readTemperature();
  Cayenne.virtualWrite(1,t,"temp","c"); //virtual pin
}
CAYENNE_OUT(2) //MQTT channel responsible for sending temperature information for
graph
{
  float t = dht.readTemperature();
  Cayenne.virtualWrite(2,t,"temp","c"); //virtual pin
}

CAYENNE_OUT(3) //MQTT channel responsible for sending humidity constant information
{
  float h = dht.readHumidity();
  Cayenne.virtualWrite(3,h,"rel_hum","p"); //virtual pin
}

CAYENNE_OUT(4) //MQTT channel responsible for sending relative humidity for graph
{
  float h = dht.readHumidity();
  Cayenne.virtualWrite(4,h,"rel_hum","p"); //virtual pin
}

```