

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



“Detecção inteligente de falha de iluminação parcial”

Orlanda Alice Moreira Neto Mendes de Sousa

VERSÃO FINAL

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Hélio Mendonça

Co-orientador: Eng.º João Rodrigues

26 de Junho de 2018

Resumo

Os sistemas de domótica encontram-se em constante evolução, estando cada vez mais presentes no dia-a-dia da população. Por consequência, o mercado torna-se cada vez mais exigente no que diz respeito à simplicidade da sua instalação e utilização dos produtos.

O objetivo desta dissertação consiste em desenvolver um produto que seja capaz de notificar os seus utilizadores acerca da presença de anomalias no sistema de iluminação de grandes edifícios. Pretende-se que o produto desenvolvido seja colocado no quadro elétrico do edifício e alimentado diretamente da rede elétrica.

Ao longo deste documento, serão detalhadas todas as etapas desenvolvidas na produção deste protótipo, assim como as tecnologias e abordagens utilizadas. Numa fase inicial, foi realizado um estudo acerca de possíveis componentes elétricos a utilizar no sistema, de sistemas que realizavam a medição da energia, do comportamento das lâmpadas fluorescentes e *LED's* ao longo do tempo e possíveis perturbações na rede elétrica. Concluída essa análise, foi projetado o circuito para a medição da potência do sistema de iluminação. Foi utilizada a linguagem C no desenvolvimento do algoritmo a adotar para o sistema, que é dividido em duas fases: fase de aprendizagem, na qual é criado um perfil de utilização e fase de funcionamento normal, onde é medida constantemente a potência e são detetadas anomalias em relação ao perfil estipulado.

Depois de ter sido desenvolvido todo o sistema, o mesmo foi implementado num micro-controlador da STMicroelectronics (STM32F030C6T6) e foram realizados testes ao produto.

Foram realizados testes ao produto com um conjunto de lâmpadas, LED e fluorescentes, e foi possível simular a presença de uma anomalia no circuito de iluminação, que foi detetada pelo sistema, comprovando assim o seu bom funcionamento.

Palavras-Chave: Domótica, Detecção de falha, Iluminação, STM32F030C6T6

Abstract

Home automation systems are in constant evolution and are increasingly present in the daily life of the population. Consequently, the market becomes more and more demanding on what concerns the simplicity of its installation and in the use of the products. The purpose of this dissertation is to develop a product that is able to notify its users about the presence of anomalies in the lighting system of large buildings. It is intended that the developed product should be placed on the electric board and supplied, directly, from the main electrical network. Throughout this document every step taken to produce this prototype will be explained, as well as the technologies and approaches used. At an early stage, we conducted a study about possible electrical components that could be used in the system. With this analysis complete the circuit for the power measurement of the lighting system was designed. C language was used in the development of the algorithm to adopt for the system, which is divided into two phases: the learning phase, in which is created a usage and normal operating phase profile, where power is measured constantly, and are detected anomalies in relation to the stipulated profile. After the development of the whole system it was implemented in a micro-controller from STMicroelectronics (STM32F030C6T6) and product tests were carried out.

The product was tested with a set of LED and fluorescent lamps, and it was possible to simulate an anomaly in the lighting circuit, which was detected by the system, proving it functions properly.

Keywords: Home automation, failure detection, lighting, STM32F030C6T6

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que em diferentes momentos do meu percurso académico e das mais variadas formas, fizeram parte desta etapa, pois sem elas esta dissertação não teria sido possível.

Em primeiro lugar, gostaria de manifestar o meu profundo agradecimento ao engenheiro João Rodrigues, pelo constante apoio e disponibilidade demonstrados, pela constante motivação e partilha, sem dúvida que foi uma peça chave na conclusão desta dissertação.

Um especial agradecimento à NIBBLE por esta oportunidade e a todos os colegas de trabalho, por todo o apoio concedido e por me permitirem crescer a nível pessoal e profissional.

Ao Professor Hélio Mendonça, muito obrigada pela sua sempre pronta disponibilidade e amabilidade ao acompanhar este projeto, pelas sábias considerações e conselhos.

A todos aqueles que cruzaram o meu caminho desde o início deste percurso e como tal não poderia deixar de agradecer às pessoas que mais estiveram presentes. Ao Luís Paulo, Narciso Caldas e Gonçalo Martins, obrigada por terem sido os melhores companheiros e por todos os momentos que passamos juntos, que me permitem afirmar com certeza que levo daqui uma amizade para a vida toda.

Aos meus amigos de sempre e em especial à Liliana Peixoto, por se ter demonstrado uma pessoa incrível em tão pouco tempo, pela amizade, por todo o apoio e por sempre acreditar mais em mim do que eu própria, por nunca me ter deixado desistir em momento algum, um obrigado do fundo do coração.

E por fim, aqueles que são os pilares da minha vida, a minha família. Aos meus pais, aos meus irmãos e pseudo-irmão, o meu mais sincero obrigado, por serem os melhores do mundo. Por estarem sempre presentes, por nunca me deixarem baixar os braços e por sempre me apoiarem em todas as decisões da minha vida. Obrigada por nunca me faltarem, sem o vosso apoio e encorajamento nada disto teria sido possível, vocês são o meu maior orgulho!

Não consigo imaginar um mundo em que a minha família não fosse esta e por isso esta tese é dedicada a vós.

Orlanda Sousa

“Persistence is the shortest path to success!”

Charles Chaplin

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Soluções e tecnologias existentes	3
2.1.1	<i>Open Energy Monitor</i>	3
2.1.2	Deteção falha lâmpada elevador	4
2.1.3	Medidor de Energia	5
2.2	Iluminação	6
2.2.1	Lâmpadas fluorescentes	6
2.2.2	Díodos Emissores de Luz (<i>LED's</i>)	7
2.2.3	Qualidade da Potência e Analise Harmónica	8
2.3	Sensor de corrente	11
2.3.1	Resistência de derivação (<i>shunt</i>)	11
2.3.2	Transformadores de corrente	11
2.3.3	Bobinas de Rogowski	13
2.3.4	Sensores de efeito de <i>Hall</i>	13
2.4	Rede Elétrica em Portugal	14
2.4.1	Perturbações da Rede Elétrica	14
2.5	Conversão AC/DC, step-down	16
3	Definição do problema	19
3.1	Cenário possível	19
3.2	Requisitos	20
3.2.1	Requisitos funcionais	20
3.2.2	Requisitos não-funcionais	20
3.3	Arquitetura do sistema	20
4	Conceção e Implementação do sistema	23
4.1	Hardware	23
4.1.1	Sensor de corrente	23
4.1.2	Circuito elétrico para medição da potência consumida	24
4.1.3	Placas de Circuito Impresso (PCB's)	28
4.1.4	Caixa	30
4.2	Software	30
4.2.1	Software utilizado	30

4.2.2	Análise dos sinais adquiridos	31
4.2.3	Transições	34
4.2.4	Visão global do sistema	36
5	Testes e Resultados	41
5.1	Testes preliminares	41
5.1.1	Teste fase de aprendizagem	41
5.1.2	Teste fase funcionamento normal	43
6	Conclusões e Trabalho Futuro	45
6.1	Trabalho Futuro e Melhorias	46
	Referências	47

Lista de Figuras

2.1	5 unidades principais do sistema [1]	3
2.2	emonPi [1]	4
2.3	Representação gráfica da <i>Web-app Emoncms</i> [1]	4
2.4	emonTx [1]	4
2.5	emonBase [1]	4
2.6	Monitorização da Corrente Contínua [2]	5
2.7	GHDS100E, medidor para 1 fase [3]	5
2.8	GHDS300E, medidor para 3 fases [4]	5
2.9	Comparação dos diferentes tipos de lâmpadas [5]	6
2.10	Princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente [6]	7
2.11	Representação da tensão ao longo do tempo numa lâmpada fluorescente [7]	7
2.12	Circuito conversor <i>flyback</i> para <i>LED's</i> [8]	8
2.13	<i>driver</i> de 2 estágios [8]	8
2.14	<i>LED</i> A, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]	9
2.15	<i>LED</i> B, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]	9
2.16	CFL A, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]	10
2.17	CFL B, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]	10
2.18	CFL C, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]	10
2.19	Comparação das características e aplicações das diferentes tecnologias de medição de corrente [10]	11
2.20	Sensor de corrente SCT-013 [11]	12
2.21	Circuito para ler os valores do sensor SCT-013 [12]	12
2.22	Configuração básica de uma bobina de Rogowski [13]	13
2.23	Exemplo de um sensor de efeito de <i>Hall</i> [14]	13
2.24	Frequência e Período de um sinal [15]	14
2.25	Exemplo de distorções na frequência [15]	15
2.26	Exemplo de variações na tensão de alimentação [15]	16
2.27	Diagrama do circuito elétrico sem transformador [16]	16
2.28	Diagrama do circuito elétrico com transformador [17]	17
3.1	Arquitetura do sistema	21
4.1	Gráfico da tensão de saída vs corrente na entrada	24
4.2	Circuito Elétrico	24
4.3	Circuito de alimentação	25
4.4	Ciclo de Carga/Descarga sobre um condensador de 10 μ F	26
4.5	Circuito do micro-controlador	26
4.6	Circuito dos <i>LED's</i> e botão de pressão	27

4.7	<i>Design</i> da PCB1 na ferramenta <i>Pulsonix</i>	28
4.8	PCB1 desenvolvida com os componentes soldados	28
4.9	<i>Design</i> da PCB2 na ferramenta <i>Pulsonix</i>	29
4.10	PCB1 desenvolvida com os componentes soldados	29
4.11	Montagem da caixa e posição das PCB's	31
4.12	Caixa para calha DIN	32
4.13	Caixa montada com as PCB's desenvolvidas	32
4.14	Representação do sinal da corrente recebido na entrada do ADC	33
4.15	Representação do sinal após o filtro passa-baixo	34
4.16	Representação do sinal da tensão recebido na entrada do ADC	35
4.17	Exemplo de uma transição negativa	36
4.18	Representação da máquina de estados global do sistema	36
4.19	Representação da máquina de estados da fase de aprendizagem	37
4.20	Representação da máquina de estados do modo de funcionamento normal	39
5.1	Conjunto de lâmpadas utilizadas para os testes preliminares	41
5.2	2 lâmpadas fluorescentes e conjunto de lâmpadas LED's	41
5.3	Gráfico da fase de aprendizagem para os casos representados	42
5.4	"perfil"adquirido	42
5.5	Simulação de uma situação de falha	43
5.6	Valor da falha	44

Lista de Tabelas

3.1	Alimentação - Requisitos funcionais	20
3.2	Funcionamento - Requisitos funcionais	20
3.3	Requisitos não-funcionais	20

Abreviaturas e Símbolos

A	Ampere
AC	Alternating Current
ADC	Analog to Digital Converter
DC	Direct Current
GND	Ground
GSM	Global System for Mobile Communications
IC	Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IEP	Instituto Eletrotécnico Português
IOT	Internet Of Things
Kbytes	Kilobytes
MCU	MicroController Unit
MHz	Megahertz
mm	milímetros
SRAM	Static Random Access Memory
V	Volt
Vcc	Voltage common collector
PCB	Printed Circuit Board
WWW	<i>World Wide Web</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Hoje em dia, é cada vez maior a aposta em soluções tecnológicas que visam facilitar o dia-a-dia dos seus utilizadores.

No âmbito da manutenção de edifícios, o espaço comum a todas as casas de um condomínio, é sempre um espaço que necessita de manutenções periódicas. Essas manutenções podem incluir:

- Inspeção dos elevadores;
- Inspeção dos extintores;
- Inspeção dos alarmes de incêndio;
- Inspeção às canalizações de gás;
- Serviços de jardinagem;
- Serviços de limpeza;
- Verificação dos sistemas de iluminação;

Atualmente, a inspeção dos sistemas de iluminação dos corredores de um edifício, por exemplo, é realizada por parte do condomínio que contrata os serviços de uma pessoa ou empresa especializada, que periodicamente, se dirige ao local e realiza a inspeção das lâmpadas em cada um dos pisos. Logo, quanto maior for o edifício mais demorado e mais caro se torna o processo.

Assim surge a ideia de criar um produto capaz de notificar, de forma simples, o utilizador, da ausência ou presença de anomalias no sistema de iluminação de um edifício, com o objetivo de simplificar a forma como este processo é realizado, tornando-o num processo mais simples e menos demorado.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver um produto competitivo para colocação em quadros elétricos, capaz de detetar falhas nos circuitos de iluminação das áreas comuns de um edifício e que permita às empresas de gestão de edifícios aumentar a sua eficácia na deteção destas falhas e consequentemente reduzir os seus custos de manutenção.

Para isso, o produto a desenvolver necessita de cumprir os seguintes objetivos:

- Medir os consumos instantâneos de um circuito de iluminação;
- Adquirir de forma automática perfis de utilização baseados nos consumos instantâneos ao longo do tempo;
- Detetar erros nos consumos através de oscilações verificadas relativamente aos perfis de consumo adquiridos;
- Informar o utilizador assim que se verificar a ocorrência de uma anomalia no sistema;

1.3 Estrutura

O presente documento é constituído por 6 capítulos.

No capítulo 1, Introdução, é apresentada a motivação que levou a realização deste projeto e os objetivos do mesmo.

No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é apresentado um estudo acerca do comportamento de lâmpadas fluorescentes, lâmpadas *LED* e possíveis perturbações na rede elétrica, é ainda realizado um levantamento do tipo de tecnologias a utilizar no sistema e são também apresentados sistemas que realizam o calculo da energia consumida.

No capítulo 3, Definição do problema, é descrito um possível cenário que pretende demonstrar em que situações este sistema pode ser útil, é realizado um levantamento dos requisitos do projeto e descrita a arquitetura do sistema.

No capítulo 4, Conceção e Implementação do sistema, é descrito como é feito o desenvolvimento de todo o sistema, começando pela implementação de todo o *hardware* necessário e de seguida pela descrição do *software*, nomeadamente qual o *software* que foi utilizado, qual o algoritmo implementado e como são tratados os dados.

No capítulo 5, Testes e Resultados, são apresentados todos os testes realizados ao sistema, assim como os resultados obtidos.

Por último, no capítulo 6, Conclusões e Trabalho futuro, são apresentadas as principais conclusões obtidas na realização deste trabalho e sugestões para melhorar o sistema num trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Soluções e tecnologias existentes

2.1.1 Open Energy Monitor

O *Open Energy Monitor* é um projeto *open-source* que desenvolve ferramentas para o monitorização de energia. O sistema possui vários tipos de aplicações, no entanto, a que vai ser abordada é a aplicação que permite monitorizar o uso da energia elétrica, da temperatura e da humidade, de uma habitação, em tempo-real, o *Home Energy Monitor*. [1]

Existem várias opções de *hardware* desenvolvidas, para a realização da monitorização da energia, que se encontram representadas na figura 2.1 e que são descritas de seguida.

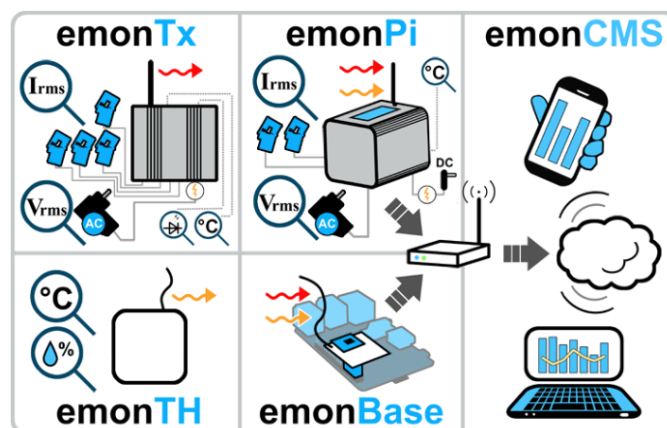


Figura 2.1: 5 unidades principais do sistema [1]

2.1.1.1 emonPi

É uma unidade, tudo-em-um, baseada em um *Raspberry Pi* que realiza o monitoramento da energia que está a ser consumida numa habitação. Necessita de 2 sensores baseados em transformadores de corrente (TC) e consegue fazer a monitorização de até 2 circuitos AC monofásicos.

Requer ligação *Wi-Fi* ou *Ethernet*, uma vez que o registo dos dados locais e remotos é realizado pelo *Emoncms*, que é uma aplicação web para processamento dos dados, que permite aos utilizadores visualizarem a energia consumida, o valor da temperatura, da humidade, entre outros dados, nos seus computadores ou *smartphones*, através de gráficos que podem representar o consumo em tempo-real ou então obter análises diárias e semanais dos consumos.



Figura 2.2: emonPi [1]



Figura 2.3: Representação gráfica da Web-app Emoncms [1]

O preço base de uma *emonPi* ronda os 177 € e com todos os extras incluídos o valor sobe para os 264 €.

2.1.1.2 emonTx e emonBase

O *emonTx* e o *emonBase*, quando combinamos apresentam-se como uma possível alternativa ao *emonPi*. O *emonTx* pode monitorizar até 4 circuitos AC monofásicos, com o auxílio de 4 sensores em TC. Ao contrário do *emonPi* esta tecnologia não possui ligação ao *Wi-Fi* ou *Ethernet*, sendo que apenas envia os dados por rádio frequência a 433 MHz. Para colmatar esta diferença pode ser conectado a um *emonBase*, que consiste em uma *web-connected base-station*, que recebe os dados via rádio frequência e regista-os na plataforma *Emoncms*.



Figura 2.4: emonTx [1]

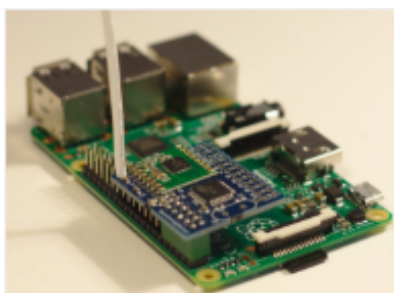


Figura 2.5: emonBase [1]

O preço base de uma *emonTx* e uma *emonBase* são 69 € e 65 €, respetivamente, e com extras incluídos sobe para os 126 € e 87 €.

2.1.2 Detecção falha lâmpada elevador

Uma empresa com sede na Áustria desenvolveu um produto que permite detetar a falha de uma lâmpada inserida num elevador.

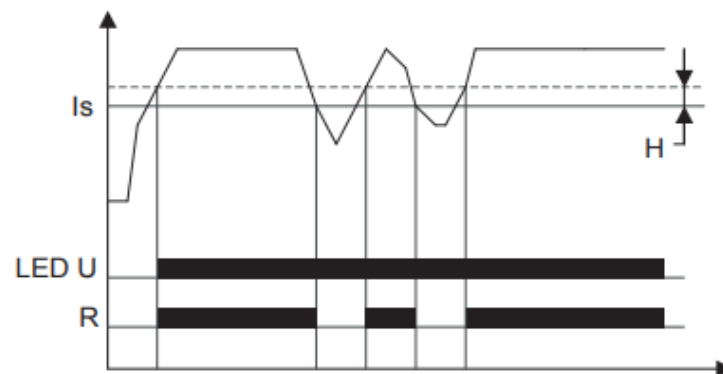


Figura 2.6: Monitorização da Corrente Contínua [2]

Como se pode observar pela figura 2.6 da página 5 é realizada uma monitorização da corrente contínua, em que se a corrente medida estiver abaixo do limite definido, H, o relé de saída, R, é desativado e o LED que se encontra ligado à sua saída é desligado. O contrário acontece quando a corrente medida está acima do limite, H, o relé de saída é ativado e o LED é então ligado. Desta forma, o sistema de controlo do nível superior consegue detetar quando a falha na lâmpada ocorre. [2]

2.1.3 Medidor de Energia

Existem vários produtos disponíveis para compra no mercado, que recebem a/s linha/linhas de fase e indicam a energia elétrica que está a ser consumida.

As figuras 2.7 e 2.8, representam 2 exemplos de produtos que realizam essa função. Sendo que o primeiro, GHDS100E, pode ser comprado a partir de 30/40 € e o segundo, GHDS300E, a partir de 80/90 €.

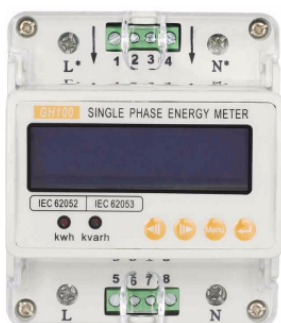


Figura 2.7: GHDS100E, medidor para 1 fase [3]

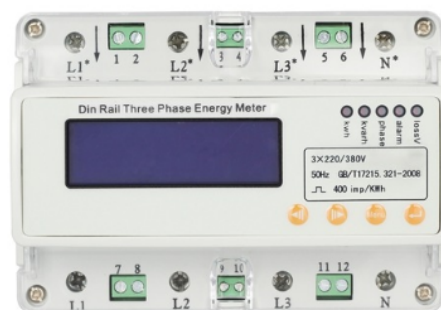


Figura 2.8: GHDS300E, medidor para 3 fases [4]

2.2 Iluminação

A iluminação, tornou-se um fator indispensável no nosso dia-a-dia, sendo inquestionável a sua importância na sociedade em que vivemos. A descoberta da luz, permitiu explorar o mundo de outra forma e abrir novos horizontes para os avanços tecnológicos. Tal acontecimento permitiu a evolução das tecnologias de iluminação, desde a lâmpada incandescente às lâmpadas fluorescentes, até aos *LED's*. Estas possuem diferentes características no que diz respeito ao consumo, potência média, perdas de energia, eficiência e preço de mercado. A figura 2.9 da página 6 representa algumas dessas diferenças.

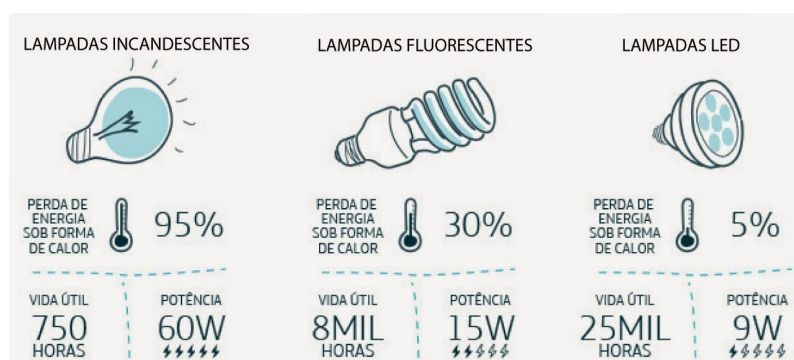


Figura 2.9: Comparação dos diferentes tipos de lâmpadas [5]

2.2.1 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de vapor de mercúrio a baixa pressão. Existem várias versões desta tecnologia, no entanto o seu princípio de funcionamento é praticamente o mesmo.

Com a passagem da corrente elétrica, os eletrodos libertam eletrões que se vão movimentar livremente pelo tubo, provocando colisões entre eles, os átomos de mercúrio e os gases inertes presentes no tubo. O resultado destas colisões, levam a que os átomos de gás transitem para estados de energia superiores, da-se a excitação dos átomos. No entanto, estes tendem sempre a regressar aos seus estados de energia originais emitindo energia na forma de radiação ultravioleta, que em contacto com o revestimento de fosforo existente, é convertida em radiação visível. Este processo encontra-se representado na figura 2.10 da página 7.

Uma lâmpada fluorescente não funciona por si só, ela necessita de um arrancador e de um balastro. O arrancador, só funciona no ato da ignição e serve para elevar a tensão da lâmpada acima da tensão nominal e deste modo possibilitar o arranque da lâmpada. O balastro tem a função de limitar a corrente que passa pela lâmpada evitando que esta se danifique depois do arranque. Quando se dá o arranque da lâmpada fluorescente, ocorrem variações na onda de tensão devido às várias fases pelas quais esta passa antes de atingir o regime permanente. Estas etapas podem ser observadas na figura 2.11 da página 7. É possível verificar que numa primeira fase, onde ocorre o aquecimento dos filamentos, a tensão da onda mantém-se constante até ao momento em

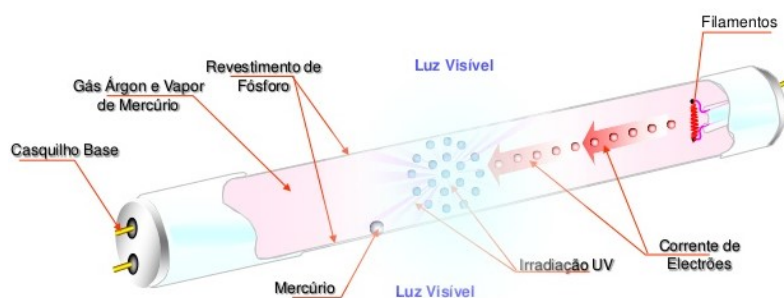


Figura 2.10: Princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente [6]

que o arrancador atua e eleva a tensão a níveis superiores, de modo a excitar as partículas, como já referido anteriormente. A partir deste momento, vão surgir as colisões entre os elétrons e o resultado dessas colisões liberta calor para a atmosfera da lâmpada. Neste momento, a tensão e a corrente de descarga que possuem valores opostos, vão aumentar ou diminuir, até se atingirem um equilíbrio, designado de, o regime permanente. [7]

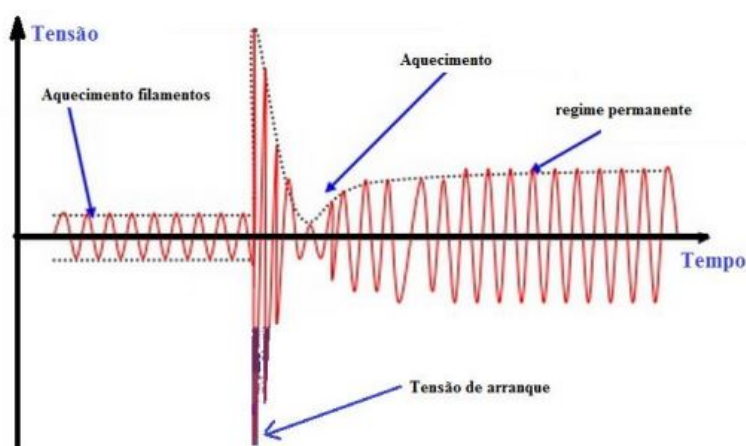


Figura 2.11: Representação da tensão ao longo do tempo numa lâmpada fluorescente [7]

2.2.2 Díodos Emissores de Luz (LED's)

O Díodo Emissor de Luz (LED) é um díodo semicondutor (junção P-N) que quando atravessado por energia elétrica emite luz, no comprimento de onda definido pelo intervalo de energia da região ativa. Quando a junção P-N é diretamente polarizada, os elétrons excitados vão preencher as lacunas existentes e quando estas ficam completas os elétrons vão libertar a energia acumulada em forma de calor e fótons de luz. A cor resultante, depende do cristal e dos componentes com que é fabricado o semicondutor. A tecnologia LED apresenta numerosas vantagens em relação às existentes atualmente, uma vez que são mais eficientes, mais duradouras, mais rápidas e mais sustentáveis.

Os *LED's* só suportam correntes contínuas e baixas tensões e como tal é necessário um circuito auxiliar (*driver*), normalmente um conversor AC/DC, que possibilite também limitar a corrente que os atravessa, quando alimentados diretamente da rede elétrica. Os *drivers* podem ser divididos em 2 categorias: topologia de estágio único ou de múltiplos estágios.

A figura 2.12 da página 8 representa um *flyback* convencional, em que é realizada a retificação do sinal AC alimentando diretamente o *LED*.

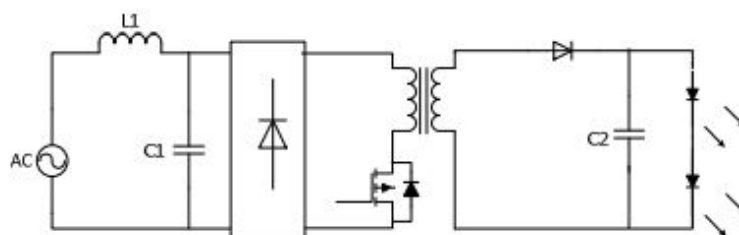


Figura 2.12: Circuito conversor *flyback* para *LED's* [8]

Na figura 2.13 da página 8 é apresentado um circuito de 2 estágios, que oferece uma melhor performance, em relação ao *flyback*. O primeiro estágio possui uma ponte retificadora com correção do fator de potência (PFC), que controla a corrente de entrada. O segundo estágio inclui um conversor DC/DC que regula a tensão. [8]

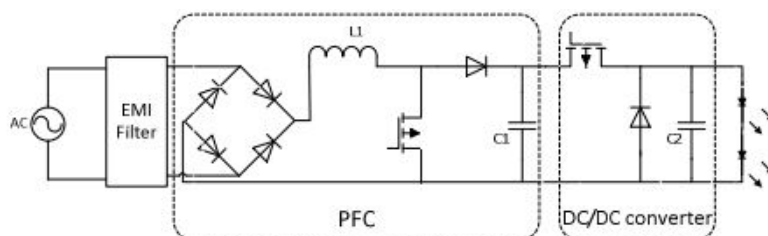


Figura 2.13: *driver* de 2 estágios [8]

2.2.3 Qualidade da Potência e Análise Harmónica

Em [9] foi realizado um estudo acerca da qualidade da potência, tendo em conta as não linearidades dos balastos das lâmpadas fluorescentes e dos *drivers* dos *LED's*. Estas não linearidades afetam negativamente o fator de potência da instalação, o que dá origem a energia reativa não desejada. O fator de potência é definido por,

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2.1)$$

em que, P representa a potência ativa e S a potência aparente.

Deste modo, o fator de potência pode ser visto como um indicador da qualidade da conversão da energia, numa escala de 0 a 1.

Foram realizados testes em lâmpadas *LED* com diferentes características:

- **LED A:** Pannel de *LED*'s com 21 W e *driver* de 36 W;
- **LED B:** Pannel de *LED*'s com 49.5 W e *driver* de 60 W;

Os resultados encontram-se representados nas figuras 2.14 e 2.15.

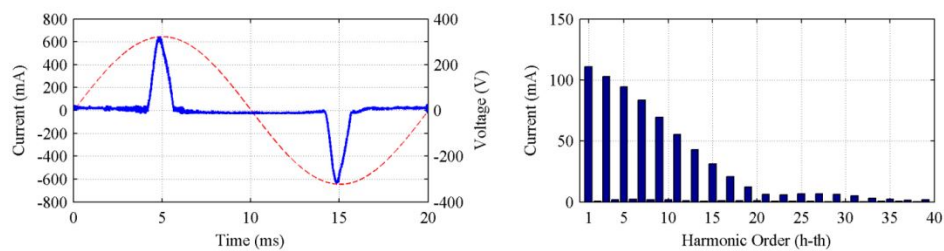


Figura 2.14: *LED A*, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]

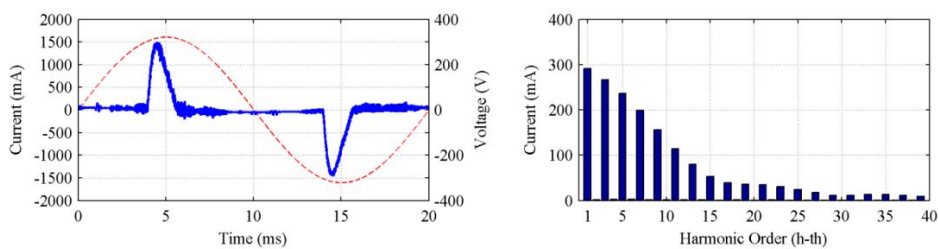


Figura 2.15: *LED B*, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]

É possível concluir que a forma de onda da corrente é afetada por uma elevada distorção, sendo que a lâmpada de maior potência sofre uma distorção maior, enquanto que a onda da tensão é quase sinusoidal. O fator de potência toma valores baixos entre, 0.4 e 0.5, o que seria de esperar devido aos elevados níveis de distorção.

De igual forma, foram realizados testes a lâmpadas fluorescentes com as seguintes características:

- **CFL A:** 15 W, nova geração de lâmpadas fluorescentes compactas do fabricante 1;
- **CFL B:** 20 W, nova geração de lâmpadas fluorescentes compactas do fabricante 1;
- **CFL C:** 20 W, geração anterior de lâmpadas fluorescentes compactas do fabricante 2;

Os resultados obtidos podem ser observados nas figuras 2.16, 2.17 e 2.18.

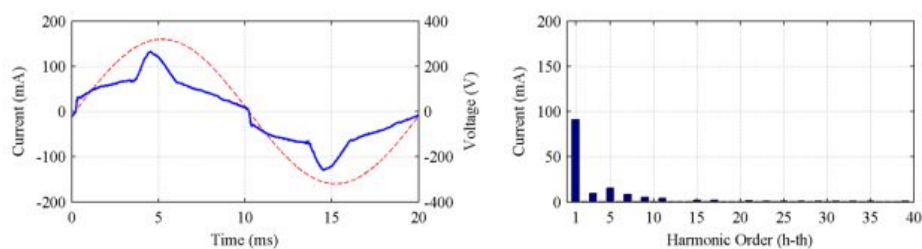


Figura 2.16: CFL A, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]

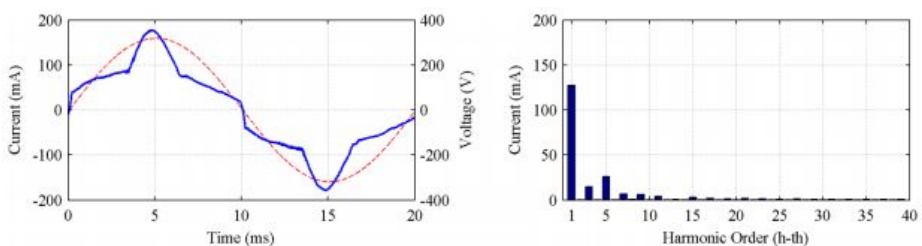


Figura 2.17: CFL B, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]

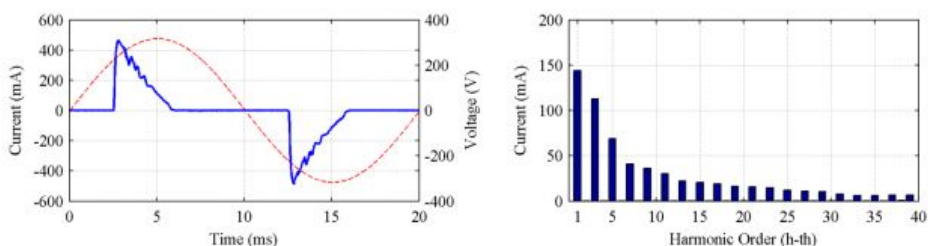


Figura 2.18: CFL C, forma de onda da corrente e espectro harmónico [9]

Pela análise das figuras é possível verificar que a forma de onda da corrente sofre uma pequena distorção nas lâmpadas da nova geração e que é mais acentuada na lâmpada da geração anterior. Sendo que as primeiras apresentam valores de fator de potência acima de 0,9 e a última de 0,65.

Da análise deste estudo é possível concluir que tanto as lâmpadas fluorescentes como os *LED's*, devido ao uso de conversores e balastros, geram harmónicos para a rede elétrica, o que origina energia reativa não desejada, que pode provocar efeitos prejudiciais à mesma, e que o valor desses harmónicos depende de fabricante para fabricante e das tecnologias que cada um utiliza. As lâmpadas fluorescentes de nova geração são as que geram menos harmónicos sendo quase desprezáveis, muito provavelmente por adotarem um circuito que permite melhorar o fator de potência. É de prever a aposta em soluções que visam diminuir o número de harmónicos injetados na rede, tais como, filtros harmónicos, retificadores ativos, circuitos corretores do fator de potência, entre outros, com o objetivo de melhorar a qualidade da potência.

2.3 Sensor de corrente

Atualmente existem vários métodos e conceitos para realizar a medição da corrente elétrica, tais como, resistências de derivação (*shunt*), transformadores de corrente, bobinas de Rogowski e sensores de efeito de *Hall* sendo que cada um deles possui características diferentes dependendo do tipo de aplicação em que são inseridos. Em [10] é realizada uma visão geral sobre as tecnologias de sensores de correntes mencionadas e que são apresentadas de seguida. A figura 2.19 da página 11 reflete um exemplo disso mesmo.

<i>Parameter</i>	<i>Device</i>			
	Shunt	Current transformer	Hall effect	Rogowsk transduce
DC capability	Yes	No	Yes	No
Bandwidth	Fair	Good	Poor	Good
Isolation	No	Yes	Yes	Yes
Linearity	Good	Fair	Poor	Good
Precision	Good	Good	Good	Good
Offset	Yes	No	Yes	No
High-current measurement	Poor	Fair	Fair	Good
Saturation effect	No	Yes	Yes	No
Temperature dependence	Middle	Low	High	Very low
Power consumption	High	Low	Low	Low
Size	Very small	Small	Small	Middle

Figura 2.19: Comparação das características e aplicações das diferentes tecnologias de medição de corrente [10]

2.3.1 Resistência de derivação (*shunt*)

Provavelmente a forma mais económica de medir correntes, pode ser utilizada tanto em corrente alternada (AC) como em corrente contínua (DC), é baseada na lei de *Ohm* mas possui a desvantagem de não apresentar qualquer tipo de isolamento e não suportar frequências na ordem dos Megahertz. Podem, no entanto, ser adicionados circuitos auxiliares de modo a promover o isolamento do circuito, aumentando a sua complexidade e custo. [13]

2.3.2 Transformadores de corrente

Os transformadores de corrente, são utilizados na medição de correntes alternadas (AC). É utilizado o campo magnético criado pela corrente que passa pela condutor sendo que a aplicação destes dispositivos permite que as linhas de corrente não sejam interrompidas, tornando a medição

segura de se realizar. Ao contrário das resistências de derivação suportam frequências elevadas e conseguem medir correntes na ordem dos milhares de Amperes, aliando baixos consumos de potência.

O sensor SCT-013-000, é um exemplo de um sensor com transformador de corrente. Este é um sensor não invasivo, uma vez que a sua parte mecânica é dividida, ou seja, basta abri-lo e coloca-lo sobre o fio que se deseja medir.



Figura 2.20: Sensor de corrente SCT-013 [11]

Este sensor possui um transformador, com enrolamentos diferentes no primário e no secundário, onde a corrente elétrica flui pelo primário, produzindo um campo eletromagnético, que vai induzir uma corrente no secundário, possibilitando então desta forma a medição da corrente que passa pelo fio. É importante referir que este sensor apresenta um sinal de saída em corrente e não em tensão, então para que os resultados sejam lidos através de um micro-controlador é necessário um circuito adicional que se encontra representado na figura 2.21 da página 12. [12]

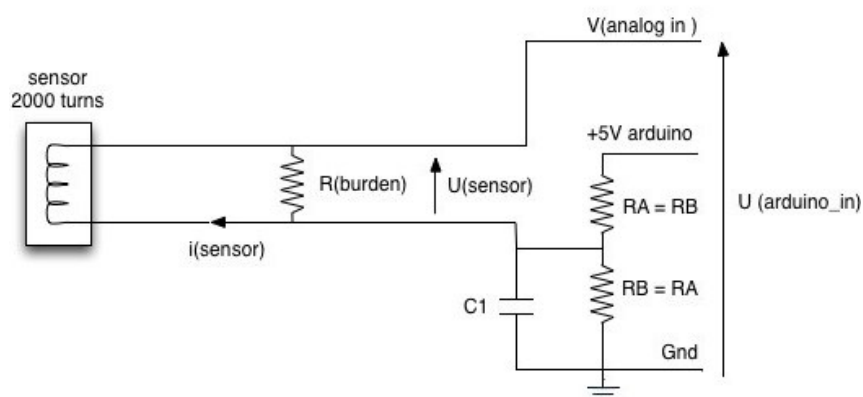


Figura 2.21: Circuito para ler os valores do sensor SCT-013 [12]

2.3.3 Bobinas de Rogowski

Trata-se de um enrolamento de ar comprimido em formato de toróide uniformemente distribuído sobre um núcleo de material não magnético. A bobine produz uma tensão na saída que ao ser integrada é proporcional à corrente que lá circula. Possui um conjunto elevado de vantagens, tais como: capacidade de medir correntes elevadas, isolamento, facilidade de uso e baixo custo. No entanto apresenta dificuldades em definir uma largura de banda elevada, para operações em frequências muito altas ou muito baixas, o que pode ser resolvido recorrendo a circuitos auxiliares. [13]

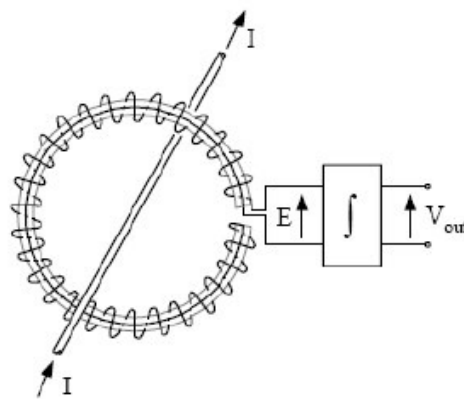


Figura 2.22: Configuração básica de uma bobina de Rogowski [13]

2.3.4 Sensores de efeito de Hall

Este sensor utiliza o efeito de *hall* para detetar o campo magnético gerado pela passagem de corrente elétrica e gera uma tensão proporcional à intensidade desse campo na sua saída. É um dispositivo isolado, que pode ser utilizado tanto em corrente alternada (AC) como em corrente contínua (CC) e possui a vantagem de poder ser facilmente ligado a um micro-controlador. [13]

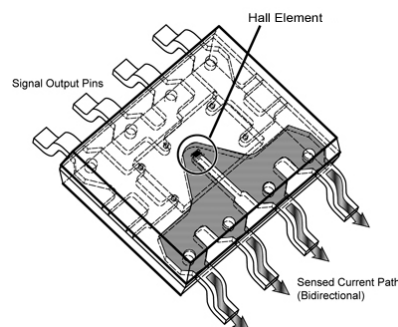


Figura 2.23: Exemplo de um sensor de efeito de Hall [14]

2.4 Rede Elétrica em Portugal

O sistema elétrico de energia encontra-se dividido em 5 grandes atividades distintas, que são: Produção, Distribuição, Mercados e Comercialização, Transporte e Consumo.

A rede elétrica em Portugal é produzida com recurso a diferentes tecnologias e diferentes fontes primárias de energia, tais como, o gás natural, vento, sol, carvão, água, biomassa e resíduos.

No que diz respeito à distribuição da eletricidade, esta processa-se através da exploração da Rede Nacional de Distribuição, que é constituída por linhas aéreas e cabos subterrâneos e apresenta 3 níveis de tensão: alta tensão (AT), 60 kV, média tensão (MT), 10 kV e baixa tensão (BT), 400/230 V. A conversão entre diferentes níveis de tensão realiza-se com recurso a transformadores.

A entidade responsável por realizar o transporte da eletricidade designa-se por REN, Redes Energéticas Nacionais. Esta opera a Rede Nacional de Transporte (RNT), que liga os produtores aos centros de consumo.

O número arredondado de consumidores em Portugal Continental é de, 6,1 milhões, sendo que a maioria destina-se à Baixa Tensão, restando um total de 23500 em Média Tensão e perto de 350 em Alta Tensão. [18]

2.4.1 Perturbações da Rede Elétrica

Existem vários fatores que podem afetar a qualidade do fornecimento da energia elétrica, entre eles, eventos que podem ocorrer nas redes de distribuição, tais como, sobre-tensões atmosféricas, comutações, entre outros, e também a utilização da rede elétrica com cargas que podem criar variações no consumo da corrente ou alterações na forma de onda.

A norma europeia, EN 50160, estipula limites admissíveis que visam garantir um certo nível de qualidade do serviço durante o seu funcionamento normal. [15]

2.4.1.1 Frequência

A figura 2.24 da página 14 representa a frequência e o período de uma onda sinusoidal perfeita, mas que na prática é praticamente inexistente nas redes de distribuição públicas.

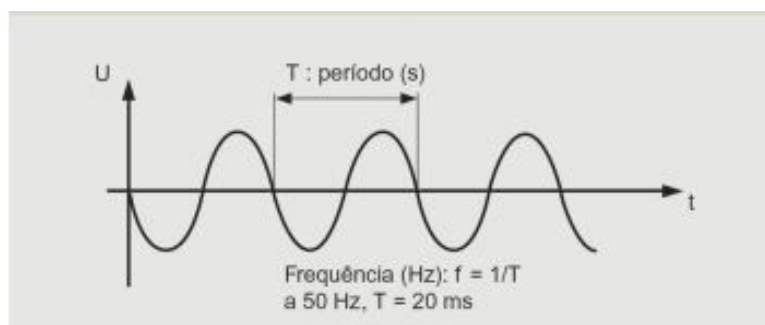


Figura 2.24: Frequência e Período de um sinal [15]

Para a frequência de 50 Hz, admite-se uma tolerância de $\pm 1\%$, isto é, uma janela de valores que vai desde os 49,5 a 50,5 Hz, para 99,5 % de cada período de 1 ano. E uma tolerância de -6% a +4%, que equivale a uma escala de valores desde os 47 até aos 52 Hz, durante todo o período.

Na figura 2.25 da página 15 é então possível observar um exemplo de uma gravação que demonstra distorções de frequência e de sinal. [15]

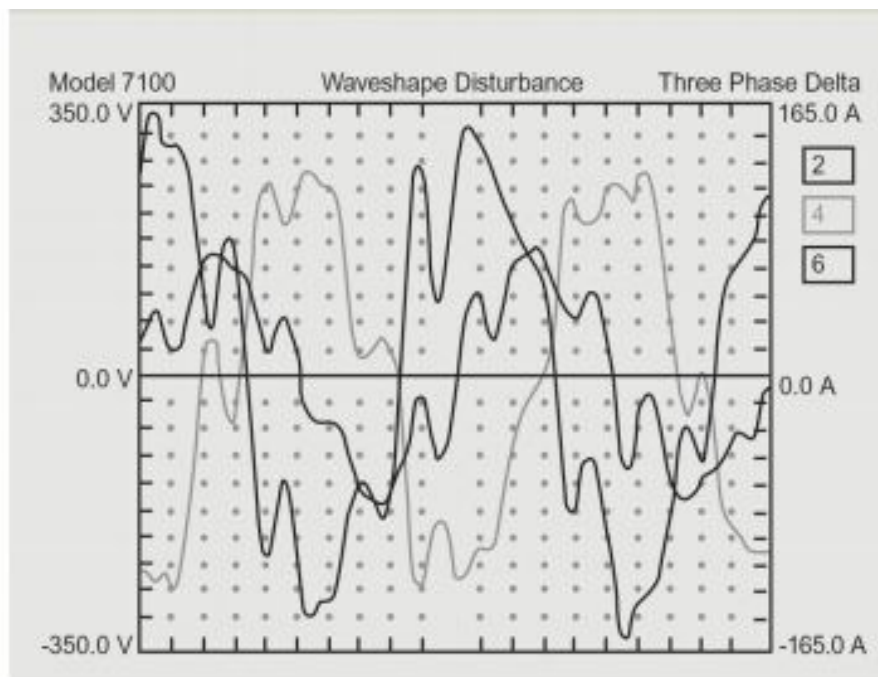


Figura 2.25: Exemplo de distorções na frequência [15]

2.4.1.2 Tensão de alimentação

O valor eficaz da tensão medido no ponto de entrega representa a tensão de alimentação e possui as seguintes tensões estipuladas para baixa tensão:

- 230 V entre fases para sistemas trifásicos sem neutro;
- 230 V entre fases e neutro (400 V entre fases) para sistemas trifásicos com neutro.

Para a tensão de alimentação admite-se uma tolerância de $\pm 10\%$ do valor de referência (230 ou 400 V), isto é, uma escala que vai desde os 207 a 253 V ou 360 a 440 V, respetivamente, para 95 % das medições, e - 15 % a + 10 % para 100 % das medições, ou seja, de 195 a 253 V e de 340 a 440 V, durante o período de uma semana.

Devido a variações significativas que podem ocorrer na carga da rede elétrica, a tensão de alimentação pode flutuar diariamente, semanalmente ou sazonalmente.

A figura 2.26 da página 16 representa um exemplo de variações na tensão de alimentação. [15]

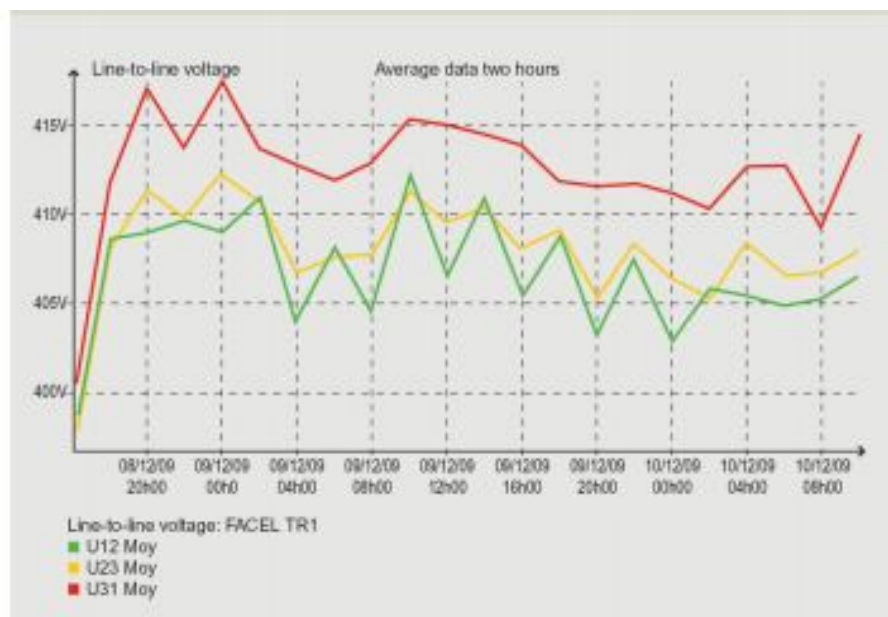


Figura 2.26: Exemplo de variações na tensão de alimentação [15]

2.5 Conversão AC/DC, step-down

É necessário converter os 230 VAC da rede elétrica para os 5 VDC uma vez que pretende-se obter uma tensão estável que é utilizada para alimentar os componentes do circuito elétrico.

É possível realizar essa conversão de 2 maneiras, com ou sem o uso de um transformador.

O circuito da figura 2.27 da página 16 representa um circuito para a conversão dos 230 VAC para 5 VDC sem o uso do transformador.

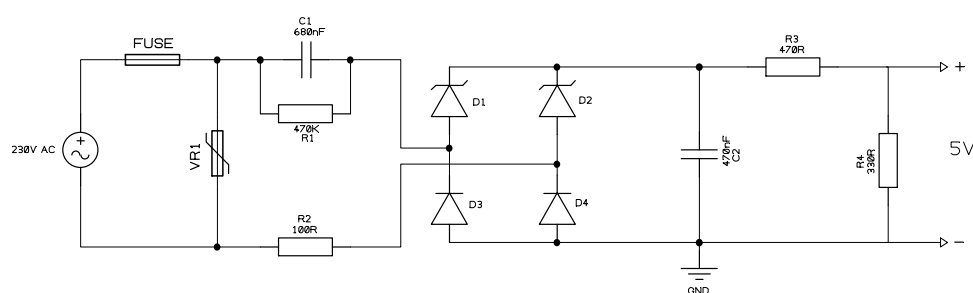


Figura 2.27: Diagrama do circuito elétrico sem transformador [16]

O fusível na entrada do circuito protege-o contra falhas no circuito ou nos componentes e o varistor protege o circuito contra picos de corrente ou sobre-tensões. O condensador, C1, elimina o excesso de tensão proveniente da tensão da rede e desta forma o excesso de energia não vai ser dissipada sobre a forma de calor. A resistência, R1, representa a resistência de fuga do condensador, C1, ou seja, quando a fonte é desligada, R1 vai descarregar C1, evitando qualquer choque

devido a carga do condensador. Por outro lado, a resistência, R2, está presente no circuito para evitar excessos de corrente transitória que podem surgir quando a fonte é ligada. Os díodos, D1 a D4, constituem um retificador de ponte, onde é realizada a conversão da corrente alternada (AC) para a corrente contínua (DC). Quando a corrente flui no sentido positivo da fonte, D1 e D4, são polarizados, a corrente flui através da carga e a tensão nos terminais do condensador, C2, é estabelecida pelo efeito do diodo *zenner*, D2. O mesmo acontece quando a corrente flui no sentido negativo, mas desta vez são os díodos, D2 e D3, polarizados e o efeito do *zenner*, D1, estabelece a tensão nos terminais do condensador, C2. C2, realiza a filtragem da tensão retificada, apresentando 12 V nos seus terminais. Por fim, para obter os 5 V na saída é necessário converter os 12 V através do divisor de tensão representado pelas resistências, R3 e R4. [16]

O circuito da figura 2.28 da página 17 representa um circuito para a conversão dos 230 VAC para 5 VDC, mas desta vez com o uso de um transformador.

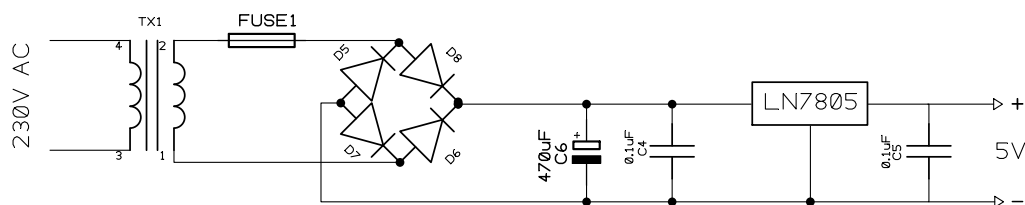


Figura 2.28: Diagrama do circuito elétrico com transformador [17]

O transformador, TX1, permite converter os 230 VAC em 12 VDC. Do mesmo modo, para fazer a conversão da corrente alternada (AC) para a corrente contínua (DC), utiliza-se um retificador de ponte, constituído por 4 díodos. Durante o meio ciclo positivo da onda os díodos, D8 e D7, conduzem e no meio ciclo negativo, conduzem os díodos, D5 e D4. O condensador, C6, realiza a filtragem do sinal à saída da ponte retificadora, uma vez que este apresenta oscilações e pretende-se obter um sinal estável. O componente, LN7805, é um regulador de tensão que reduz a tensão de 12 VDC apresentada na entrada, para 5 VDC na sua saída. Pelo facto de usar um transformador o circuito possui isolamento, o que o torna mais vantajoso em alguns casos onde é necessário garantir o isolamento do circuito para evitar situações que possam causar perigo para os utilizadores. [17]

Capítulo 3

Definição do problema

Neste capítulo é apresentado um exemplo de um cenário possível de aplicação do produto de modo a ser perceptível o tipo de situações em que este sistema é vantajoso. Seguidamente são apresentados os requisitos do sistema, bem como elaborada a arquitetura do sistema.

3.1 Cenário possível

Supondo que o Pedro é gerente de uma empresa de gestão de condomínios, ele define rotinas para realizar a manutenção dos edifícios com o objetivo de verificar se tudo se encontra a funcionar corretamente e, em caso de irregularidades, orienta as providências a serem tomadas.

Para verificar se os sistemas de iluminação comuns dos edifícios se encontram a funcionar corretamente, o Pedro contrata o António que quinzenalmente realiza essa verificação.

Quando o António chega ao local, ele dirige-se ao rés-do-chão, acende todas as luzes naquele compartimento e verifica se todas estão a funcionar corretamente, caso contrário ele substitui a(s) lâmpada(s) em falha e repete o processo para cada piso do edifício. Muito provavelmente, o António, faz a verificação de edifícios em que as lâmpadas se encontram todas a funcionar corretamente e no entanto, como à partida ainda não sabe o estado das lâmpadas ele precisa de ir piso a piso fazer essa verificação, o que se torna num processo lento e consequentemente caro, tendo em conta o número de edifícios e o tamanho de cada um deles.

Com o produto que se pretende desenvolver este tipo de situações seriam evitadas, uma vez que o António chega ao local, dirige-se ao quadro elétrico e consulta o estado do *LED* vermelho, que informa se ocorreu uma falha ou não, caso o *LED* estivesse ligado então o António iria verificar qual/quais a/as lâmpada/lâmpadas estava avariada/avariadas, no caso contrario, em que o *LED* se encontra desligado, significa que não existe nenhum problema com a iluminação e o António podia então dirigir-se para o próximo edifício.

Para evitar as deslocações do António aos edifícios que não possuem falhas na iluminação, este tem a possibilidade de ligar dispositivos externos à saída auxiliar do dispositivo para poder ser alertado da forma que achar mais conveniente, como por exemplo, poderá ligar um comunicador

GSM para lhe enviar mensagens sempre que ocorra uma anomalia no sistema, proporcionando uma diminuição no tempo de resposta no caso da existência de anomalias.

3.2 Requisitos

De forma a atingir os objetivos especificados, foram definidos os seguintes requisitos funcionais e não funcionais.

3.2.1 Requisitos funcionais

3.2.1.1 Alimentação

Tabela 3.1: Alimentação - Requisitos funcionais

Código	Descrição
RQF1.	O sistema deve ser capaz de ser alimentado através da rede elétrica de baixa tensão (230VAC)
RQF2.	O sistema deve ser capaz de ser alimentado através da tensão contínua (DC) a partir de 24 V
RQF3.	O sistema deve ser capaz de ser alimentado por uma linha independente

3.2.1.2 Funcionamento

Tabela 3.2: Funcionamento - Requisitos funcionais

Código	Descrição
RQF4.	O sistema deve ser capaz de detetar falhas nas lâmpadas do sistema de iluminação de um edifício
RQF5.	O sistema deve ser capaz de detetar variações de corrente iguais ou superiores a 40 mA.
RQF6.	O sistema deve ser capaz de informar o utilizador através de um <i>LED</i> se existe uma falha
RQF7.	O sistema deve ser capaz de permitir fazer o <i>reset</i> ao sistema, através de um botão

3.2.2 Requisitos não-funcionais

Tabela 3.3: Requisitos não-funcionais

Código	Descrição
RQNF1.	O sistema deve possuir uma saída auxiliar para indicar falha
RQNF2.	O sistema deve indicar o seu estado atual de funcionamento
RQNF3.	O sistema deve permitir suporte em calha DIN
RQNF4.	O sistema deve ser intuitivo e fácil de instalar

3.3 Arquitetura do sistema

Depois de analisados os requisitos e o tipo de situações em que este é vantajoso é agora altura de começar a pensar como vai ser feita a organização do sistema.

Uma lâmpada encontra-se em falha quando funde ou quando fica a piscar sem conseguir acender.

Para detetar esse tipo de falhas é necessário conhecer a potência que está a ser consumida no momento, uma vez que quando uma lâmpada se encontra acesa, consome um determinado valor de potência, que é diferente de quando está em falha. Através desta diferença de potências consumidas é possível afirmar se uma lâmpada se encontra a funcionar corretamente ou se apresenta algum tipo de anomalia. É com base neste princípio que se vai desenvolver o produto apresentado. Para realizar o cálculo da potência é necessário saber qual o valor da tensão e corrente que está a ser consumida, para isso, o produto necessita de receber a informação diretamente das linhas do circuito de iluminação do edifício onde vai ser instalado, sendo que o local mais adequado para o fazer é no quadro elétrico do respetivo edifício.

É então necessário desenvolver um circuito elétrico capaz de realizar a medição da corrente e da tensão, bem como permitir que o produto seja alimentado a partir da rede elétrica.

Para o cálculo da tensão da rede elétrica vai ser utilizado um divisor de tensão.

A corrente consumida vai ser medida através de um sensor de corrente de efeito *Hall*, uma vez que, das tecnologias apresentadas no capítulo 2 e tendo em conta os requisitos mencionados, é o que mais se enquadra no sistema a desenvolver devido a possuir boas características e também possuir a vantagem de ser facilmente ligado à entrada de um micro-controlador, que vai ser utilizado para processar todos os dados fornecidos pelos sensores.

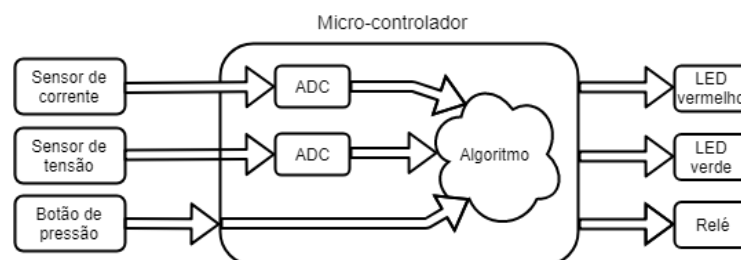


Figura 3.1: Arquitetura do sistema

A figura 3.1 representa a arquitetura do sistema. Os componentes como o botão de pressão, os *LED's* e o relé representados, possuem funcionalidades que serão abordadas nos capítulos seguintes.

Capítulo 4

Conceção e Implementação do sistema

Este capítulo tem como objetivo descrever como vai ser realizada toda a implementação do sistema. Depois de abordadas as questões dos requisitos e funcionalidades do sistema, é possível deduzir que a implementação do sistema é dividida em duas partes: a parte do *hardware* (nomeadamente, o sensor de corrente, de tensão, circuito elétrico, entre outros) e a parte do *software*.

4.1 Hardware

Antes de apresentar o circuito elétrico para a medição da potência consumida, é altura de falar sobre o sensor de corrente escolhido, que é apresentado de seguida.

4.1.1 Sensor de corrente

Para realizar a medição da corrente elétrica que atravessa o circuito da iluminação foi utilizado o sensor de corrente, *ACS712*. Este sensor está presente em 3 versões, que apenas variam no intervalo da faixa de medição que conseguem medir. O escolhido para este sistema foi o sensor cuja faixa de medição pode ir desde -5 A até +5 A.

Quando existe passagem de corrente, na saída do sensor vai ser gerada uma tensão proporcional a 185 mV/A, caso a corrente circule no sentido positivo a saída apresenta um valor $> \frac{V_{cc}}{2}$, caso contrário o valor da saída é $< \frac{V_{cc}}{2}$. Quando não existe corrente a circular, o sensor retorna o valor de $\frac{V_{cc}}{2}$.

A figura 4.1 da página 24 foi retirada da *datasheet* do sensor e representa a resposta do sensor mediante a corrente que circula na entrada do mesmo.

É possível concluir que o sensor apresenta uma resposta linear para as diferentes correntes e que a influência da temperatura é praticamente nula.

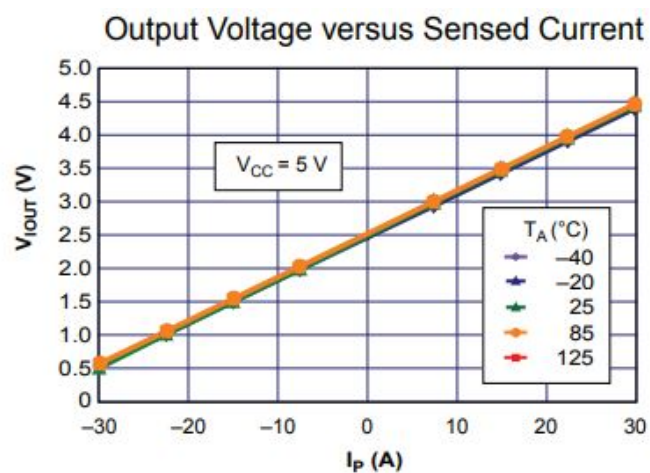


Figura 4.1: Gráfico da tensão de saída vs corrente na entrada

4.1.2 Circuito elétrico para medição da potência consumida

A figura 4.2 da página 24, representa o circuito elétrico que foi desenhado com o intuito de realizar a medição da potência instantânea do sistema de iluminação.

Circuito Elétrico – PCB1

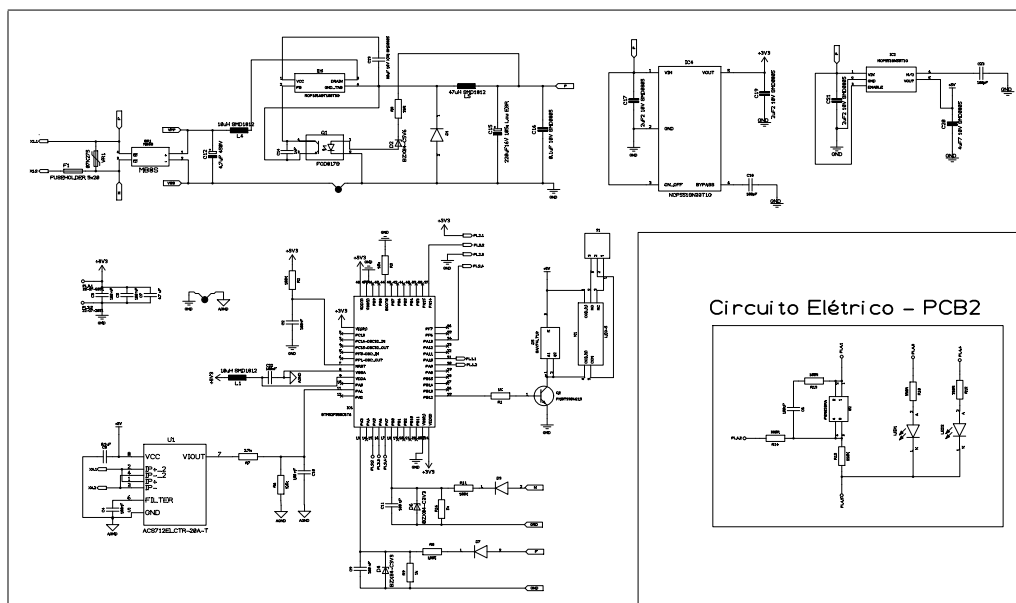


Figura 4.2: Circuito Elétrico

Nos sub-capítulos seguintes é feita a referência a cada uma das partes do circuito.

4.1.2.1 Circuito de alimentação

O circuito de alimentação representa um típico *step-down* que é constituído por: circuito de proteção, conversor AC/DC e conversor DC/DC *step-down*. Este encontra-se representado na figura 4.3 da página 25.

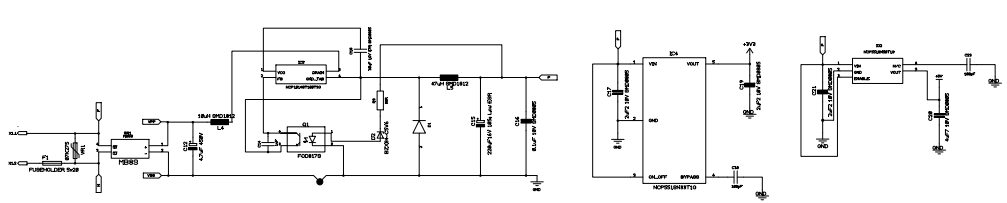


Figura 4.3: Circuito de alimentação

Tendo em conta que o sistema vai ser ligado diretamente à rede elétrica, é necessário converter os 230 VAC fornecidos para os 5 VDC, de modo a ser possível alimentar o sensor de corrente e o relé e de igual forma realizar também a conversão dos 230 VAC para os 3,3 VDC, para alimentar o micro-controlador.

O circuito de proteção é constituído pelo fusível, F1, e um varistor, VR1, que protegem o circuito contra sobrecargas e descargas elétricas que possam ocorrer.

A conversão AC/DC é realizada pela ponte de díodos, BR1, onde a corrente alternada recebida é convertida em corrente contínua.

O restante circuito representa o conversor DC/DC *step-down*. O componente, NCP1014, presente no circuito funciona como um comutador. Quando carregado pelo consumo do circuito a tensão no condensador, C13, diminui. Assim que o controlador deteta que a tensão no condensador atingiu os 7,5 V, ele ativa a fonte de corrente interna do NCP1014 de modo a fazer subir a tensão no pino do VCC para os 8,5 V e para novamente, dando origem a um ciclo. Este processo pode ser observado na figura 4.4 da página 26.

O optocoplador é utilizado para fornecer o *feedback* ao NCP1014, este indica quando é atingido o valor pretendido, que é definido pelo diodo *zener*, D2. Sempre que a tensão atinge o valor pretendido, o optocoplador é acionado, ligando o pino de *feedback* à massa indicando que o *set-point* foi atingido para que este se desligue.

Obtém-se deste modo uma tensão estável, em torno dos 6,8 V, no ponto P, que vai então ser convertida para os 3,3 V e 5 V, através dos dois reguladores de tensão, IC2 e IC4, presentes no circuito.

4.1.2.2 Circuito do Micro-Controlador

O micro-controlador escolhido foi o STM32F030C6T6. A NIBBLE recomendou o uso deste micro-controlador pelo facto de a empresa já ter experiência com o mesmo e simplificar o processo de desenvolvimento.

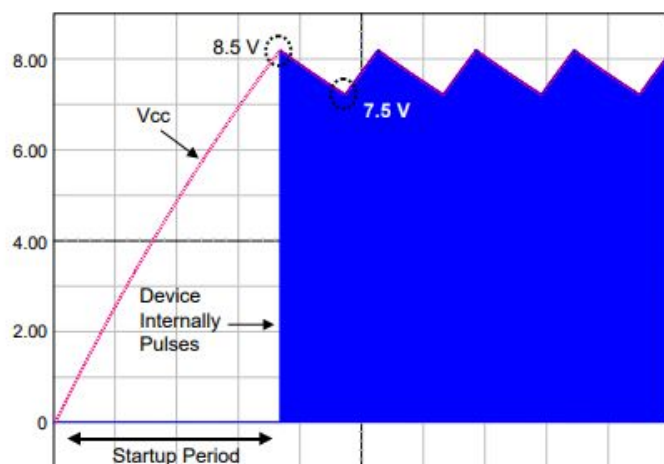


Figura 4.4: Ciclo de Carga/Descarga sobre um condensador de $10\ \mu\text{F}$

O micro-controlador é alimentado a 3,3 V, opera a 48 MHz de frequência, possui 256 Kbytes de memória *flash*, 32 KBytes de memória SRAM, até 16 canais ADC de 12 bits e 11 *timers*. O circuito do micro-controlador, IC1, encontra-se representado na figura 4.5 da página 26.

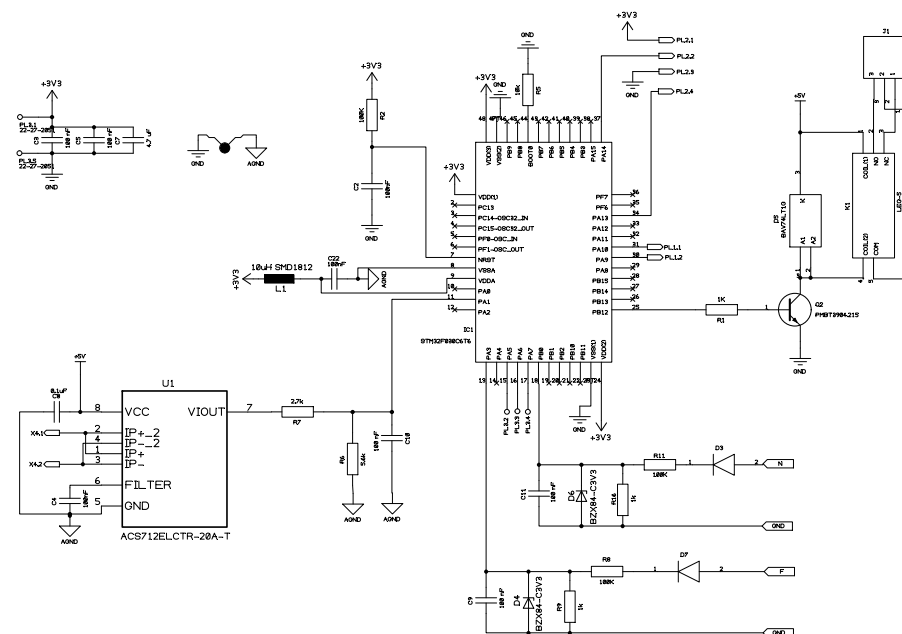


Figura 4.5: Circuito do micro-controlador

Ligado às entradas PA7 e PB0 do micro-controlador, encontram-se 2 divisores de tensão com razão de $\frac{1}{100}$, (uma vez que as entradas ADC do micro-controlador só suportam até 3,3 V e a tensão da rede elétrica pode chegar aos 330 V) que vão receber as ondas de fase e de neutro da tensão da rede elétrica, separadamente.

Os condensadores, C3, C5 e C7, são denominados de condensadores de desacoplamento e possuem duas funções: funcionam como um filtro, desviando o ruído das altas frequências para a massa e funcionam como uma bateria auxiliar de ação rápida para o micro-controlador, isto é, impedem que a tensão de alimentação sofra quedas de tensão quando há uma necessidade de aumento de corrente ao qual a fonte de alimentação pode não conseguir dar resposta.

No circuito, é possível observar a presença de 3 conectores, PL1, PL2 e PL3. o conector, PL1, está conectado a uma UART do micro-controlador e foi projetado para a fase de testes do sistema, possibilitando observar os valores que vão sendo recebidos. O conector, PL2, é o conector do pino de programação do micro-controlador, já o conector, PL3, é responsável por realizar as ligações necessárias entre as duas PCB's.

O circuito do relé está conectado ao pino, PB12. Para acionar o relé, K1, é ativado um transistor, Q2, que funciona como um interruptor. J1, representa os terminais de saída do relé e o componente, U1, representa o sensor de corrente. É aplicado um divisor de tensão à saída dos sensor uma vez que o ADC do micro-controlador só suporta até 3,3 V nas suas entradas.

Na figura 4.6 da página 27 está representado o circuito que vai constituir a PCB2. A PCB2 possui 2 LED's e 1 botão de pressão. Cada LED possui uma resistência montada em série, que define a intensidade da luz e limita a corrente que os atravessa, impedindo de se danificarem.

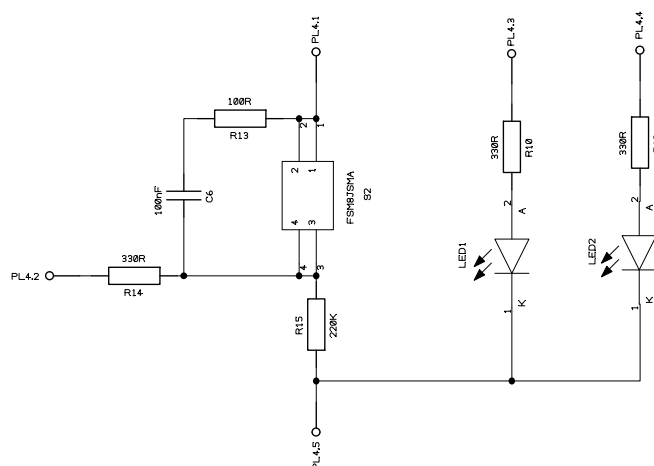


Figura 4.6: Circuito dos LED's e botão de pressão

S2, representa o botão de pressão. Quando o botão não está pressionado, encontra-se ligado à massa através da resistência de *pull-down*, R15. Quando o botão é pressionado, fica ligado aos 3,3 V.

4.1.3 Placas de Circuito Impresso (PCB's)

Para o desenho das placas foi utilizado o programa *Pulsonix*, que é uma ferramenta de automação de projetos eletrónicos (EDA), destinada ao desenho de esquemas de circuitos e do *design* de placas de circuito impresso, de uma forma simplificada e intuitiva.

A primeira placa desenhada (designada por PCB1) possui 50,2 x 87 mm e está representada na figura 4.7.

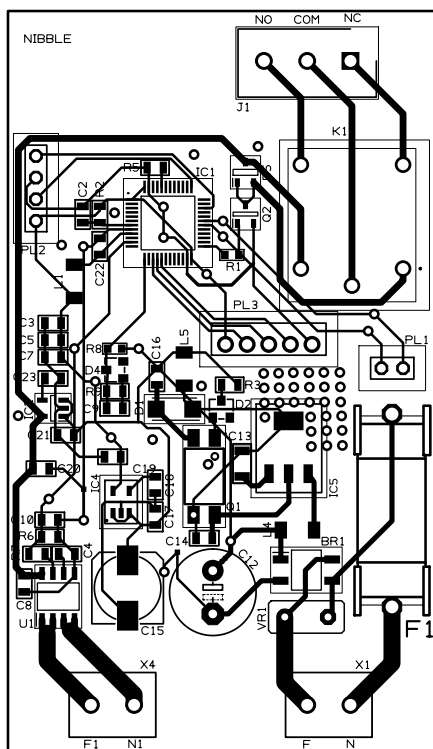


Figura 4.7: *Design* da PCB1 na ferramenta *Pulsonix*



Figura 4.8: PCB1 desenvolvida com os componentes soldados

A segunda (designada por PCB2) possui 42 x 49,3 mm e pode ser observada na figura 4.9.

No desenho das PCB's existem cuidados necessários a ter, nomeadamente no tamanho da largura das pistas, no espaçamento entre pistas e componentes e na disposição dos componentes.

- Largura das pistas:

- Pistas dos conectores X1 e X2:

Como estes conectores vão estar ligados à rede elétrica é necessário adequar a largura das pistas à intensidade de corrente que pode atravessar as mesmas.

A fórmula para o cálculo da corrente permitida através de uma pista é retirada da norma IPC-2221, secção 6.2 e é representada de seguida:

$$I = k\Delta T^{0.44}A^{0.725} \quad (4.1)$$

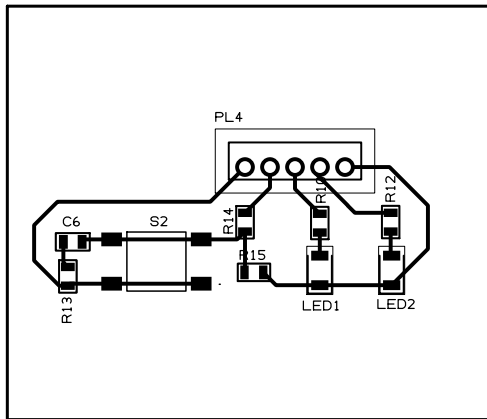


Figura 4.9: *Design* da PCB2 na ferramenta *Pulsonix*

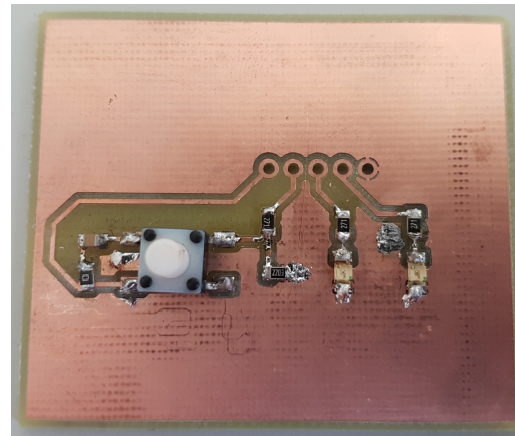


Figura 4.10: PCB1 desenvolvida com os componentes soldados

Em que I , representa a corrente em amperes, k , é uma constante, ΔT , é o aumento máximo de temperatura em $^{\circ}\text{C}$, A , é a área transversal da pista, em mils^2 .

A fórmula para o cálculo da largura da pista, é a seguinte:

$$L = \frac{A}{E * 1.378} \quad (4.2)$$

Em que, L , representa a largura da pista em mils e, E , representa a espessura da pista em $\frac{\text{mils}}{\text{oz}}$.

Depois dos cálculos efetuados, concluiu-se que para uma corrente de 5 A, a largura da pista dos conectores necessita de ter 2 mm.

– Pistas do circuito de alimentação:

Tendo em conta que as pistas estabelecidas até à entrada do componente, NCP1014, podem suportar até 330 V, foi necessário garantir uma maior distância entre as pistas.

– Restantes pistas:

As restantes pistas têm a largura de 0,4 mm, no entanto, como as correntes que lá passam são muito pequenas as pistas até podiam ser menores, mas escolheu-se definir o tamanho de 0,4 mm por questões de estabilidade do sinal, imunidade ao ruído e possuir uma queda de tensão menor.

• Disposição dos componentes nas placas:

A grande maioria dos componentes foram agrupados conforme a sua funcionalidade, nomeadamente, circuito de alimentação, circuito do sensor de corrente, circuito do micro-controlador e circuito do relé, com o objetivo de diminuir o número de interferências e perturbações entre componentes.

• Plano de massa e layers:

Foi desenhado um plano de massa que cobre toda a área da PCB, exceto as partes que podem suportar os 330 V da rede elétrica. O plano de massa tem a função de fornecer um caminho de retorno para as correntes provenientes dos componentes, sem quedas de tensão significativas e também garantir o mesmo potencial de referência para todos os componentes. Por fim, foram utilizadas duas *layers*, a de *Bottom* e a de *Top*.

A PCB1 vai ficar alojada na base da caixa, e possui os terminais visíveis nas extremidades da caixa de modo a ser possível realizar as conexões necessárias aos conectores de entrada, assim como também às saídas do relé. Já a PCB2 contém 1 botão de pressão, 1 *LED* vermelho e 1 verde. O *LED* vermelho quando ativo sinaliza que ocorreu uma falha no sistema de iluminação, já o *LED* verde, possui 2 estados, um intermitente, que pretende indicar que o sistema se encontra na fase de aprendizagem e um estado em que este está sempre ligado, que informa o utilizador que o sistema se encontra na fase de funcionamento normal.

A PCB2 encontra-se localizada na parte mais superior da caixa de modo a ser possível visualizar os *LED*'s e acionar o botão.

4.1.4 Caixa

Tendo em conta que o objetivo é instalar o produto no quadro elétrico de um edifício e daí ter acesso às linhas de fase e neutro do circuito do sistema de iluminação, é necessário em primeiro lugar garantir a segurança do utilizador e que o produto seja de fácil instalação. Para isso foi escolhida uma caixa, que possibilita armazenar as PCB's, que são projetadas especificamente para a caixa escolhida. A caixa possui suporte para calhas DIN, permitindo a fácil fixação num quadro elétrico.

A figura 4.11 da página 31 indica como é montada a caixa e onde vão estar localizadas as PCB's desenhadas. A PCB1 encontra-se no local designado na figura por "CIRCUITBOARD A", enquanto a PCB2 encontra-se no local designado por "CIRCUITBOARD C".

Na figura 4.12 da página 32 é então possível observar a caixa montada com as PCB's.

4.2 Software

Depois de implementado e testado todo o circuito elétrico desenvolvido, chegou a altura de desenvolver o algoritmo que vai realizar o processamento de todos os dados necessários de modo a ser atingido o objetivo inicial do projeto, a deteção de falhas em sistemas de iluminação.

4.2.1 Software utilizado

O algoritmo do sistema foi desenvolvido recorrendo ao *Atollic TrueSTUDIO*. O *Atollic TrueSTUDIO* é uma IDE flexível e extensível para o desenvolvimento e *debugging* de micro-controladores da *STM32* que oferece ferramentas poderosas para auxiliar no desenvolvimento de software de sistemas embarcados. O *Atollic TrueSTUDIO* é baseado em padrões abertos, (*Eclipse* e do *GNU*) e ampliado com recursos profissionais para gerenciar código e análise avançada do sistema. [19]

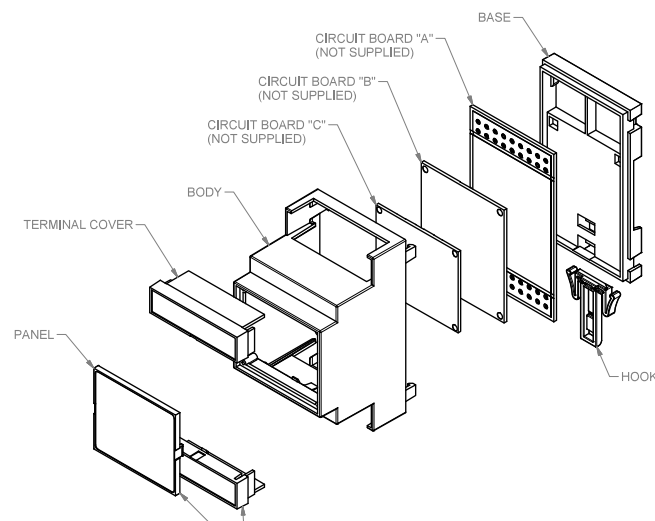


Figura 4.11: Montagem da caixa e posição das PCB's

A linguagem de programação utilizada foi a linguagem C.

Além do *Atollic TrueSTUDIO* foi também utilizada a ferramenta *STM Studio* no processo de *debug* do código, uma vez que esta permite exibir o valor das variáveis desejadas em tempo-real, enquanto o código está a executar. [20]

4.2.2 Análise dos sinais adquiridos

O sinal adquirido à saída do sensor de corrente e que representa a corrente elétrica que atravessa o circuito de iluminação, (que neste caso em particular, são duas lâmpadas fluorescentes) está representado na figura 4.14 da página 33. Este sinal foi obtido com recurso ao programa *Octave*, para o qual foram importados os dados lidos do ADC, de modo a ser possível analisar a forma de onda do sinal.

Tendo em conta que queremos adquirir um sinal com frequência de 50 Hz e de modo a que o sinal amostrado não sofra perda de informação, é necessário respeitar o teorema de *Nyquist*, que diz que a taxa de amostragem deve ser, no mínimo, igual ao dobro da maior frequência do sinal que se quer amostrar. Assim:

- Frequência relógio = 8 MHz;
- *Prescaler* = 4
- 71 ADC ciclos de relógio
- Frequência entrada ADC = $\frac{8MHz}{4} = 2 \text{ MHz}$
- Taxa de amostragem = $\frac{2MHz}{71} = 28 \text{ K amostras/s}$

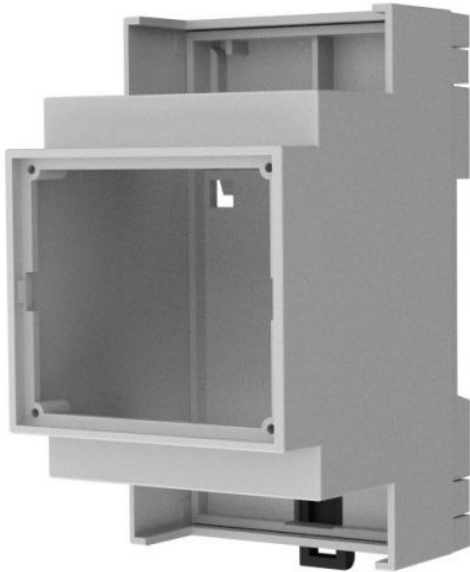


Figura 4.12: Caixa para calha DIN

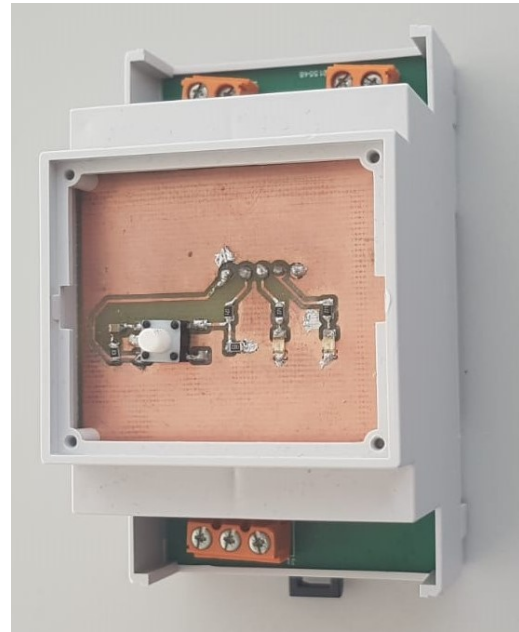


Figura 4.13: Caixa montada com as PCB's desenvolvidas

Ou seja, com esta taxa obtemos 28000 amostras por segundo, permitindo que seja realizada uma boa reconstrução da onda da corrente.

O eixo das abcissas indica o número de amostras e o eixo das ordenadas o valor do ADC, que neste caso é de 12 bits e que possui uma escala que vai de 0 a 4096 ($2^{12} = 4096$).

Da análise do gráfico é possível concluir que para representar um período da onda, são necessárias 230 amostras, aproximadamente, e que o valor médio ronda os 2045. Para se obter o valor médio do sinal, é realizada uma calibração sempre que o sistema inicia, onde é calculado o valor do ADC quando não existe corrente a atravessar o circuito.

Em cada período do sinal, é calculado o valor eficaz da corrente, sendo que o valor eficaz é igual para a parte positiva da onda e para a parte negativa, só é necessário realizar o cálculo para uma das partes. O cálculo é dado pela seguinte fórmula:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{(I_1 - K)^2 + (I_2 - K)^2 + (I_3 - K)^2 + \dots + (I_N - K)^2}{N}} \quad (4.3)$$

Em que N, representa o número de amostras necessárias, para se obter meio período da onda da corrente, ou seja, só a parte positiva ou negativa da onda e K representa o valor médio do sinal.

O valor eficaz da corrente é calculado em cada amostra do sinal e é realizado um filtro passa-baixo por *software* para que as pequenas variações não tenham impacto significativo nas oscilações reais do sistema.

Um exemplo desse sinal encontra-se representado na figura 4.15 da página 34.

Pela análise da figura, é possível observar a presença de pequenas oscilações no sinal, (daí o motivo de se ter implementado o filtro passa-baixo) mas que em nada são significativas. Verificou-

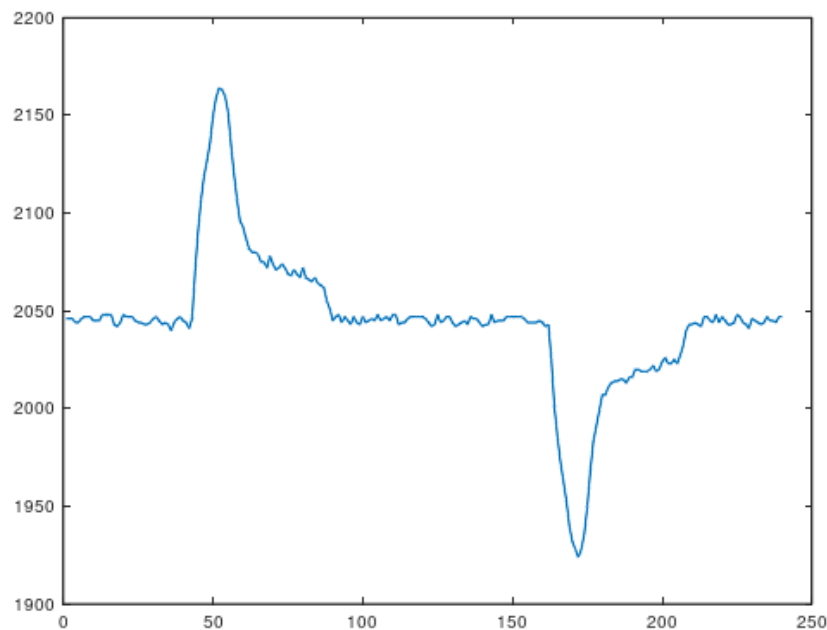


Figura 4.14: Representação do sinal da corrente recebido na entrada do ADC

se com o auxílio de um multímetro *FLUKE*, certificado pelo IEP, que o valor medido da corrente também apresentava pequenas oscilações. A origem desses ruídos pode dever-se ao facto de existirem possíveis ruídos na rede elétrica ou devido ao fator de aquecimento das lâmpadas que também pode influenciar o resultado.

O valor da corrente eficaz medido pelo multímetro rondava os 0,242 A. Assumindo que o valor lido do ADC é +/- 39, podemos obter o valor da corrente, em amperes, através dos seguintes cálculos:

- Razão do divisor de tensão à saída do sensor : $\frac{5600}{5600+2700} \approx 0.675$
- Valor médio em volts: $\frac{2045}{4096} * \frac{3.3}{0.675} \approx 2.44 \text{ V}$
- Valor da corrente lido do ADC em volts: $\frac{(39+2045)}{4096} * \frac{3.3}{0.675} \approx 2.487 \text{ V}$
- Sensibilidade do sensor de corrente: 185 mV/A
- Valor da corrente eficaz em amperes: $\frac{(2.487-2.44)}{0.185} \approx 0.254 \text{ A}$

Através dos cálculos efetuados, é possível verificar que o valor real da corrente e o valor calculado a partir do sensor de corrente apresentam um erro relativo de apenas 5 %.

A figura 4.16 representa a onda de tensão, de uma das fases, obtida na entrada do ADC (assumindo que a parte negativa da onda é igual à positiva).

É possível verificar que o valor da tensão é sempre o mesmo, então, para fazer o cálculo da tensão eficaz podemos utilizar a seguinte fórmula:

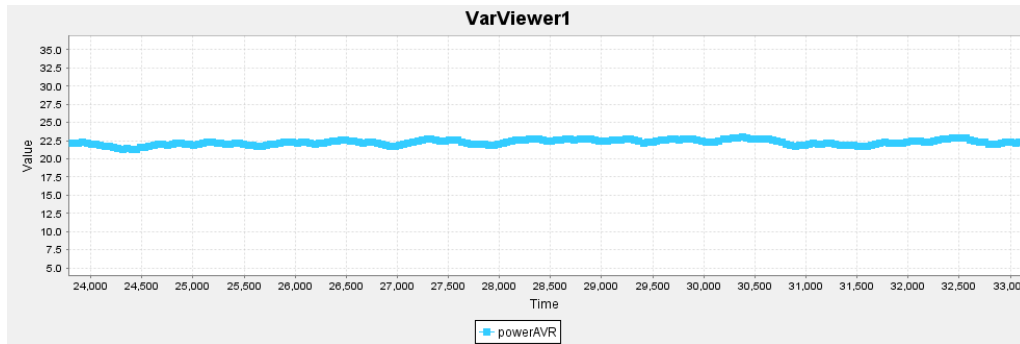


Figura 4.15: Representação do sinal após o filtro passa-baixo

$$V_{RMS} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} \quad (4.4)$$

O valor do ADC, referente ao valor de pico da tensão, da onda representa é 3786. Convertendo, o valor obtido em volts:

- Razão do divisor de tensão: $\frac{1}{101}$
- Valor da tensão de pico lido do ADC em volts: $\frac{3786 \cdot 3.3 \cdot 101}{4096} \approx 308 \text{ V}$
- Valor eficaz da tensão: $V_{RMS} = \frac{308}{\sqrt{2}} \approx 218 \text{ V}$

Com o multímetro foi medida a tensão da rede elétrica, que apresentava o valor de $\approx 223 \text{ V}$. A diferença entre o valor real e o valor presente no ADC, pode ser devido à queda de tensão do díodo, D7.

Depois dos cálculos efetuados, é possível concluir que a tensão eficaz apresenta um erro relativo de apenas 2.2 %.

Após ser obtido o valor da tensão e corrente eficazes, é fácil calcular o valor da potência aparente, que é dada por:

$$|S| = V_{RMS} * I_{RMS} \quad (4.5)$$

Devido ao facto de se ter verificado que a tensão do circuito seria sempre a mesma e que a única variação existente seria a da corrente, assume-se que a tensão é sempre constante e que a partir de agora, vão ser apresentados os resultados da única variante do sistema, que é a corrente.

4.2.3 Transições

Quando é referido que o ruído existente no sinal representado na figura 4.15, não é significativo, é porque é realizado um processo que permite diferenciar transições acentuadas de transições ligeiras.

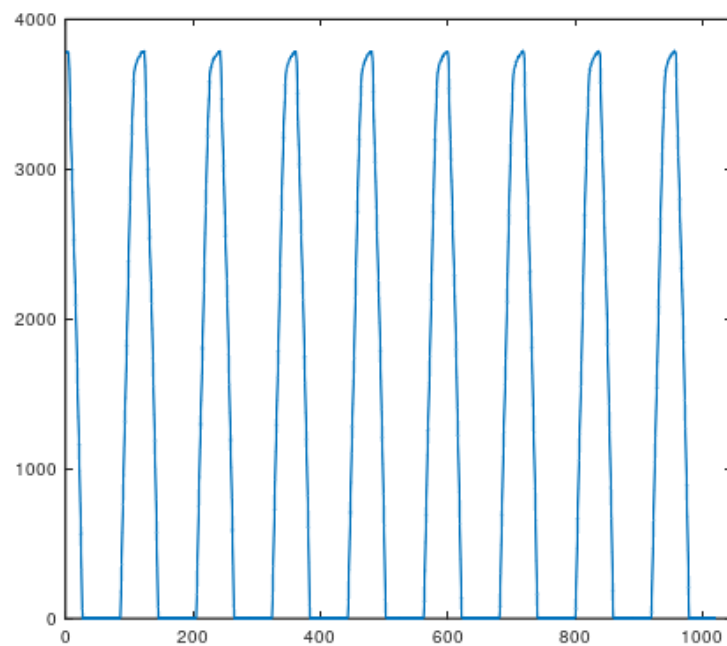


Figura 4.16: Representação do sinal da tensão recebido na entrada do ADC

Para isso, é realizada a derivada da diferença entre o valor adquirido no momento e o valor anterior, e aplicado um filtro passa-baixo, de modo a ter acesso às variações do sinal.

As transições podem ser de 2 tipos, positivas ou negativas, e são caracterizadas pelas seguintes situações:

- **Transição positiva** — Uma lâmpada encontra-se no estado "desligada" e transita para o estado "ligada";
- **Transição negativa** — Uma lâmpada encontra-se no estado "ligada" e transita para o estado "desligada".

O mesmo se aplica a conjuntos de lâmpadas, em que uma ou várias lâmpadas possam ser ligadas ou desligadas.

Um exemplo de uma transição negativa encontra-se representada na figura 4.17 da página 36.

Como é possível observar pela análise da figura, uma transição define-se como uma queda ou subida abrupta do valor lido do ADC, sendo que as pequenas variações no sinal que ocorrem devido ao ruído presente não são consideradas transições e deste modo não existe a possibilidade de serem detetadas transições ligeiras que poderiam comprometer as medições e retornar valores que não eram reais.

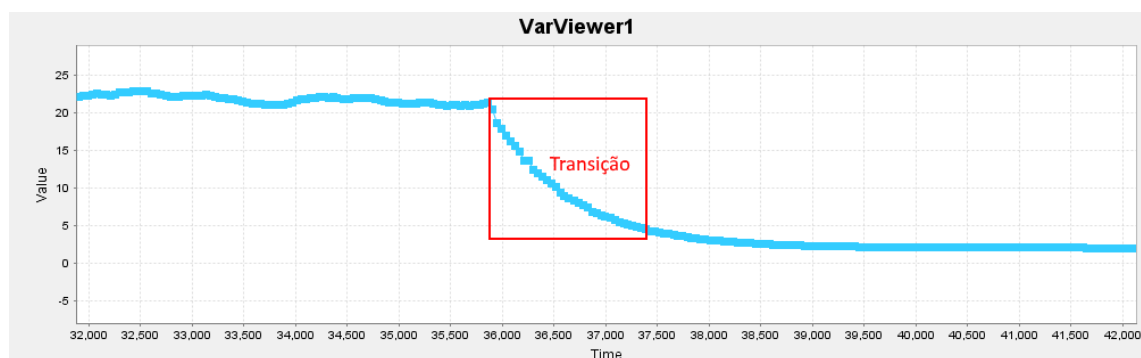


Figura 4.17: Exemplo de uma transição negativa

4.2.4 Visão global do sistema

A figura 4.18 da página 36 representa a máquina de estados global do sistema, que consiste em 3 estados. O primeiro estado, 0, é onde ocorre a fase de aprendizagem, isto é, a criação do perfil de consumo das lâmpadas ao qual o sistema vai estar ligado, ou seja, os valores da corrente eficaz, são adquiridos instantaneamente pelo ADC e processados de seguida, de modo, a definirem-se intervalos de valores, com um máximo e um mínimo, para cada lâmpada ou conjunto de lâmpadas. Esses valores são guardados e vão dar origem ao perfil de consumo do sistema de iluminação.



Figura 4.18: Representação da máquina de estados global do sistema

A passagem para o estado seguinte, 1, é realizada quando o botão é pressionado ou então quando passam 24 horas após o sistema ter sido ligado. O objetivo é que no primeiro estado sejam adquiridos todos os valores correspondentes às combinações possíveis de lâmpadas ligadas e desligadas, sendo que o utilizador tem a hipótese de instalar o sistema e transitar para o estado

de verificação dos valores se assim o desejar, pressionando o botão, ou deixar que este adquira os valores durante 24 horas.

No segundo estado, 1, é realizada a comparação dos valores que estão a ser adquiridos pelo ADC no momento, com os valores do perfil de consumo. Se algum dos valores se encontrar fora do intervalo de máximos e mínimos definido no primeiro estado, então assume-se que ocorreu uma falha numa das lâmpadas ou num conjunto de lâmpadas e o sistema transita para o estado 2, que representa o estado de falha do sistema.

4.2.4.1 Fase de aprendizagem

Depois de realizada a abordagem global do sistema é agora altura de explicar como se processa a criação do perfil do consumo. A máquina de estados encontra-se representada na figura 4.19 da página 37.

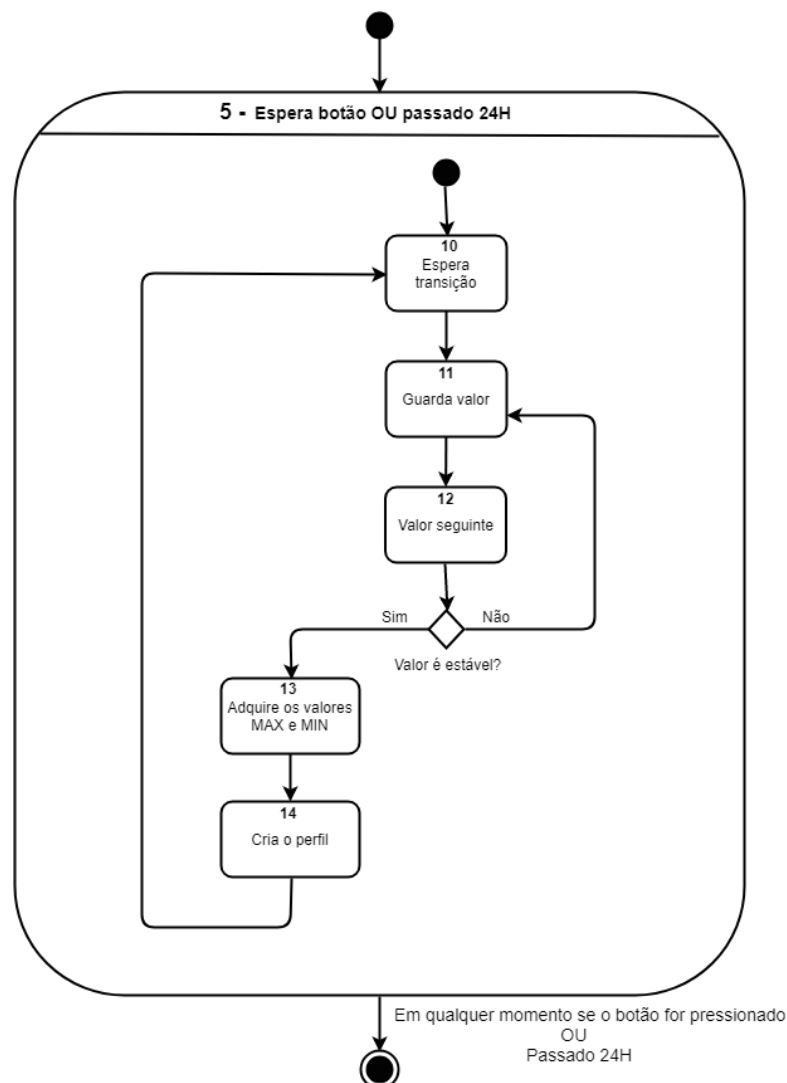


Figura 4.19: Representação da máquina de estados da fase de aprendizagem

O sistema inicia no estado 10, onde fica à espera que ocorra uma transição, que pode ser positiva ou negativa. Quando se dá a transição, passa para o estado 11 e guarda o valor lido do ADC. Passados 10 segundos transita para o estado 12 e adquire um novo valor. Este tempo de espera é necessário, uma vez que as lâmpadas fluorescentes inicialmente possuem um consumo maior que vai diminuindo e estabilizando com o tempo, (tal como verificado no ponto 2.2.1 do capítulo 2) verificando-se que os 10 segundos eram suficientes para se obter um valor estável após a transição.

Quando se verifica que o valor é estável, ou seja, o módulo da diferença entre o valor seguinte e o valor anterior é menor do que 4, o sistema transita para o estado 13.

No estado 13, o sistema vai continuamente efetuando a leitura dos valores e definindo dinamicamente o intervalo de valores de funcionamento do circuito ativo, até ao momento em que ocorre uma nova transição. O sistema passa então para o estado 14 e retorna o valor do máximo e mínimo adquiridos até então. Se esse intervalo de valores ainda não existir no vetor de "perfil", são adicionados ao vetor, caso contrário é realizada uma nova medição até ao momento em que o botão é pressionado ou passaram 24 horas desde que o sistema foi ligado.

Foi introduzido este método de deteção de transições e foi-se medindo os valores entre as transições, visto que se verificou que os consumos oscilavam lentamente ao longo do tempo, e desta forma se garantia a aquisição de todos os valores desde o momento em que o circuito é ligado até ao momento em que sai da fase de aprendizagem.

4.2.4.2 Fase de funcionamento normal

Na fase de funcionamento normal, é medida constantemente a potência e são detetadas anomalias em relação ao perfil estipulado anteriormente.

Na figura 4.20 da página 39 é representada a máquina de estados responsável pelo processo.

O sistema arranca no estado 3, onde é realizada a inicialização de todas as variáveis necessárias e logo transita para o estado 4, onde verifica se existem dados na memória *Flash*, isto para evitar a perda de dados no momento em que o produto está em funcionamento e pode ser desligada a alimentação por algum fator externo, como por exemplo, se ocorrer uma falha de energia no quadro elétrico. Nesse caso, e se já existir um "perfil" na memória *Flash*, que já tinha sido obtido na fase anterior, o sistema passa para o estado 6.

Neste estado, são lidos os valores presentes na entrada do ADC, até se obter um valor estável, ou seja, é necessário assegurar que o valor que se vai comparar não se encontre numa transição.

Após este processo, o sistema transita para o estado 8, aqui inicia-se o processo de comparação do valor (estável) que se obteve, com os intervalos de valores (de máximos e mínimos) presentes no perfil de consumo, se o valor não estiver contido em nenhum dos intervalos significa que ocorreu uma anomalia e passa para o estado 9, onde é ligado o *LED* vermelho e ativado o relé, caso contrário o processo repete-se, adquire-se um novo valor, realiza-se a comparação e assim sucessivamente até ocorrer uma falha.

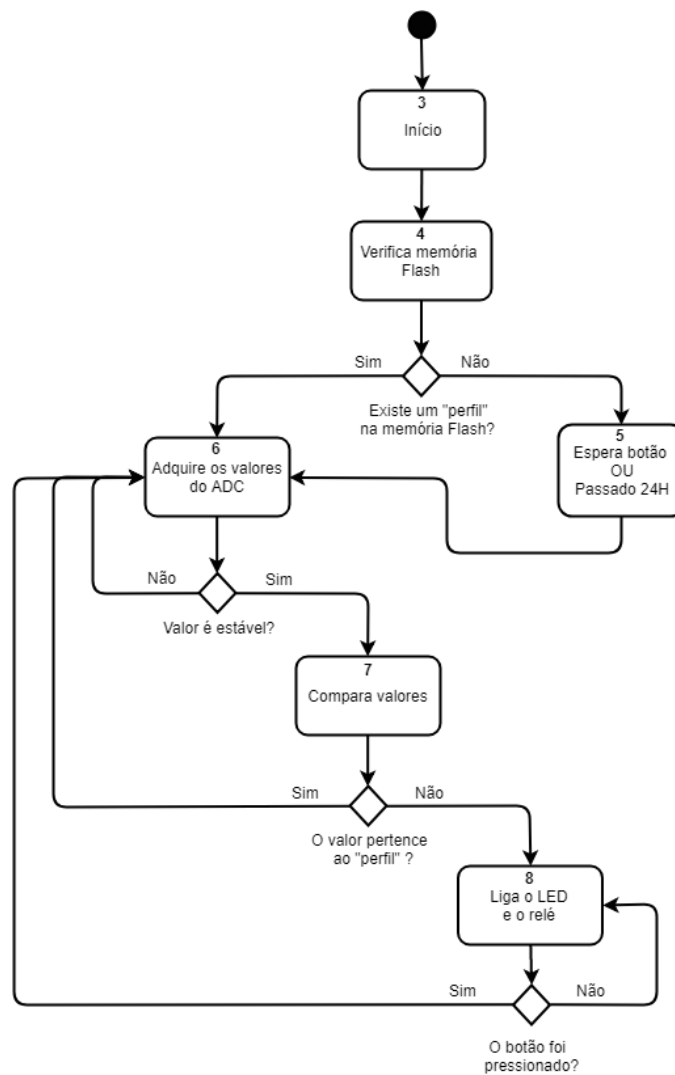


Figura 4.20: Representação da máquina de estados do modo de funcionamento normal

Quando uma falha ocorre, o utilizador é notificado através do sinal luminoso e o sistema só abandona o estado 9, no momento em que o botão é pressionado, ou seja, uma situação real seria, por exemplo:

1. O produto é instalado no quadro elétrico;
2. A fase de aprendizagem é completada;
3. O sistema entra em modo de funcionamento normal;
4. Uma lâmpada funde, ocorre uma falha;
5. O utilizador deteta que ocorreu uma falha;
6. Troca a lâmpada que se fundiu, por uma lâmpada igual;

7. Carrega no botão;
8. O sistema volta à fase de funcionamento normal.

Caso a lâmpada a trocar seja diferente da lâmpada que se encontrava no local é necessário realizar um *reset* ao sistema e voltar a traçar o perfil de consumo, uma vez que a lâmpada pode ter consumos muito diferentes da anterior e alterar os valores do perfil traçado de tal forma que saia dos intervalos definidos, aquando da fase de aprendizagem. Para tal, em qualquer estado que se encontre o sistema, se o botão for pressionado durante 5 segundos seguidos o sistema é reinicializado e os dados anteriormente contidos na memória *flash* são apagados. O sistema volta à fase de aprendizagem e adquire um novo perfil de consumo.

Capítulo 5

Testes e Resultados

5.1 Testes preliminares

Para realizar os testes preliminares foram utilizadas as lâmpadas presentes na figura 5.1.



Figura 5.1: Conjunto de lâmpadas utilizadas para os testes preliminares



Figura 5.2: 2 lâmpadas fluorescentes e conjunto de lâmpadas LED's

Com esse conjunto de lâmpadas é possível obter os seguintes casos:

- **caso 1** – As lâmpadas estão todas desligadas;
- **caso 2** – As lâmpadas estão todas ligadas;
- **caso 3** – 2 lâmpadas fluorescentes ligadas;
- **caso 4** – 1 lâmpada fluorescente ligada;
- **caso 5** – lâmpadas LED's ligadas.

5.1.1 Teste fase de aprendizagem

A figura 5.3 representa o gráfico dos valores lidos do ADC como referido no ponto 4.2.2. De modo a ser representada uma situação próxima do real, as lâmpadas iam sendo ligadas e desligadas de acordo com os casos possíveis e como pode ser observado pela análise do gráfico.

A linha a preto representa as transições que ocorrem durante a fase de aprendizagem, que podem tomar o valor de 1 para transições positivas, -1 para transições negativas, e 0 quando não ocorrem transições.

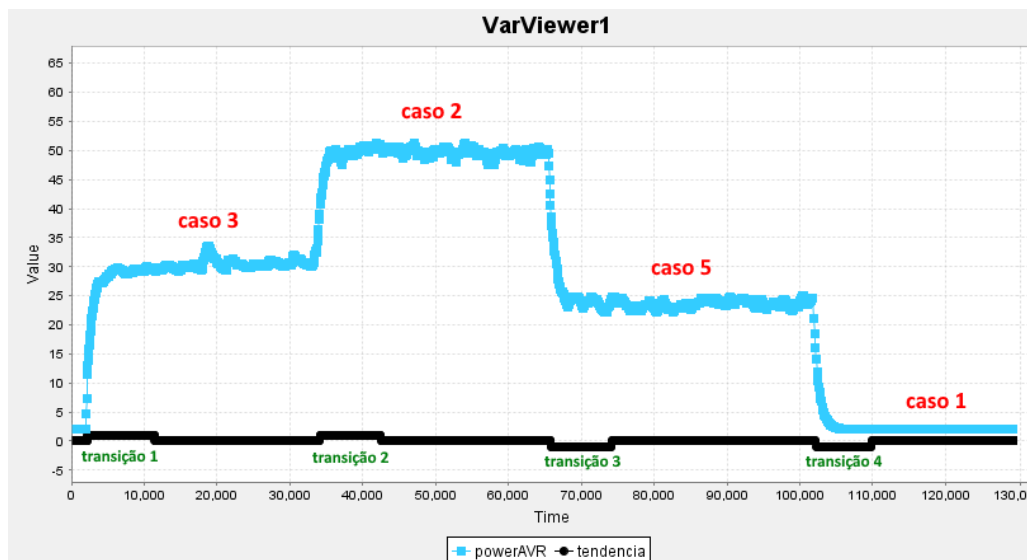


Figura 5.3: Gráfico da fase de aprendizagem para os casos representados

Observando o gráfico podemos concluir que:

- O sistema começa desligado;
- Quando as lâmpadas fluorescentes são ligadas (caso 3), ocorre a transição 1.
- Quando os LED's são ligados (caso 2), ocorre a transição 2.
- Quando as lâmpadas fluorescentes são desligadas (caso 5), ocorre a transição 3.
- Quando os LED's são desligados (caso 1), ocorre a transição 4.

A figura 5.4 representa os valores de máximo e mínimo adquiridos para cada um dos casos representados.

VarViewer2		
Variable Name	Address/Expression	Read Value
profileT.max[0]	0x20000516	33
profileT.min[0]	0x2000058e	29
profileT.max[1]	0x20000518	51
profileT.min[1]	0x20000590	47
profileT.max[2]	0x2000051a	25
profileT.min[2]	0x20000592	22
profileT.max[3]	0x2000051c	2
profileT.min[3]	0x20000594	1

Figura 5.4: "perfil" adquirido

Depois de analisadas as duas figuras, é possível concluir que o intervalo de valores adquiridos para cada um dos casos indicados na figura 5.3 e que constituem o "perfil" são os seguintes:

- $29 < \text{caso 3} < 33$
- $47 < \text{caso 2} < 51$
- $22 < \text{caso 5} < 25$
- $1 < \text{caso 1} < 2$

5.1.2 Teste fase funcionamento normal

Após ter sido adquirido o "perfil" e pressionado o botão, (uma vez que já foram obtidos os valores pretendidos e não é necessário esperar as 24 horas) o sistema transita então para a fase de funcionamento normal, onde os valores lidos do ADC são comparados em cada momento com os intervalos de valores presentes no "perfil". No momento em que um valor não pertence a nenhum dos intervalos anteriores, e de modo a garantir que é um valor estável, um contador é incrementado até que o valor lido do ADC se altere (e o contador é então colocado a 0) ou até chegar a 30, nesse momento, é possível concluir que existe uma falha no sistema. Todo este processo encontra-se representado na figura 5.5.

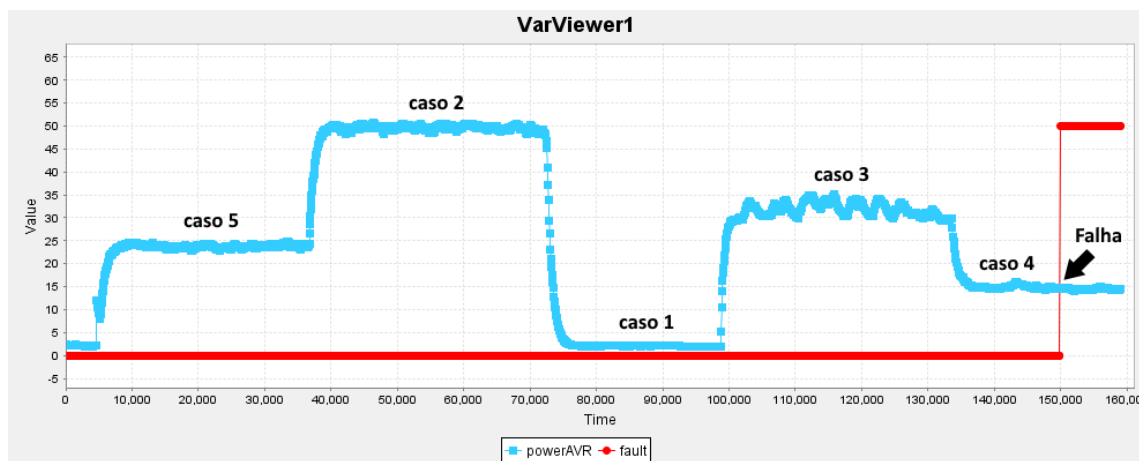


Figura 5.5: Simulação de uma situação de falha

Para auxiliar na deteção da falha, que visualmente é detetada quando o LED vermelho está aceso, foi adicionada uma variável, *fault*, que possui o valor de zero, exceto quando ocorre uma falha, aí o seu valor é colocado a 50 até ao momento em que o botão é novamente pressionado.

Através da análise da figura é possível observar que, as lâmpadas vão sendo ligadas e desligadas até ao momento em que é simulado que uma das lâmpadas fluorescentes funde e o sistema deteta essa falha.

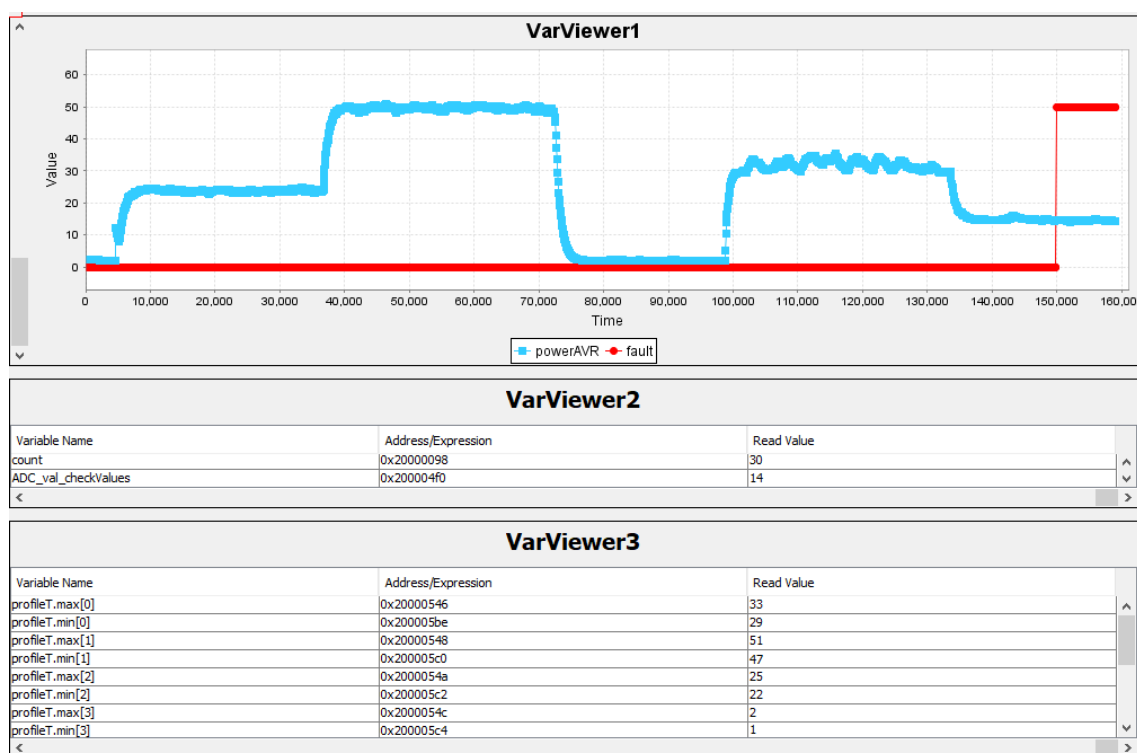


Figura 5.6: Valor da falha

Na figura 5.6 está representado o valor para o qual a falha ocorreu, indicado pela variável, `ADC_val_checkValues = 14` e como já seria de esperar, o valor não está dentro de nenhum dos intervalos do "perfil", ao contrário de todos os outros adquiridos até ao momento da falha.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

O grande objetivo desta dissertação consistia na criação de um protótipo capaz de ser instalado no quadro elétrico de um edifício e capaz de detetar falhas nos consumos instantâneos do circuito do sistema de iluminação.

Este documento apresenta todos os estudos envolvidos, que auxiliaram na definição da abordagem ao sistema, assim como todas as etapas realizadas no seu desenvolvimento e os resultados obtidos.

Um dos obstáculos iniciais do projeto prendeu-se com o facto de as lâmpadas consumirem correntes muito baixas, na ordem dos 100 mA, sendo que os sensores de corrente estudados só mediam correntes acima de 1 A, o que tornaria a deteção das transições um processo difícil. No entanto, mais tarde e após alguns testes realizados ao sensor escolhido, verificou-se que o mesmo além de possuir apenas um erro relativo de 5 a 10% era perfeitamente possível detetar os momentos em que ocorriam transições, ou seja, detetar os momentos em que as lâmpadas estavam ligadas ou desligadas.

Não foi calculado o fator de potência, uma vez que este apenas indica a eficiência do uso da energia e para este sistema esse facto acaba por não se tornar muito relevante, visto que, não é necessário saber quanto da potência elétrica está de facto a ser convertida em energia útil, mas sim é necessário saber qual o valor da potência instantânea que esta a ser consumida no momento, ou seja, a potência aparente, S .

É fácil perceber que este produto não traria qualquer tipo de vantagem se aplicado numa habitação doméstica, isto porque trata-se de um espaço relativamente pequeno e quando uma lâmpada está em falha, rapidamente se procede à sua substituição. Já o contrário se aplica a grandes edifícios, em a aplicação deste produto nestes empreendimentos permite retirar vantagem da relação tempo/eficácia e de igual forma reduzir os custos associados à realização da inspeção dos sistemas de iluminação das partes comuns nestes edifícios.

Depois de desenvolvido todo o sistema é possível concluir que este possui algumas limitações, como o facto de que durante a fase de aprendizagem não poderem ocorrer falhas e os casos em que a falha de uma lâmpada pode corresponder ao funcionamento normal de outra lâmpada ou conjunto de lâmpadas.

Os testes realizados ao sistema, permitiram comprovar o bom funcionamento de todo o processo desenvolvido.

Por fim, é possível concluir que o sistema foi construído com sucesso assim como os objetivos propostos foram alcançados com sucesso.

6.1 Trabalho Futuro e Melhorias

Existem várias melhorias que podem ser efetuadas ao sistema.

Na fase de desenvolvimento do sistema, foi decidido utilizar um sensor de corrente e tensão, não só pelo facto de ser a opção mais barata, o que se torna um fator importante, tendo em conta que o produto vai ser produzido em grandes escalas, mas também de modo a ser possível visualizar as respetivas ondas obtidas, uma vez que ao adquirir a totalidade da onda podemos analisar de forma mais detalhada o comportamento do sinal e conseguir perceber melhor não só de que forma varia a corrente mas também avaliar a variação na forma de onda, com o objetivo de ser possível detetar as transições que iam ocorrendo no sistema de iluminação, no entanto como melhoria ao sistema podia ser estudada a hipótese de substituir o sensor de corrente e de tensão por um componente integrado que realiza a medição da energia consumida e trabalhar com esses valores para se detetarem falhas nas lâmpadas.

Como trabalho futuro, pode ser considerado ainda a adição de um módulo GSM ao sistema, programado para enviar uma mensagem para o utilizador assim que ocorre uma falha no sistema de iluminação e também a possibilidade da aplicação deste sistema a outras finalidades que não a iluminação, como por exemplo, traçar o perfil de consumo de um motor, para alerta de mau funcionamento.

Referências

- [1] Trystan Lea e Glyn Hudson. Open energy monitor. Disponível em <https://openenergymonitor.org/>, acessado pela última vez em 10 de Junho de 2018.
- [2] TELE. your smart factory. Disponível em <https://www.tele-online.com/en/case-studies/lamp-failure-detection/>, acessado pela última vez em 5 de Fevereiro de 2018.
- [3] Ghds100e single-phase guide rail electric energy meter rs485 u/i/p/f/pf/q/s measurement. Disponível em <https://pt.aliexpress.com/item/GHDS100E-Single-phase-Guide-Rail-Electric-Energy-Meter-RS485-U-I-P-F-PF-Q-S-32583546198.html?spm=a2g03.10010108.1000016.1.59e87734EQwF3q&isOrigTitle=true> acessado pela última vez em 16 de Junho de 2018.
- [4] Ghds300e u/i/p/f/pf/q/s rs485 communication three phase guide rail electric energy meter. Disponível em <https://pt.aliexpress.com/item/GHTS300E-U-I-P-F-PF-Q-S-RS485-Communication-Three-Phase-Guide-Rail-Electric-32685709479.html?spm=a2g03.10010108.1000016.1.744b230ak7oROP&isOrigTitle=true> acessado pela última vez em 16 de Junho de 2018.
- [5] Tairis. Eficiência energética no mercado de iluminação brasileiro. Disponível em <http://blog.tairis.com.br/index.php/2015/07/22/eficiencia-energetica-no-mercado-de-iluminacao-brasileiro/>, acessado pela última vez em 1 de Junho de 2018.
- [6] Luis F.M. Timóteo. Técnicas de iluminação e funcionamento das lâmpadas fluorescentes. Disponível em <https://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao3-lampadas-fluorescentes>, acessado pela última vez em 1 de Junho de 2018.
- [7] Luís Carlos Ribeiro Cardoso. Desenvolvimento de uma base de dados para manutenção de iluminação industrial. Relatório técnico, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Abril 2015.
- [8] Radwa M. Abdalaal e Carl Ngai Man Ho. Characterization of commercial led lamps for power quality studies. Relatório técnico, Dept. of Electrical and Computer Engineering University of Manitoba, 2017.
- [9] Alberto Dolara e Sonia Leva. Power quality and harmonic analysis of end user devices. *Energies*, páginas 5454–5466, Dezembro 2012.
- [10] Guillermo Velasco-Quesada, Member IEEE, Manuel Román-Lumbreras, Alfonso Conesa-Roca, e Felipe Jeréz. Design of a low-consumption fluxgate transducer for high-current

- measurement applications. *IEEE SENSORS JOURNAL*, páginas VOL.11, NO.2, Fevereiro 2011.
- [11] webtrónico. Sensor de corrente sct-013 não invasivo 100a. Disponível em <https://www.webtronico.com/outros/81-sensor-de-corrente-sct-013-nao-invasivo-100a.html>, acedido pela última vez em 7 de Fevereiro de 2018.
- [12] learn openEnergyMonitor. Disponível em <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino>, acedido pela última vez em 7 de Fevereiro de 2018.
- [13] Chucheng Xiao, Lingyin Zhao, Tadashi Asada, W. G. Odendaal, e J. D. van Wyk. An overview of integratable current sensor technologies. Relatório técnico, Center for Power Electronics Systems Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [14] Monica Thomas e Michael Doogue. Integrating hall-effect magnetic sensing technology into modern household appliances. Disponível em <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Integrating-Hall-Effect-Magnetic-Sensing-Technology-Into-Modern-Household-Applia.aspx>, acedido pela última vez em 20 de Maio de 2018.
- [15] S.A. – Portugal Legrand Eléctrica. Qualidade de energia e perturbações da rede elétrica. Relatório técnico, S/D.
- [16] electroSome. Transformerless capacitor dropper power supply. Disponível em <https://electrosome.com/capacitor-power-supply/>, acedido pela última vez em 11 de Maio de 2018.
- [17] Tarun Agarwal. Steps to convert the 230v ac to 5v dc using step down converter. Disponível em <https://www.elprocus.com/steps-to-convert-the-230v-ac-to-5v-dc/>, acedido pela última vez em 14 de Maio de 2018.
- [18] REN. O setor elétrico. Disponível em http://http://www.ren.pt/pt-PT/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico/, acedido pela última vez em 1 de junho de 2018.
- [19] STMicroelectronics. A powerful eclipse based c/c++ integrated development tool for your stm32 projects. Disponível em <http://www.st.com/en/development-tools/truestudio.html>, acedido pela última vez em 1 de junho de 2018.
- [20] STMicroelectronics. Stm studio run-time variables monitoring and visualization tool for stm32 microcontrollers. Disponível em <http://www.st.com/en/development-tools/stm-studio-stm32.html>, acedido pela última vez em 1 de junho de 2018.