



**Elisabete da  
Conceição  
Sousa Florindo**

**Drivers LED eficientes para aplicações gerais de  
iluminação**







**Elisabete da  
Conceição  
Sousa Florindo**

**Drivers LED eficientes para aplicações gerais de  
iluminação**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Filipe Mesquita Nero Moreira Alves (orientador), Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Doutor João Paulo Silva Barraca (coorientador), Professor Assistente convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.



**o júri / the jury**

presidente / president

**Professor Doutor José Carlos Esteves Duarte Pedro**

Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

**Mestre Nuno Rafael Mendonça Lourenço**

Especialista, Think Control, Unipessoal Lda. (Arguente)

**Professor Doutor Luís Filipe Mesquita Nero Moreira Alves**

Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (Orientador)



## **agradecimentos**

Ao meu orientador Professor Doutor Luís Filipe Mesquita Nero Moreira pela oportunidade e pelo constante suporte e apoio ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao professor João Paulo Silva Barraca pela participação e colaboração.

Aos meus colegas de laboratório pelo bom ambiente de trabalho e boa disposição ao longo destes meses.

À minha família que me apoiou e incentivou incondicionalmente.

A todos os que me ajudaram, muito obrigado.



**Palavras-chave**

Iluminação inteligente, eficiência energética, comunicação sem fios, driver LED, sensor

**Resumo**

A presente dissertação faz uma abordagem à eficiência energética em aplicações gerais de iluminação. Vem na sequência do projeto LITES, que teve como objetivo o estudo e demonstração da viabilidade económica de um sistema de iluminação inteligente. A Universidade de Aveiro participou neste projeto e a Ponte Pedonal do Crasto é um dos locais piloto, cuja iluminação existente foi totalmente substituída por um sistema de iluminação inteligente.

A integração do LED em sistemas de iluminação é amplamente justificada pela eficiência energética que apresentam, conduzindo a uma muito significativa diminuição de custos.

Inicialmente, será feita uma introdução à história da iluminação artificial, desde o seu aparecimento no período da pré-história, passando pela sua evolução, até à atualidade. A seguir será dada ênfase à iluminação LED, tal como, suas características, regulamentações a que se encontram sujeitos os dispositivos referentes a este tipo de iluminação e principais aplicações.

Nesta sequência, serão ainda caracterizados os *drivers* LED mais utilizados, módulos de comunicação sem fios e alguns sensores de movimento/presença, integrados em sistemas de iluminação inteligentes.

Finalmente, será apresentado o projeto do circuito e respetiva implementação prática, análise de dados e resultados obtidos.





**Keywords**

intelligent lighting, energy efficiency, wireless communication, LED driver, sensor

**Abstract**

This dissertation is an approach to energy efficiency in general lighting applications. Follows the project LITES, which aimed to study and demonstration of feasibility economic of an intelligent lighting system. The University of Aveiro participates in this project and the Footbridge of Crasto is one of the pilot sites, whose existing lighting was fully replaced by an intelligent lighting system.

The integration of LED in lighting systems is widely justified by the energy efficiency they present, leading to very significant cost savings.

Initially an introduction will be made to the history of artificial lighting, since its appearance in the prehistoric period, through for its evolution to the present day. The following will emphasize the LED lighting, as well as its characteristics, regulations to which the devices related to this type of lighting and main applications are subject.

In this sequence, the most commonly used drivers, wireless communication modules and some motion/presence sensors, integrated into intelligent lighting systems, will also be featured.

Finally, the circuit design and its practical implementation, data analysis and results will be presented.



# Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Acrónimos	vii
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Enquadramento . . . . .	2
1.3 Objetivos . . . . .	2
1.4 Estrutura da Dissertação . . . . .	3
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1 História da Iluminação . . . . .	5
2.2 Fonte de iluminação LED . . . . .	6
2.3 Poupança de energia . . . . .	10
2.4 Regulamentações europeias . . . . .	11
2.5 Driver . . . . .	11
2.6 Sensores . . . . .	13
2.6.1 Sensores de presença/movimento . . . . .	13
Sensor capacitivo . . . . .	13
Sensor micro-ondas . . . . .	14
Sensor ultrassons . . . . .	15
Sensor fotoelétrico . . . . .	16
Sensor Infravermelho Passivo (PIR) . . . . .	17
2.7 Disposições finais . . . . .	19
<b>3 Projeto do circuito</b>	<b>21</b>
3.1 Internet of Your Things . . . . .	22
3.1.1 Arduino Nano . . . . .	23
3.1.2 Módulo nRF24L01 . . . . .	24
3.1.3 Controlador . . . . .	26

3.1.4	Sensores . . . . .	28
3.2	Driver . . . . .	30
3.3	Luminária . . . . .	31
3.4	Sistema inteligente de iluminação . . . . .	32
3.5	Discussão . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Implementação prática do sistema proposto</b>	<b>39</b>
4.1	Resultados iniciais . . . . .	39
4.1.1	Sensor PIR . . . . .	39
4.1.2	Sensor de micro-ondas . . . . .	40
4.1.3	<i>Gateway</i> e nó-sensor . . . . .	41
4.2	Resultados . . . . .	41
4.2.1	Consumo energético . . . . .	41
4.2.2	Iluminância vs Dimming . . . . .	44
4.3	Disposições finais . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>47</b>
5.1	Trabalho futuro . . . . .	47
	<b>Bibliografia</b>	<b>49</b>
<b>A</b>	<b>Anexos</b>	<b>51</b>
A.1	Software . . . . .	51
A.1.1	Motion and Dimming . . . . .	51
A.1.2	SerialGateway [1] . . . . .	55
A.1.3	GatewayUtil.h[1] . . . . .	59
A.2	Gráficos . . . . .	64

# Lista de Figuras

2.1	Dispositivos de iluminação . . . . .	6
2.2	Tensão do díodo versus a energia da banda proibida para LEDs de diferentes materiais . . . . .	7
2.3	Padrões de emissão de diferentes tipos de LEDs . . . . .	8
2.4	Tempo de vida útil de diferentes tipos de lâmpadas . . . . .	8
2.5	Nível de espectro azul na iluminação LED . . . . .	10
2.6	Fonte de corrente constante . . . . .	12
2.7	Fonte de tensão constante . . . . .	12
2.8	Diagrama de detecção capacitivo . . . . .	14
2.9	Diagrama de medição da frequência Doppler do sensor de micro-ondas . . . . .	15
2.10	Funcionamento de um sensor ultrassons . . . . .	16
2.11	Funcionamento de um sensor fotoelétrico . . . . .	17
2.12	Sensor de movimento PIR . . . . .	18
2.13	Lente de Fresnel . . . . .	18
3.1	Diagrama de blocos de um sistema inteligente de iluminação . . . . .	21
3.2	Topologia da rede . . . . .	22
3.3	Diagrama de blocos de processamento . . . . .	23
3.4	Módulo nRF24L01 . . . . .	24
3.5	Diagrama de blocos do nRF24L01 . . . . .	25
3.6	<i>Dashboard</i> . . . . .	27
3.7	MYSController . . . . .	28
3.8	Sensor PIR . . . . .	28
3.9	Sensor micro-ondas . . . . .	29
3.10	Esquema de detecção do sensor micro-ondas . . . . .	29
3.11	Circuito de amplificação do sensor micro-ondas em onda contínua [2] . . . . .	30
3.12	Diagrama de blocos do LED driver . . . . .	30
3.13	LED driver . . . . .	31
3.14	Módulo STARK-LLE24-280-1250-840-CLA e difusor . . . . .	32
3.15	Diagrama de blocos . . . . .	32
3.16	Gateway . . . . .	33
3.17	Circuito do projeto. 1 - Gateway. 2 - Nó-sensor. . . . .	34
3.18	Aumento da tensão de saída do Arduino . . . . .	35

3.19	Gráfico de controlo de <i>dimming</i> . . . . .	36
4.1	Esquema para medição do alcance de deteção do sensor PIR . . . . .	39
4.2	Deteção do sensor de movimento PIR . . . . .	40
4.3	Sinal de deteção do sensor micro-ondas . . . . .	40
4.4	Gráfico da curva de <i>dimming</i> . . . . .	41
4.5	Corrente na luminária em função da variação do <i>dimming</i> . . . . .	42
4.6	Potência consumida numa luminária . . . . .	42
4.7	Comparação entre a energia consumida por uma luminária durante 5 horas e 10 horas . . . . .	43
4.8	Esquema para medição da iluminância . . . . .	44
4.9	Iluminância para 10 percentagens de <i>dimming</i> . . . . .	44
4.10	Iluminância para as percentagens de <i>dimming</i> de 20%, 50%, 70% e 100% . . . . .	45
A.1	Iluminância para diferentes percentagens de <i>dimming</i> . . . . .	64

# Lista de Tabelas

2.1	Algumas normas internacionais referentes à iluminação LED . . . . .	11
3.1	Função dos pinos do nRF24L01 . . . . .	26
3.2	Caraterísticas do LED Driver . . . . .	31
3.3	Pinos de ligação do <i>gateway</i> . . . . .	33





# Acrónimos

<b>AM</b>	Amplitude Modulation
<b>BLH</b>	Blue Ligth Hazard
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check
<b>CRI</b>	Colour Rendering Index
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>EMC</b>	Electomagnetic Compatibility
<b>ERSE</b>	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
<b>GFSK</b>	Gaussian Frequency Shift Keying
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>LITES</b>	LED based Intelligent Lighting for Energy Savings
<b>MDU</b>	Motion Detector Unit
<b>MISO</b>	Master In Slave Out
<b>MOSI</b>	Master Out Slave In
<b>MQTT</b>	Message Queuing Telemetry Transport
<b>PIR</b>	Passive Infrared Sensor
<b>PWM</b>	Pulse-Width Modulation
<b>SCK</b>	Serial Clock
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface

<b>SRAM</b>	Static Random Access Memory
<b>SS</b>	Slave Select
<b>USB</b>	Universal Serial Bus

# Capítulo 1

## Introdução

A crescente preocupação com a redução de gases com efeito de estufa na União Europeia está na origem da *Estratégia 20-20-20 para 2020*. Tem como finalidade a redução em 20% do consumo de energia, em 20% das emissões de gases com efeito de estufa e que 20% da energia consumida seja de fonte renovável.

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, ERSE, promoveu a criação de um Plano de Promoção da Eficiência no Consumo com medidas que visam melhorar a eficiência no consumo de energia elétrica, tais como, a adoção de comportamentos e a aquisição de equipamentos mais eficientes, a redução de custos do setor elétrico, a redução dos investimentos em infra-estruturas de redes e em produção, etc. Para alcançar esse objetivo foram envolvidos os comercializadores de energia elétrica, operadores das redes de transporte e de distribuição de energia, associações e entidades de promoção e defesa dos interesses dos consumidores de energia elétrica, associações empresariais, associações municipais, agências de energia e instituições de ensino superior e centros de investigação.

Neste contexto, a Resolução do Conselho de Ministros nº 2/2011, de 12 de Janeiro, lança o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — ECO.AP, que visa a criação de condições que permitam atingir uma eficiência energética de 20%, até 2020, na Administração Pública[3].

### 1.1 Motivação

A utilização dos LEDs em sistemas de iluminação tem o seu cerne nas vantagens destes dispositivos quando comparados com outros até agora usados. A sua eficiência é a grande responsável por este acontecimento dado que os dispositivos usados na iluminação convencional apresentam baixa eficiência e, conseqüentemente, elevados custos energéticos.

Os LEDs são dispositivos de estado sólido. Esta tecnologia favorece a sua utilização em aplicações que requerem rápida comutação ou rápida gradação de luz, conferindo-lhes um tempo de vida prolongado.

Sendo o seu tempo de vida uma função da sua temperatura de operação, torna-se imprescindível a exigência de estratégias de controlo capazes da manutenção da temperatura

dentro de valores aceitáveis. Quando as condições normais de operação são ultrapassadas o seu tempo de vida sofre uma redução.

A redução dos custos energéticos é possível com a introdução de alguma inteligência nos sistemas de iluminação. Um *driver* inteligente avalia o ambiente circundante e atua em conformidade sobre as condições de iluminação. Isto torna-se exequível com uma unidade de processamento central e sensores adequados que, normalmente, atuam na polarização do LED, na iluminação externa e na detecção de movimento/presença.

Há várias opções possíveis na escolha do *driver*. Os sistemas mais simples recorrem a reguladores de corrente lineares com capacidade de controlo do nível de corrente do dispositivo. Têm a grande desvantagem de reduzir a eficiência global do sistema. Melhor desempenho é obtido quando se combinam reguladores comutados e controlo de iluminação por PWM. Esta é uma técnica usada em sistemas digitais que consiste em manter a frequência de uma onda quadrada fixa variando o *duty cycle*, ou seja, variando o tempo em que o sinal permanece no nível lógico alto. Estes têm a capacidade de melhorar a eficiência do sistema controlando o fluxo médio de luz e mantendo o nível de corrente.

## 1.2 Enquadramento

Esta dissertação vem na sequência do projeto LITES, cujo objetivo foi o estudo da viabilidade económica de um sistema de iluminação inteligente. Assenta no controlo de luminosidade (*dimming*), respeitando as normas europeias de segurança que regulamentam a categoria de iluminação dos locais públicos (classes CE2-CE5, S- e A- da EN13201). A integração de LEDs em sistemas de iluminação é justificada pela eficiência energética que apresentam e consecutiva diminuição de custos.

## 1.3 Objetivos

Este projeto tem como propósito o desenvolvimento de um sistema inteligente, capaz de recolher a informação dos sensores e usá-la de forma eficiente na dinâmica de controlo. Simultaneamente, contempla promover a eficiência do *driver*, que deve ser capaz de oferecer suporte a funções de programação e monitorização.

O plano de trabalho inclui as seguintes tarefas:

- Estado da arte e pesquisa bibliográfica;
- Especificação conceptual do trabalho proposto;
- Desenvolvimento do prototipo e demonstração experimental;
- Validação usando *software* de simulação;
- Elaboração da dissertação.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos com o objetivo de um melhor entendimento do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo é feita uma breve abordagem à história da iluminação, desde o seu aparecimento e evolução, até à atualidade. Caracterizou-se a fonte de iluminação LED, desde a sua constituição física, influência que as condições de utilização têm no seu tempo de vida útil, a sua eficiência e, ainda, uma leve referência às regulamentações europeias aplicadas à iluminação LED. Seguidamente, é referida a importância que os diferentes tipos de *drivers* têm na eficiência da iluminação LED. E, por fim, são apresentados e caracterizados alguns tipos de sensores de movimento/presença.

No terceiro capítulo é apresentado o estudo e funcionamento de um sistema de iluminação inteligente. É feita a descrição e análise dos componentes que o integram, função que desempenham e caracterizados os módulos desenvolvidos.

No quarto capítulo, depois da sua implementação, são apresentados e analisados os dados e os resultados práticos obtidos.

No quinto capítulo são feitas algumas considerações finais sobre o trabalho proposto, limitações encontradas e vantagens relativamente a outros sistemas de iluminação tradicionais. Finalmente, são propostos possíveis melhorias num trabalho futuro.



# Capítulo 2

## Estado da Arte

Neste capítulo é feita uma breve alusão à história da iluminação artificial, referenciando cronologicamente o seu aparecimento, evolução e situação atual.

Neste contexto, faz-se ainda a caracterização da iluminação LED, desde a sua constituição física, passando pelas condições de utilização que influenciam o seu tempo de vida útil, até às regulamentações europeias que lhe são aplicadas.

Por fim, são apresentados os *drivers* e alguns sensores de movimento/presença, que contribuem de uma forma muito significativa na eficiência dos sistemas de iluminação inteligente.

### 2.1 História da Iluminação

A luz artificial surgiu no período da pré-história quando o homem desenvolveu técnicas que lhe permitiram dominar o fogo. Este aquecia-o, protegia-o dos animais mantendo-os longe e iluminava o ambiente circundante. Isto permitiu-lhes que deixassem de ser totalmente dependentes da luz natural para a realização das suas tarefas quotidianas, como acontecia anteriormente. No período do paleolítico fizeram as primeiras tochas para o transporte do fogo.

Mais tarde, fabricaram velas com fibras vegetais e gordura animal que colocavam em vasos feitos em pedra, em chifres de animais ou em conchas marinhas. Mas foi na Idade Média que as velas tiveram o seu auge. Nessa época, elas eram consideradas artigos de luxo porque, como não tinham meios para a sua produção em grande quantidade, estavam acessíveis apenas a quem tivesse grande poder económico. Entretanto, em Inglaterra, começaram a ser produzidas velas com cera de abelha, que rapidamente ganharam terreno às velas feitas com cebo de animais porque estas deixavam um cheiro desagradável.

Mais tarde, com a exploração do petróleo apareceu a parafina e, ainda no século 19, foi descoberta a iluminação a gás. Estas duas fontes de energia passaram, então, a ser usadas na iluminação [4].

A iluminação pública começou a tornar-se uma necessidade para o desenvolvimento das cidades, criando melhores condições de segurança e permitindo, simultaneamente, um

alargamento do período da atividade social.

Em 1879, Thomas Edison, desenvolveu a primeira lâmpada elétrica incandescente, considerada comercialmente viável, que veio revolucionar o mundo da iluminação.

Progressivamente a iluminação elétrica foi substituindo os outros tipos de iluminação. Em 1938, Nikola Tesla inventou a lâmpada fluorescente e, mais tarde, surgiram as lâmpadas de halogéneo cuja durabilidade era superior às incandescentes.

Na Figura 2.1 podemos observar alguns tipos de dispositivos usados na iluminação tradicional.



Figura 2.1: Dispositivos de iluminação [5]

Atualmente, a iluminação elétrica é a nossa principal fonte de iluminação artificial. A iluminação pelo fogo ainda é usada mas apenas para fins decorativos e comemorações em rituais religiosos.

Em 1962, a *General Electric* produziu o primeiro LED. Estes eram usados, basicamente, como indicadores em aparelhos elétricos e eram apenas de cor vermelha.

No início dos anos 90 surgiu o LED azul, que deu depois origem ao branco, vindo este a revolucionar a área da iluminação. Têm como função básica a emissão de luz com baixa produção de calor, alta durabilidade e economia. São usados para sinalização, painéis, decoração e iluminação de alta potência em estacionamentos, pontes, praças, postos de combustíveis, etc [5].

## 2.2 Fonte de iluminação LED

A tensão de difusão  $V_D$  de um díodo pode ser aproximada pela energia da banda proibida  $E_g$  dividida pela carga elementar  $e$ :

$$V_D \approx \frac{E_g}{e} \quad (2.1)$$

A Figura 2.2 mostra que existe uma relação direta entre a tensão do díodo e a energia da banda proibida para alguns tipos de LEDs. A linha contínua corresponde à tensão. Pode, também, constatar-se que a maioria dos LEDs segue a linha contínua.



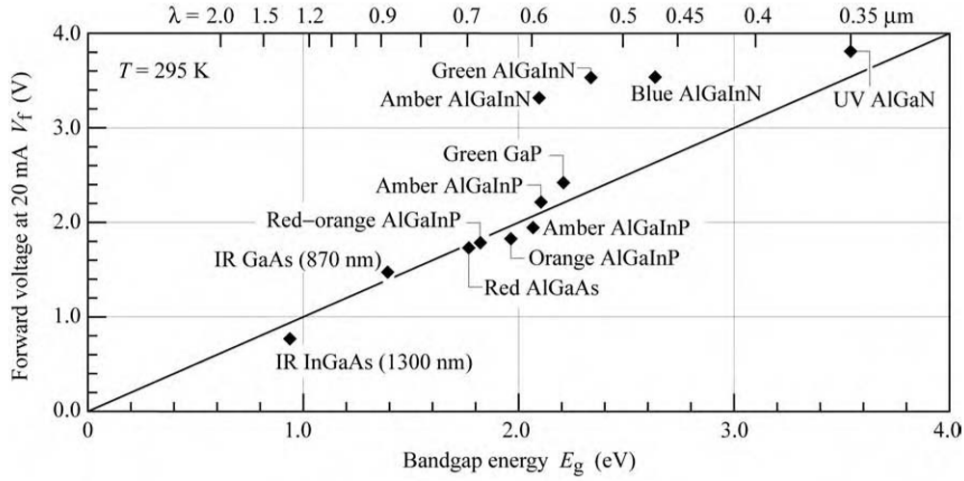


Figura 2.2: Tensão do díodo versus a energia da banda proibida para LEDs de diferentes materiais [6]

O fóton é gerado pela recombinação e subsequente absorção do elétron-lacuna. A energia dos fótons emitidos por um semiconductor é dada pela energia da banda proibida:

$$hv \approx E_g \quad (2.2)$$

A conservação da energia obriga a que a tensão aplicada ao LED, multiplicada pela carga do elétron, seja igual à energia do fóton, pela Equação 2.3:

$$eV = hv \quad (2.3)$$

A energia de um elétron injetado é convertida em energia ótica e a tensão do díodo é então:

$$V = \frac{hv}{e} \approx \frac{E_g}{e} \quad (2.4)$$

Assim, a eficiência energética é dada pela Equação 2.5:

$$\eta_{power} = \frac{P}{IV} \quad (2.5)$$

onde  $P$  é a potência ótica emitida e  $IV$  é a potência elétrica fornecida ao LED.

Todos os LEDs têm um padrão de radiação. A Figura 2.3 mostra, entre outras formas, o padrão de emissão lambertiano, que nos diz que a intensidade luminosa observada numa superfície é diretamente proporcional ao cosseno do ângulo  $\Phi$  entre a direção de incidência da luz e a normal da superfície [6].

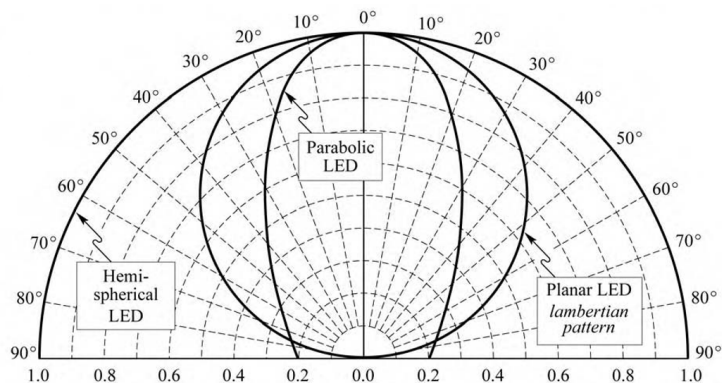


Figura 2.3: Padrões de emissão de diferentes tipos de LEDs [6]

A tecnologia evolui a uma grande velocidade e os LEDs acompanham essa evolução, sendo cada vez mais frequente a sua utilização em iluminação. Esta fonte de luz inovadora é uma alternativa a outras fontes de luz pelo facto de ser económica e ecológica.

O conjunto formado pelo LED, pela caixa e pelas óticas primárias é chamado componente LED e garante a dissipação do calor gerado internamente [7].

As condições de utilização, como a potência, a temperatura interna ou a temperatura ambiente, afetam o tempo de vida útil dos LEDs.

A sua reação imediata às alterações na fonte de alimentação, atingindo o fluxo luminoso máximo logo após a sua ligação, torna-os ideais para aplicações em que há uma comutação frequente, pois esta não vai ter qualquer impacto negativo no tempo de vida útil [8].

A Figura 2.4 mostra os valores do tempo de vida útil referentes a alguns tipos de lâmpadas, onde o LED se destaca com uma grande margem.

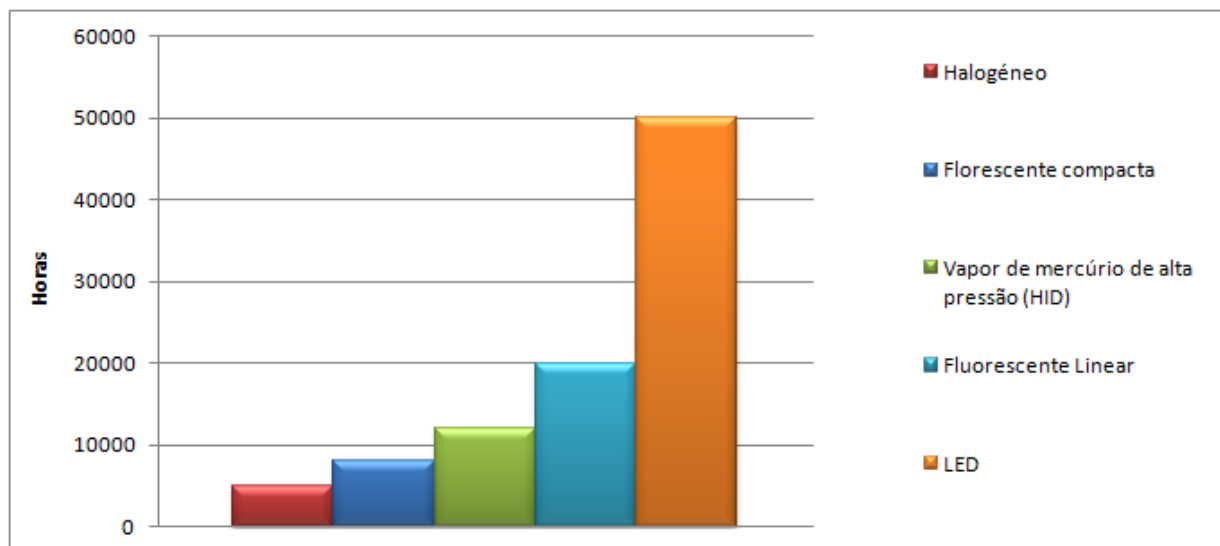


Figura 2.4: Tempo de vida útil de diferentes tipos de lâmpadas [8]

A temperatura de cor de uma fonte de luz branca, expressa em Kelvin (K), é definida como sendo a temperatura de radiação de Planck de um corpo negro cuja luz emitida produz a mesma impressão de cor que a fonte de luz [7]. Os LEDs com temperatura de cor elevada apresentam um nível de eficiência superior aos que têm temperaturas de cor mais baixas. Atualmente, 5000 K é a temperatura da cor com mais elevado rendimento.

O CRI de uma fonte de luz branca traduz a capacidade de reprodução fiel da cor dos objetos físicos iluminados pela fonte. O CRI do LED oscila entre 60 e 98, dependendo da temperatura de cor. Um LED com baixa temperatura de cor (luz branca quente) fornece uma reprodução de cor maior do que um com temperatura de cor mais elevada (luz branca fria).

Os LEDs apresentam uma menor sensibilidade à temperatura ambiente do que lâmpadas fluorescentes, cujo fluxo luminoso desce drasticamente para temperaturas superiores e inferiores a 25°C, tornando a sua utilização mais vantajosa em ambientes com temperaturas excepcionais.

A sua vasta amplitude de regulação torna-os indicados para integração em ambientes programados e dinâmicos.

Segundo os estudos de Análise do Ciclo de Vida, que examinam o impacto ecológico de um produto desde a sua produção até à reciclagem e processamento, os LEDs terão no futuro uma pegada ecológica mais pequena quando comparados com outras fontes de luz [9].

A ausência de radiação ultravioleta ou infravermelha no feixe luminoso do LED privilegia a sua utilização em ambientes onde essas radiações são manifestamente nocivas, como museus, lojas de produtos alimentares ou de vestuário.

O aumento do desempenho e potência máxima dos LEDs conduz ao aumento da luminância da fonte, podendo atingir os 10 a 100 milhões  $cd/m^2$ .

As luminárias LEDs podem funcionar com tensões iguais ou superiores a 100 V. É, por isso, imperativo um bom isolamento entre todos os componentes condutores de corrente e as partes eletrificadas da luminária passíveis de ser tocadas, não devendo ser praticável, a partir do exterior, o acesso aos LEDs e aos outros componentes condutores de corrente.

De acordo com as normas internacionais IEC 61347 [10], com uma voltagem até 24 VAC ou 60 VDC não existe perigo no contacto. Nos aparelhos de iluminação LED com tensão de saída mais elevada há medidas de segurança adicionais [9].

A luz do LED contém um elevado nível de espectro azul, como se pode verificar pela Figura 2.5, que pode dar origem ao chamado perigo da luz azul ou "*Blue Light Hazard*" (BLH). Isto significa que uma exposição direta e prolongada à fonte de luz pode provocar danos irreversíveis na retina [9].

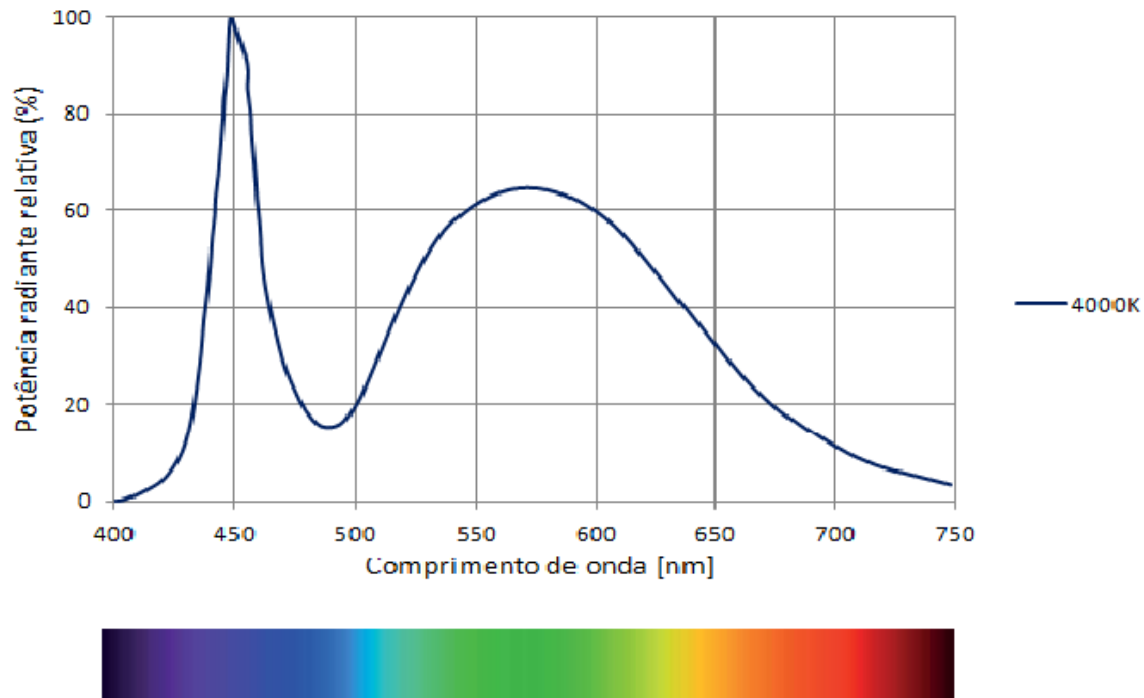


Figura 2.5: Nível de espectro azul na iluminação LED [9]

A norma europeia para a segurança foto-biológica, EN 62471 [11], estabelece um sistema de classificação para determinar o risco de lesões oftalmológicas e dermatológicas de uma lâmpada ou aparelho de iluminação. Além desta norma, que é uma classificação teórica baseada numa distância de visualização fixa, foi também desenvolvida uma diretriz prática, IEC/TR 62477, que a substituiu a partir de 2016 [12].

### 2.3 Poupança de energia

Os LEDs são fontes de luz eficientes que, quando associadas a sistemas de regulação de iluminação, apresentam um ótimo desempenho conduzindo a uma elevada poupança, pois da potência elétrica fornecida uma grande percentagem é convertida em potência ótica útil para iluminação.

Nas lâmpadas fluorescentes o frequente acende/apaga leva ao seu desgaste, o que obriga a sua frequente substituição. Nos LEDs isto não se verifica porque a sua comutação frequente não influencia o seu tempo de vida útil, emitindo a totalidade do seu fluxo luminoso imediatamente após a sua ligação e contribuindo assim, em muito, para o aumento do conforto do utilizador.

## 2.4 Regulamentações europeias

A Federação das Associações Nacionais de Fabricantes de Luminárias e Componentes Eletrotécnicos da União Europeia (CELMA) publicou um Guia dos Critérios de Qualidade aplicáveis ao rendimento das luminárias LED. E a Comissão Europeia publicou o Regulamento Europeu 1194/2012: Ecodesign para lâmpadas direcionais, luminárias LED e equipamento relacionado, onde são discriminados os requisitos sobre os produtos (eficiência energética, funcionalidade e informações) [8].

Em dezembro de 2015, a *Lighting Europe*, federação europeia de fabricantes de iluminação, publicou o guia da Comissão Reguladora (EU) 2015/1428 de 25 de Agosto de 2015, que vem alterar os Regulamentos Europeus nº 244/2009 e nº 1194/2012, com entrada em vigor a partir de 24 de fevereiro de 2016 [12].

A tabela 2.1 contém, de acordo com as orientações do Lighting Industry Liaison Group, um sumário das normas relativas à iluminação LED.

Tipo de produto	Requisitos de segurança	Requisitos de rendimento
Sistemas de controlo eletrónico para módulos LED	IEC 61347-2-13 IEC 61347-1	IEC 62717
Lâmpadas LED com balastro integrado para iluminação geral com tensão > 50 V	IEC 62560	IEC 62612
Tubos LED (com duplo casquilho de lâmpada)	IEC 62776-1	IEC 62612
Módulos LED para iluminação geral	IEC 62031	IEC/PAS 62717 (Public Available Specification)
Aparelhos de iluminação LED	IEC 60598	IEC 62722-2-1
A segurança fotobiológica das lâmpadas e fontes de luz	IEC 62471	
LED e módulos LED	IEC 62504 Termos e definições para LED e módulos LED para iluminação geral	
Comités técnicos CIE	TC2-46 CIE / ISSO medições de intensidade LED	
	TC2-50 Medição das propriedades óticas dos agrupamentos LED e matrizes	
	TC2-58 Medição de radiância e luminância LED	
	TC2-63 Medição ótica de LED de alta potência	
	TC2-64 Métodos de teste LED extremamente rápidos	

Tabela 2.1: Algumas normas internacionais referentes à iluminação LED [9]

## 2.5 Driver

A par da fonte de luz LED e do projeto das óticas, a eficiência e a fiabilidade do *driver* têm uma contribuição muito importante na qualidade das luminárias LED. Por essa razão, este deverá cumprir alguns requisitos, tais como:

- A sua eficiência mínima deverá rondar os 85% e a sua vida útil deverá ser igual ou superior à vida útil dos LEDs.

- O fator de potência, que traduz a diferença de fase entre a tensão e a corrente de alimentação, deverá ser superior a 0.9, pois de contrário levará a um aumento das perdas e da poluição na rede de distribuição do fornecedor de energia.
- A compatibilidade eletromagnética (EMC) deve ser a adequada para evitar interferências eletromagnéticas no local. Ele próprio deverá ser também imune a estas interferências.
- Deve assegurar que as variações da rede elétrica não afetam a saída de corrente, mantendo deste modo a estabilidade do fluxo luminoso. Uma saída de corrente de qualidade inviabiliza oscilações de intensidade que possam culminar em efeitos estroboscópicos.

Dado que, os LEDs são componentes controlados por corrente, o seu ajuste requer especial atenção. Mais ainda pelo facto de que esta é diretamente responsável pelo rendimento luminoso. Os métodos de controlo usuais são as fontes de corrente constante (Figura 2.6) e as fontes de tensão constante (Figura 2.7).

As primeiras convertem diretamente a tensão da rede em corrente constante. Apresentam uma eficiência elevada, assim como uma boa relação qualidade/preço. Como as fontes de corrente apenas permitem a sua ligação em série, tornam a instalação mais difícil e podem conduzir a um rápido aumento da tensão de saída.

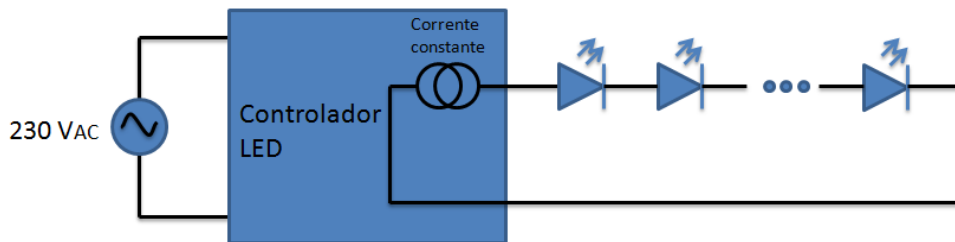


Figura 2.6: Fonte de corrente constante

As fontes de tensão constante convertem a tensão da rede em tensão controlada. Quando aplicadas aos LEDs devem conter sempre uma resistência que limite a corrente ou um circuito eletrónico que regule a corrente no dispositivo. Permitem a ligação de vários módulos em paralelo.

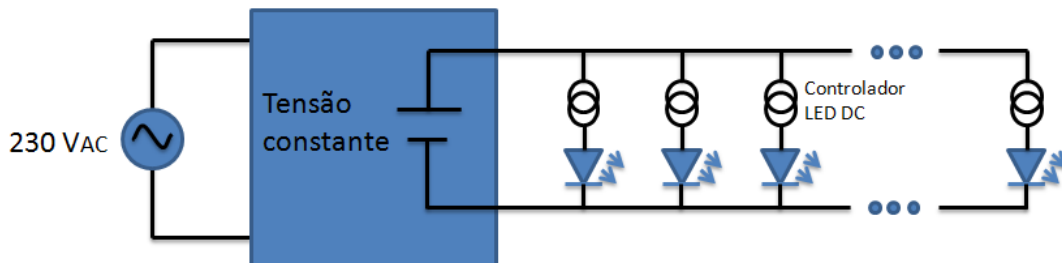


Figura 2.7: Fonte de tensão constante

O driver deve ter a flexibilidade de poder ser utilizado em qualquer sistema de iluminação, pois, geralmente, o nível de iluminação necessita de ser ajustável. As duas técnicas de regulação são: reduzir o nível de corrente (AM) ou reduzir a corrente média transformando-a em impulsos com uma duração cada vez mais curta (PWM).

Têm aplicação na iluminação residencial, comercial, industrial, pública, etc.

## 2.6 Sensores

O sensor responde a um estímulo e converte-o num sinal elétrico. Esse sinal pode ser tensão, corrente ou carga e ser descrito em amplitude, frequência ou código digital.

Os sensores podem ser passivos ou ativos. Os passivos não necessitam de uma fonte de energia adicional pois convertem diretamente a energia do estímulo de entrada no sinal de saída, como, por exemplo, o termopar, o fotodíodo e o sensor piezoelétrico. Os sensores ativos necessitam de um sinal de excitação para produzirem o sinal de saída, isto é, precisam de uma fonte de energia externa. São exemplos de sensores ativos, o termistor e o medidor de tensão resistiva.

### 2.6.1 Sensores de presença/movimento

Os sensores de presença detetam pessoas ou animais na área circundante, quer estes se encontrem em movimento ou não. Por outro lado, os sensores de movimento são seletivos, detetam apenas pessoas ou objetos em movimento.

A presença de pessoas pode ser detetada pelos sensores através de propriedades ou ações do corpo humano, tais como o peso, o calor, a constante dielétrica ou o som.

Alguns dos detetores usados para detetar a presença ou movimento de pessoas são: capacitivos, de micro-ondas, ultrassónicos, fotoelétricos e PIR.

Um dos problemas na deteção de movimento são os falsos alarmes, isto é, o sistema informa que houve movimento sem que ele tenha realmente existido. Uma das soluções encontradas consiste em combinar duas tecnologias que operem em diferentes princípios físicos [13].

#### Sensor capacitivo

Num sensor capacitivo o estímulo produz uma mudança no valor da capacidade. O corpo humano é um meio condutor com uma constante dielétrica elevada que vai criar uma capacidade de acoplamento na zona circundante.

A Figura 2.8 ilustra o processo de deteção de um sensor capacitivo.

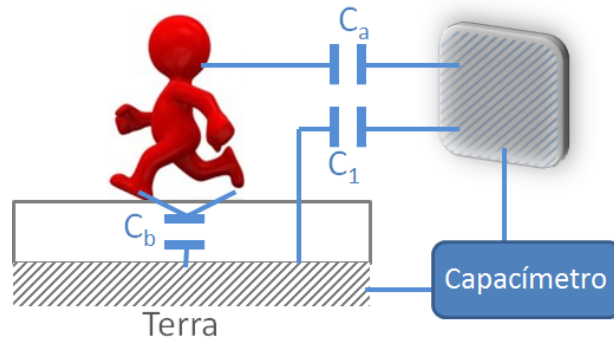


Figura 2.8: Diagrama de detecção capacitivo [13]

Uma pessoa em movimento vai provocar alterações na capacidade de acoplamento, o que vai permitir a distinção entre objetos estáticos e objetos em movimento. Entre a placa de teste e a terra encontra-se uma capacidade  $C_1$ . O movimento na proximidade da placa vai acrescentar dois condensadores: um entre a placa e o corpo  $C_a$  e o outro entre o corpo e a terra  $C_b$ . A capacidade resultante  $C$  entre a placa e a terra é dada pela equação 2.6

$$C = C_1 + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b} \quad (2.6)$$

Para a detecção de ocupação é necessária apenas a medição da capacidade entre a placa de teste (sonda) e a placa de referência (terra) [13].

### Sensor micro-ondas

Os sensores micro-ondas são sensores ativos que respondem aos sinais eletromagnéticos de micro-ondas refletidos pelos objetos. Apresentam-se como uma boa alternativa quando há necessidade de cobrir grandes áreas e operar sob a influência de condições atmosféricas severas, como o vento, o ruído acústico, neblina, poeira, humidade, etc.

O princípio de funcionamento é baseado na radiação de ondas eletromagnéticas de radiofrequência em direção à área protegida. Estas ondas são refletidas pelos objetos, sendo depois recebidas, amplificadas e analisadas. O tempo decorrido entre o sinal emitido e o sinal refletido permite medir a distância até ao objeto, enquanto que o deslocamento na frequência é usado para medir a sua velocidade.

Os sensores micro-ondas pertencem à classe dos dispositivos conhecidos como radares.

São constituídos por um oscilador, uma antena e um díodo Schottky<sup>1</sup>. O oscilador produz ondas eletromagnéticas, das quais, uma parte é enviada pela antena em direção ao objeto e outra parte, menor, é acoplada ao díodo servindo como sinal de referência. O objeto reflete algumas ondas que regressam à antena e esta, por sua vez, envia-as em direção ao díodo.

<sup>1</sup>É um díodo especial em que uma das junções é um metal em vez de um semiconductor dopado.



O efeito Doppler é a base de operação de sensores de micro-ondas e ultrassônicos, sendo estes, detetores de movimento verdadeiro porque este efeito é responsivo apenas para alvos móveis.

Uma antena transmite uma frequência  $f_o$  que é definida pelo comprimento de onda  $\lambda_o$  como:

$$f_o = \frac{c_o}{\lambda_o} \quad (2.7)$$

onde  $c_o$  é a velocidade da luz no ar. Quando o objeto se move, com uma velocidade  $v$ , em direção à antena, a frequência da radiação refletida  $f_r$  vai mudar. Se o objeto se afasta, a frequência refletida diminui e se se aproxima, aumenta. Este é o efeito Doppler.

Devido ao efeito Doppler, as ondas refletidas têm uma frequência  $f_r$ . O díodo combina as frequências irradiadas e refletidas ( $\Delta f = f_o - f_r$ ) e produz um sinal na saída cuja frequência é proporcional à velocidade de um alvo em movimento, como pode ser observado na Figura 2.9. A frequência de Doppler é, então, dada pela fórmula 2.8.

$$\Delta f \approx \frac{v}{\lambda_o} \cos \theta \quad (2.8)$$

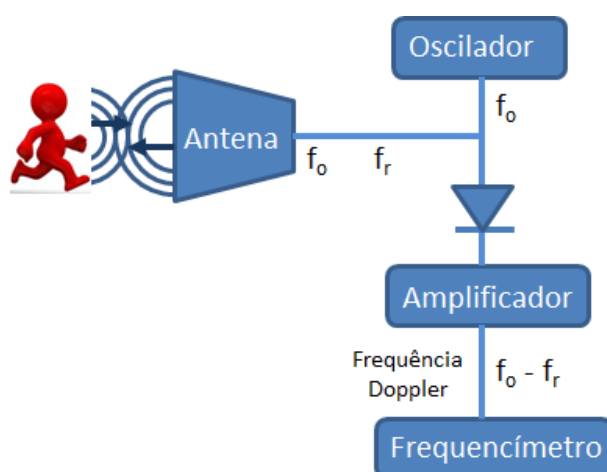


Figura 2.9: Diagrama de medição da frequência Doppler do sensor de micro-ondas [13]

Mesmo quando a frequência de Doppler é próxima de zero, para objetos que se movem em ângulos de  $90^\circ$ , há uma mudança abrupta na amplitude do sinal recebido e, geralmente, isso é suficiente para acionar a resposta do sensor [13].

### Sensor ultrassons

Os sensores ultrassons têm por base a transmissão de ondas acústicas em direção a um objeto e recepção das ondas refletidas. As frequências destas ondas localizam-se fora da capacidade auditiva humana, isto é, acima dos 20 kHz, mas são perceptíveis por alguns animais.

Uma parte da energia das ondas radiadas sobre um objeto é refletida e, se o objeto está em movimento, a frequência do comprimento de onda refletida vai ser diferente das ondas transmitidas - efeito Doppler.

Uma distância  $L_o$  para o objeto, ilustrada na Figura 2.10, pode ser calculada através da velocidade  $v$  das ondas sonoras no meio e o ângulo  $\theta$ , pela equação 2.9:

$$L_o = \frac{v t \cos\theta}{2} \quad (2.9)$$

onde  $t$  é o tempo que as ondas sonoras demoram para ir até ao objeto e voltar para o recetor. Quando a distância entre o transmissor e o recetor é menor comparativamente com a distância para o objeto, então  $\cos\theta \approx 1$ .

As ondas sonoras têm vantagem sobre as micro-ondas pois propagam-se com a velocidade do som, que é muito menor do que a velocidade da luz, que é aquela a que se propagam as ondas eletromagnéticas. Assim sendo, como o tempo  $t$  é maior torna-se mais fácil a sua medição. Por outro lado, têm a desvantagem de serem afetados pela temperatura devido à velocidade do som depender dela.

A geração de ondas sonoras implica existir movimento de uma superfície, que vai criar compressão e expansão do meio. Um dispositivo de excitação, que permite gerar movimento superficial na faixa ultrassom, é o transdutor piezoelétrico, que converte diretamente a energia elétrica em energia mecânica.

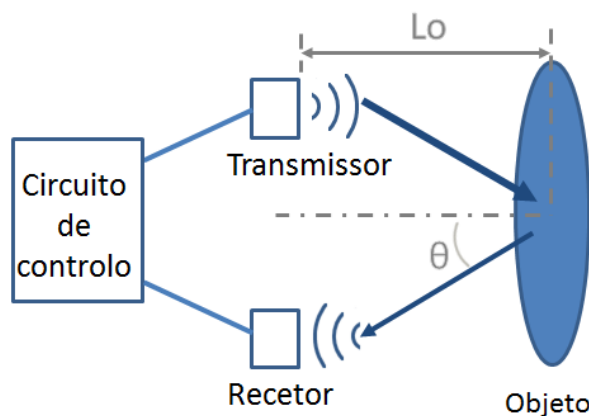


Figura 2.10: Funcionamento de um sensor ultrassom [13]

Estes sensores não são afetados por ruídos ambientais, vibrações e radiações infravermelha e eletromagnética [13].

### Sensor fotoelétrico

Os sensores fotoelétricos são detetores de presença, caracterizados por terem uma resposta rápida.

São compostos por dois componentes principais: uma fonte de luz, normalmente um LED de infravermelhos, e um fotodetector. O fotodetector (recetor) deteta o feixe de luz vindo do LED (emissor) e responde à variação da intensidade de luz recebida convertendo-a numa tensão elétrica  $V_o$ . Quando um objeto entra na área protegida reflete ou absorve mais luz, alterando o sinal anterior ( $V_o$ ) com um incremento  $\Delta V$ . Este incremento vai ser detetado por um detetador de limiar do circuito de controlo.

Normalmente a luz emitida é modulada por impulsos, o que permite uma maior sensibilidade no ajuste entre o sinal de luz refletida pela luz ambiente, que é um sinal DC, e o do LED.

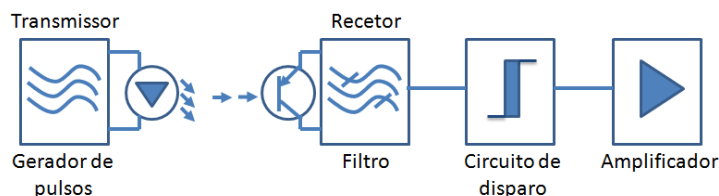


Figura 2.11: Funcionamento de um sensor fotoelétrico [14]

Este sensor não nos permite medir a distância a que está o objeto pois o valor  $\Delta V$  depende de fatores como, por exemplo, o tamanho do objeto, a sua forma, o material de que composto e o acabamento superficial.

Ambientes com poeiras e humidade podem provocar uma atenuação no sinal [13].

## Sensor Infravermelho Passivo (PIR)

Os sensores PIR são usados, principalmente, para deteção de movimento de pessoas e animais. São sensíveis à radiação infravermelha num intervalo espectral de, aproximadamente, 4 a 20  $\mu m$ , faixa onde se situa a temperatura do corpo humano.

A Figura 2.12 mostra os principais constituintes de um detetador PIR. O elemento sensor piroelétrico gera uma carga elétrica em resposta a um fluxo de energia térmica e as lentes de *Fresnel* são elementos óticos com superfícies progressivas.

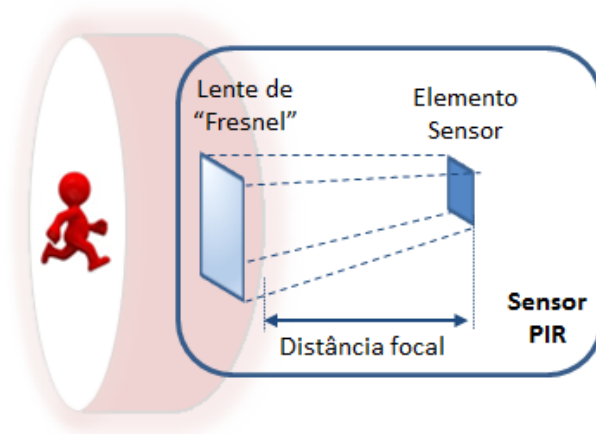


Figura 2.12: Sensor de movimento PIR [13]

As lentes de *Fresnel* são as mais utilizadas porque são baratas, moldáveis e, além da focagem, protegem o interior do sensor da humidade e poluentes exteriores. O seu conceito, ilustrado na Figura 2.13, é basicamente o corte da lente em vários anéis concêntricos, que refratam os raios incidentes no foco  $F$ , definido pela equação 2.10:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.10)$$

onde  $f$  é a distância focal,  $n$  é o índice de refração da lente e  $r_1$  e  $r_2$  são os raios dos anéis da lente.

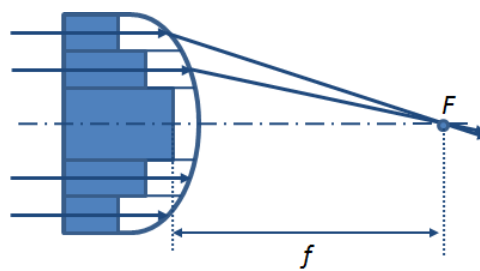


Figura 2.13: Lente de Fresnel [13]

A lente de *Fresnel* apresenta vantagens relativamente às lentes convencionais, tais como, baixo peso, tamanho fino e menor perda de absorção do fluxo de luz. Esta última é a principal razão pela qual o polímero *Fresnel* de baixo custo é usado, quase exclusivamente, nos detetores de movimento infravermelhos [13].

## 2.7 Disposições finais

Neste capítulo pode verificar-se que a iluminação artificial teve uma evolução mais rápida a partir da descoberta da lâmpada incandescente. Passou por várias tecnologias até chegar ao LED, cuja utilização em sistemas de iluminação tem vindo a crescer exponencialmente. Este veio revolucionar o conceito dos sistemas de iluminação tradicionais com a sua versatilidade, eficiência energética e economia.

Nos sistemas de iluminação inteligentes, além do LED são usados outros dispositivos que complementam ou acrescentam benefícios, como o driver e os sensores, permitindo controlo, eficiência e conforto.



# Capítulo 3

## Projeto do circuito

Neste capítulo é feita a descrição dos dispositivos e respetiva função que cada um desempenha num sistema inteligente de iluminação, cujo diagrama de blocos se pode ver na Figura 3.1.

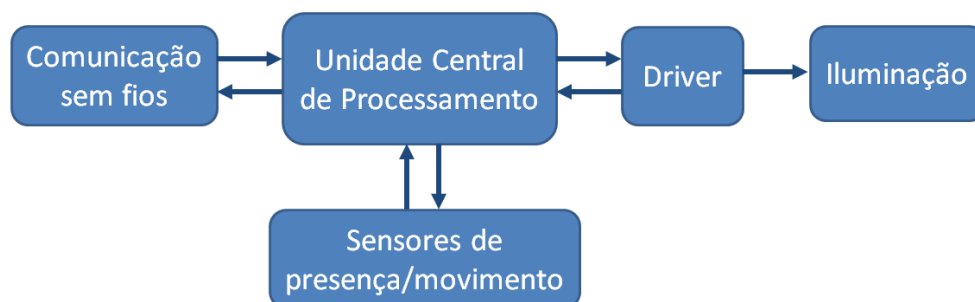


Figura 3.1: Diagrama de blocos de um sistema inteligente de iluminação

Inicialmente, são abordados os componentes que integram o *gateway* e o nó-sensor, as ligações elétricas e forma como se processa a comunicação entre eles. É, ainda, apresentado o circuito de processamento de sinal proveniente do sensor micro-ondas, que vai permitir a sua análise e controlo.

De seguida, são caracterizados o driver e a luminária que integram o trabalho, analisando a sua constituição e especificações.

Por fim, é apresentada a implementação do sistema proposto, assim como as considerações teóricas e práticas do funcionamento dos vários constituintes. No final será feita uma breve discussão.

### 3.1 Internet of Your Things

*MySensors* é uma plataforma *open source* que viabiliza projetos onde os sensores e os atuadores comunicam entre si através de ligações sem fios. Tem a sua origem no amplamente conhecido *IoT* (*Internet of Things*), onde tudo está conectado e tudo é controlado pelo utilizador.

O Arduino funciona como sendo o cérebro, e a comunicação entre os sensores e recolha de dados faz-se através do módulo nRF24L01, que integra a transmissão e a receção.

A comunicação rádio tem uma topologia em árvore, como se pode ver na Figura 3.2.

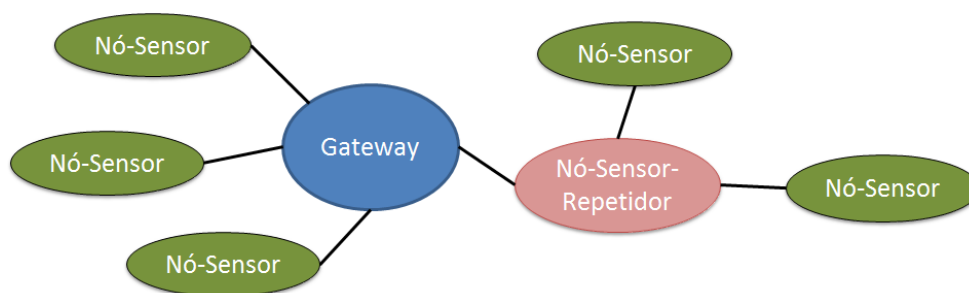


Figura 3.2: Topologia da rede

Os nós-sensores e o *gateway* comunicam diretamente entre si, mas são permitidos nós-sensores-repetidores se a transmissão tiver que ser feita para uma distância maior.

O nó-sensor lê, continuamente, o estado dos sensores que estão ligados a ele e envia a informação desses sensores, através da rede de rádio, para o *gateway*. Os nós-sensores também podem enviar mensagens diretamente entre si sem que tenham que passar pelo *gateway*. O *gateway*, por sua vez, envia a informação para o controlador. O nó-sensor-repetidor tem a função de reencaminhar as mensagens dos nós-sensores ligados a ele.

A rede com topologia em árvore é robusta. Se houver alguma alteração nas suas ligações como, por exemplo, uma mudança de localização de um nó-sensor, a rede tem a capacidade de se auto-reorganizar. Os novos nós-sensores, logo que são ligados, procuram automaticamente o caminho mais curto para o *gateway*.

Cada nó-sensor possui um endereço único que é usado para enviar e receber mensagens. O *gateway* e os nós-sensores-repetidores constroem, automaticamente, uma tabela de encaminhamento de acordo com as mensagens recebidas.

Uma rede rádio pode ser constituída por 254 nós-sensores diferentes e cada um deles pode reportar informação de 254 sensores. Assim sendo, teoricamente, uma rede rádio pode gerir informação de 64516 sensores. Se ainda assim não for suficiente, é possível implementar outra rede rádio paralela num canal diferente, havendo para esse fim, 126 canais disponíveis.



O *gateway* na maioria das vezes está ligado a um controlador. Este tem como funções, por exemplo, o envio dos parâmetros de configuração aos sensores da rede, o controlo dos dados recentes reportados por sensores e atuadores, a execução de cenários ou agendamentos pré-definidos. O *gateway* funciona como uma ponte entre o controlador e a rede rádio, traduzindo as mensagens rádio para um protocolo que seja compreendido pelo controlador.

*MySensors* possibilita a construção de três tipos de *gateways*:

1. *SerialGateway* - conecta diretamente ao controlador através de uma porta USB.
2. *EthernetGateway* - conecta a uma rede Ethernet usada também pelo controlador.
3. *MQTTGateway* - conecta a uma rede Ethernet e expõe um MQTT *broker*<sup>1</sup>, que pode ser usado por controladores que ofereçam suporte MQTT [15].

### 3.1.1 Arduino Nano

O Arduino é uma plataforma de prototipagem *open source* que interage com o meio ambiente através de sensores e atuadores, como mostrado na Figura 3.3.

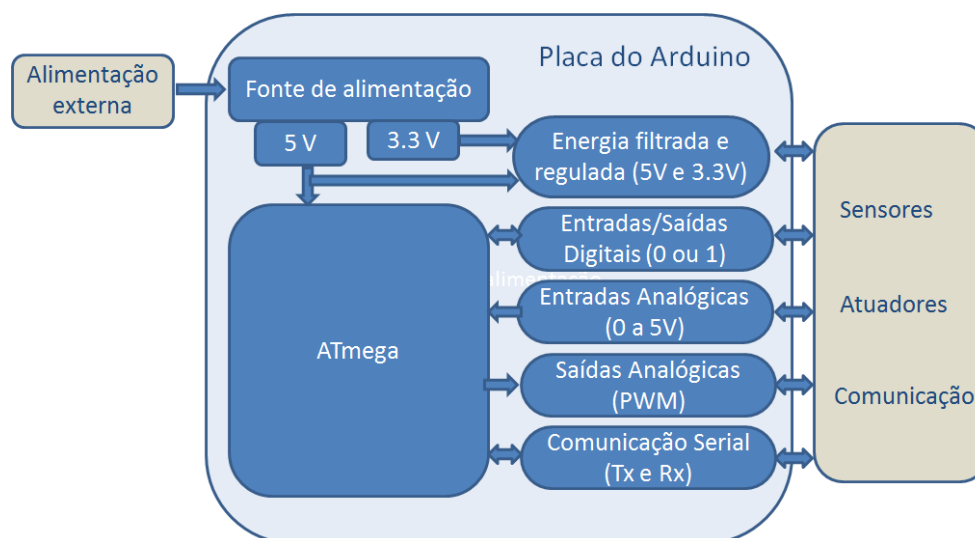


Figura 3.3: Diagrama de blocos de processamento [16]

O Arduino Nano possui um processador ATMEL ATmega328 de 8 bits, da família AVR com arquitetura RISC, programação IDE (*Integrated Development Environment*) baseada na linguagem C/C++ através de uma ligação a um computador. Depois de estar

<sup>1</sup>MQTT broker é o intermediário no processo de comunicação. Os clientes que desejam subscrever ou publicar informações, fazem-no através do broker

programado funciona de forma independente, isto é, pode ser usado sem necessidade de estar conectado a um computador. Torna possível, desta forma, a sua aplicação nos mais variados processos, sejam eles industriais ou outros.

Permite a comunicação com um computador, outro Arduino ou outros micro-controladores.

A sua alimentação pode ser feita através de uma conexão mini-USB ou por uma fonte externa.

O ATmega328 tem 32 KB de memória flash para armazenamento de código, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM. Possui 14 pinos digitais que podem ser usados tanto como entrada ou como saída, operando cada um a 5V e podendo fornecer ou receber 40 mA no máximo. Alguns destes pinos têm ainda funções específicas, tais como, comunicação série, interruptores externos, PWM e SPI. Dispõe ainda 8 entradas analógicas, cada uma com 10 bits de resolução [16].

### 3.1.2 Módulo nRF24L01

O módulo nRF24L01, da Nordic Semiconductor, que se encontra na Figura 3.4, viabiliza com bom desempenho a comunicação sem fios entre dispositivos como o Arduino, o Raspberry ou o BeagleBone. É compacto, de tamanho reduzido, baixo consumo de energia e muito eficiente.

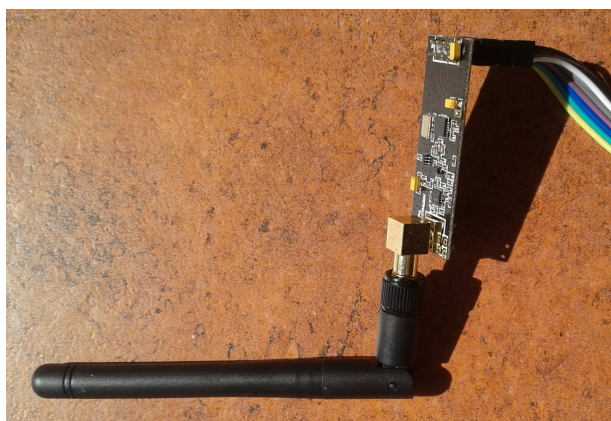


Figura 3.4: Módulo nRF24L01

Este módulo é um transceptor de rádio que opera na banda ISM, na frequência de 2.4 GHz, com uma velocidade de transmissão até 2 Mbps, com modulação GFSK, anti-interferência, verificação de erros por CRC, comunicação multi-ponto de 126 canais e controlo de fluxo.

Como se pode ver na Figura 3.5, é constituído por um sintetizador de frequência, um amplificador de potência, um oscilador de cristal, um desmodulador, um modulador e uma camada protocolar de banda base (*Enhanced ShockBurst*). *Enhanced ShockBurst* é um

método de manipulação de pacotes que torna a implementação da ligação bidirecional do protocolo mais fácil e eficiente, isto é, controla o reconhecimento de pacotes recebidos e retransmissões de pacotes perdidos, sem que haja a necessidade da intervenção de um micro-controlador.

A comunicação faz-se diretamente entre dispositivos através da *interface* SPI, tornando facilmente programáveis a potência de saída, os canais e a configuração do protocolo [17].

Na Tabela 3.1 encontra-se a descrição e respetiva função dos pinos do módulo nRF24L01.

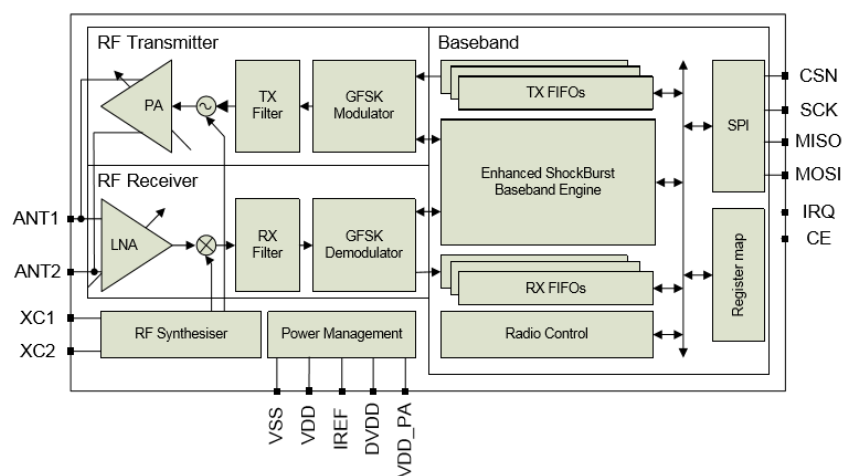


Figura 3.5: Diagrama de blocos do nRF24L01 [17]

NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO
CE	Chip Enable	Entrada Digital
CSN	SPI Chip Select	Entrada Digital
SCK	SPI Clock	Entrada Digital
MOSI	SPI Slave Data Input	Entrada Digital
MISO	SPI Slave Data Output	Saída Digital
IRQ	Maskable interrupt pin	Saída Digital
VDD	Power Supply	Potência
VSS	Ground	Potência
XC2	Crystal pin 2	Saída Analógica
XC1	Crystal pin 1	Entrada Analógica
VDD_PA	Power Supply Output	Potência de Saída
ANT1	Antenna interface 1	RF
ANT2	Antenna interface 2	RF
IREF	Reference current	Entrada Analógica
DVDD	Internal digital supply output	Potência de Saída

Tabela 3.1: Função dos pinos do nRF24L01 [17]

### 3.1.3 Controlador

A lista de controladores que suportam *MySensors* é vasta[15]. Neste trabalho vai ser usado o controlador *MyNodes.NET*, gratuito e *open source*, em que todos os dispositivos estão conectados por uma rede de comunicação sem fios.

Funciona tanto em ambiente Windows como Linux e também pode correr no Raspberry Pi.

A comunicação com a *gateway* é feita através de uma porta USB, uma LAN ou Wi-Fi.

Os dispositivos, reconhecidos automaticamente após a sua ligação, são facilmente configurados e controlados.

Possibilita a criação de painéis de controlo, acessíveis através da Internet em qualquer dispositivo com um *browser*, assim como o agendamento para controlo do dispositivo, a apresentação de gráficos e registos, onde pode ser visualizado o estado do dispositivo em tempo real ou alterações ocorridas (Figura 3.6) [18].

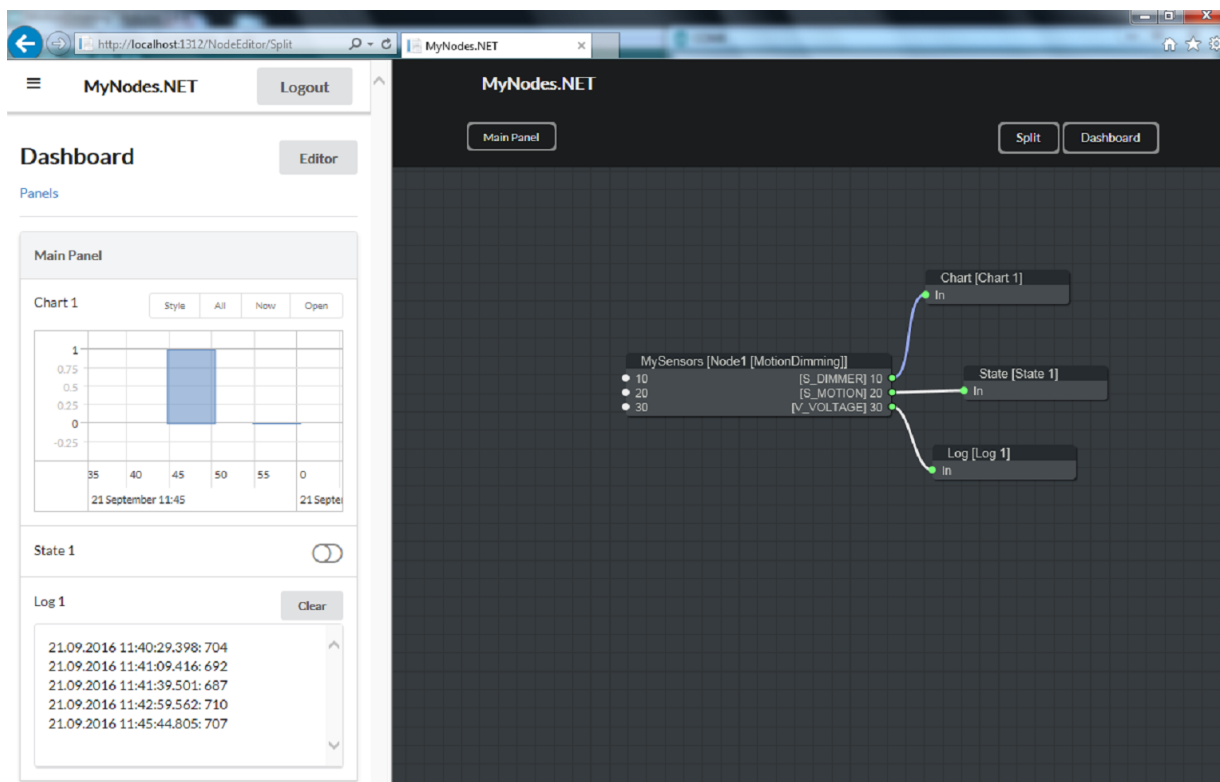


Figura 3.6: *Dashboard* [18]

O *MYSController* é uma ferramenta para fazer a depuração de erros, controlar e atualizar uma rede de nós *MySensors* [15].

Depois de selecionado o tipo de *gateway* (*Serial* ou *Ethernet*) que se pretende usar e conectar, podem ser visualizados o *gateway* e os nós-sensores que compõem o circuito. São apresentadas, entre outras, mensagens de arranque do *gateway* e dos nós-sensores.

Permite, por exemplo, definir o valor máximo de *dimming* pretendido, ligar ou desligar a luz, ativar ou desativar o sensor PIR e verificar que valor tem a tensão proveniente do sensor micro-ondas. Em resumo, permite fazer a simulação e recolha de dados, como se pode ver na Figura 3.7.

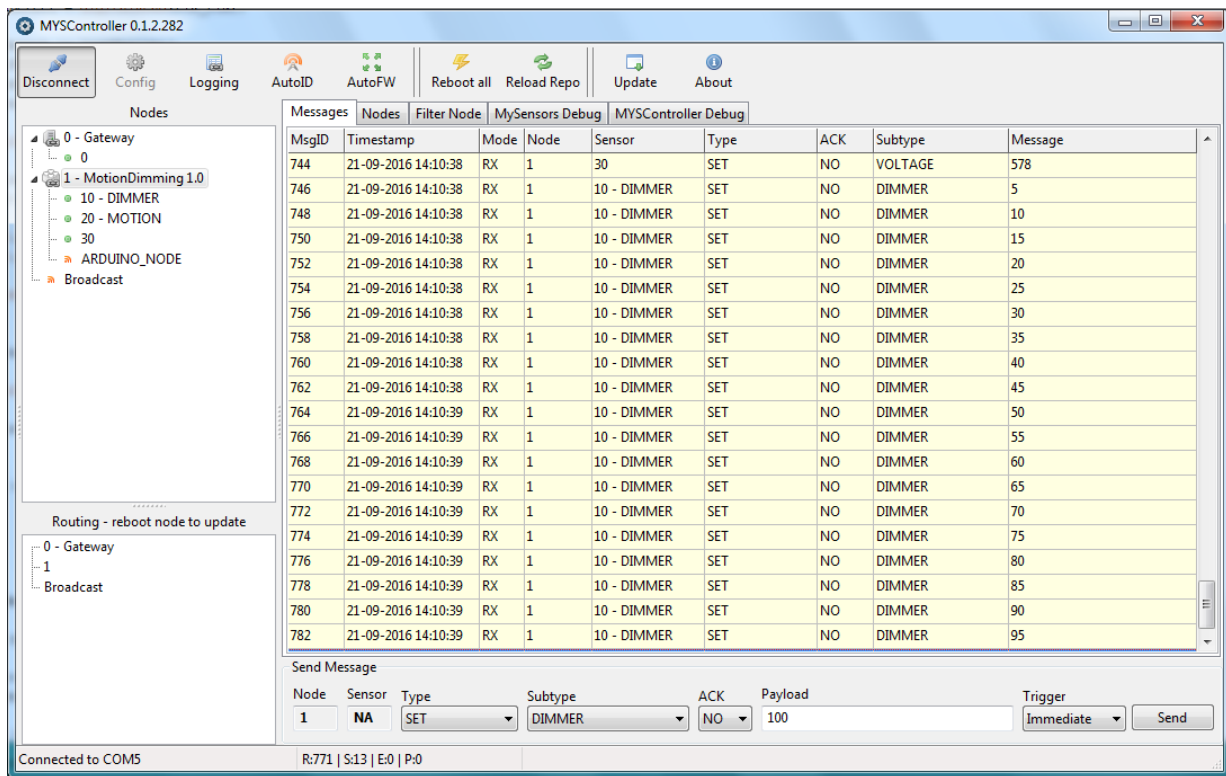


Figura 3.7: MYSController [15]

### 3.1.4 Sensores

O sensor de movimento PIR (Figura 3.8) deteta qualquer mudança captada no infravermelho quando algo se movimenta. Quando isso acontece, a sua saída digital fica a 5 VDC, sinal que vai ser lido pelo Arduino Nano.

A sua alimentação pode ser feita com 3.3 VDC ou 5 VDC, a comunicação é feita através de um único bit de saída (*HIGH/LOW*) e tem temperatura de operação de 0 a 50°C.

Requer um tempo de calibração, de 10 a 60 segundos, para um funcionamento adequado e permite seleccionar se a saída vai ser contínua ou por impulsos [19].

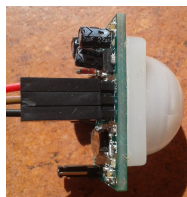


Figura 3.8: Sensor PIR

O MDU1750 (Figura 3.9), da Microwave Solutions, é um sensor micro-ondas otimizado para baixo consumo, baixo custo, com um alcance até 30 m e detecta movimento por efeito Doppler.

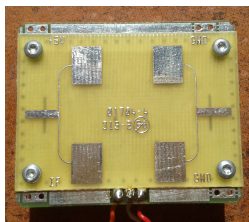


Figura 3.9: Sensor micro-ondas

O sensor contém um oscilador que viabiliza um sinal estável em amplitude e frequência. A sua energia é filtrada e dividida em dois sinais de amplitude aproximadamente iguais. Um destes sinais é filtrado novamente e vai alimentar as antenas de transmissão, o outro sinal é encaminhado para a entrada do oscilador local do misturador, que vai fornecer o sinal de referência para comparação com o sinal refletido pelo objeto. O sinal refletido é recolhido pelas antenas de receção e acoplado à entrada RF do misturador, onde é comparado com o sinal transmitido. A frequência Doppler é então extraída e disponibilizada na saída IF para processamento de sinal.

O esquema de deteção do sensor micro-ondas, como se pode ver na Figura 3.10, é composto pelo respetivo sensor, circuito amplificador e processador digital de sinal, que conduzirá à decisão.

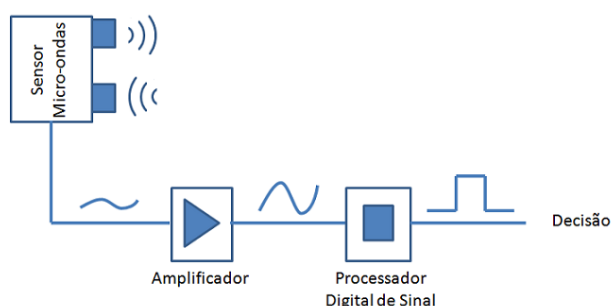


Figura 3.10: Esquema de deteção do sensor micro-ondas

O circuito de processamento de sinal, apresentado na Figura 3.11, amplifica o sinal e analisa o seu espectro de frequência e, se o sinal estiver acima do limiar e o espectro de frequência requerido, gera um sinal de saída [20].

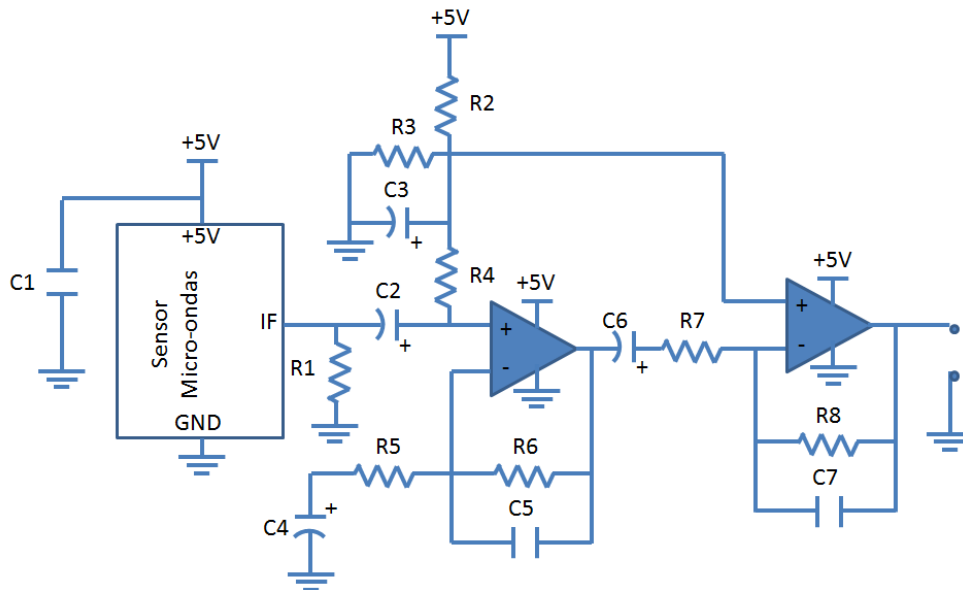


Figura 3.11: Circuito de amplificação do sensor micro-ondas em onda contínua [2]

## 3.2 Driver

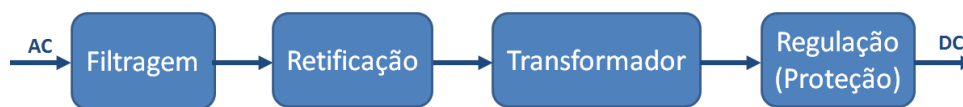


Figura 3.12: Diagrama de blocos do LED driver [21]

O *driver* foi concebido para tornar eficientes, com um desempenho ideal, as aplicações de iluminação LED. É uma fonte de energia com saídas compatíveis com as características elétricas dos LEDs.

A sua função é regular a potência do LED e responder às suas diferentes necessidades, assegurando uma quantidade de energia constante compatível as suas propriedades, que se vão alterando com a temperatura.

Os mais comuns caracterizam-se pela corrente de saída, tensão de alimentação, tensão de saída, frequência máxima de comutação e podem oferecer *dimming* analógico ou por PWM.

O *driver* RCOB-A (Figura 3.13), conversor AC/DC, fornece uma tensão compreendida entre 6 - 44 VDC da alimentação da rede de 230 VAC, tem uma eficiência de operação acima dos 84%, correção do fator de potência, proteção contra curto-circuito, sobretensão e circuito-aberto. A corrente de saída é regulável entre 0 - 100% com uma tensão de controlo externa de 0 - 10 V.

Na Tabela 3.2 podem ser observadas as especificações para o funcionamento de operação à temperatura ambiente de 25°C, tensão nominal e carga nominal [21].



CARACTERÍSTICAS (Ta=25°C, Tensão nominal, carga nominal)			
Parâmetro	Min	Típico	Max
Tensão de entrada	198 VAC	230 VAC	264 VAC
Tensão de saída	6 VDC		44 VDC
Frequência de entrada	47 Hz	50 Hz	63 Hz
Fator de Potência		0.9	

Tabela 3.2: Características do LED Driver [21]



Figura 3.13: LED driver

### 3.3 Luminária

A luminária de LEDs usada neste projeto é a Gladiator, fabricada pela THORN Lighting. As características mais relevantes são a sua robustez, resistência à corrosão capaz de suportar os ambientes mais severos, com IP66 e adequada para ambientes com temperaturas até 40°C.

É composta por dois módulos com 22 LEDs e um difusor, que garante a homogeneidade na distribuição da luz.

Foi usado o módulo STARK-LLE24-280-1250-840-CLA [22], com um consumo de potência de 11.8 W, fluxo luminoso de 1360 lm, tempo de vida de 50000 horas, temperatura de cor de 4000 K e uma eficiência acima de 122 lm/W. Este módulo foi concebido para funcionar com um dissipador de calor e, quanto mais reduzida por arrefecimento for a temperatura de funcionamento, maior será a sua vida útil do LEDs.

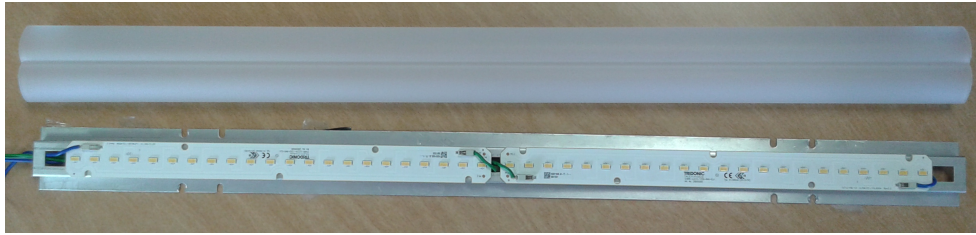


Figura 3.14: Módulo STARK-LLE24-280-1250-840-CLA e difusor

O difusor é feito em policarbonato, resistente a impactos até 4xIK10 (80 Joules).

Tem um sistema de bloqueio de segurança (SLS) que impede o acesso ao seu interior sem a chave correta, dificultando os atos de vandalismo [23].

### 3.4 Sistema inteligente de iluminação

O sistema é composto por dois Arduino Nano, que comunicam entre si através de dois módulos nRF24L01, um sensor de movimento PIR, um sensor de movimento micro-ondas, um driver e uma luminária LED, como se pode ver na Figura 3.15.

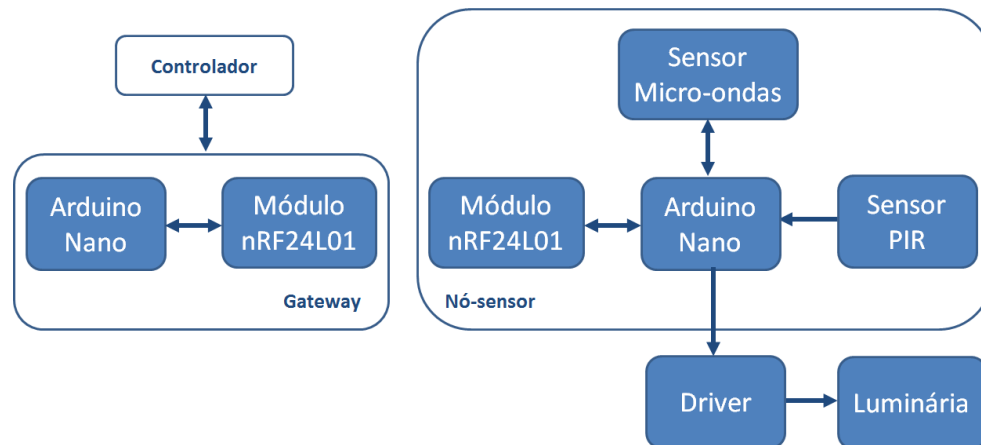


Figura 3.15: Diagrama de blocos

O *gateway*, que vai ligar diretamente ao controlador através de uma porta USB, constrói tabelas de encaminhamento na EEPROM mantendo, desta forma, o controlo da topologia de rede e viabilizando o encaminhamento das mensagens para os nós-sensores. O código fonte do *gateway*, de software livre, *SerialGateway.ino* e *GatewayUtil.h*[1], é disponibilizado em *MySensors Arduino Library* e encontra-se integralmente no anexo A.1.2.

O Arduino Nano apresenta um tamanho e disposição de pinos ideal para ser acoplado à placa branca.

Inicialmente, foram feitas as ligações entre um Arduino Nano e um rádio nRF24L01 para a construção do *gateway*, como se encontra ilustrado na Figura 3.16.

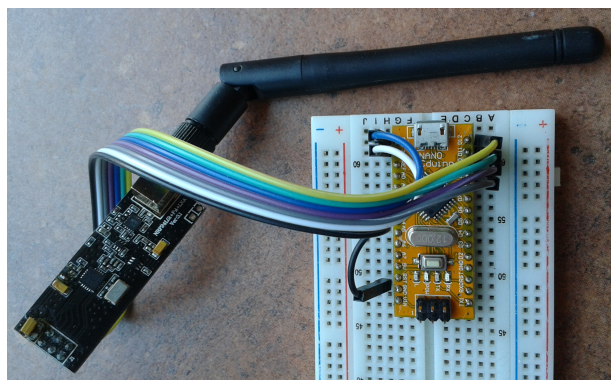


Figura 3.16: Gateway

Na Tabela 3.3 estão discriminados os pinos que intervêm nas ligações entre o Arduino Nano e o radio nRF24L01. Estas ligações são usadas na construção do *gateway* e do nó-sensor. Os pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) do Arduino Nano suportam a comunicação SPI.

ARDUINO NANO	nRF24L01+
GND	GND
3.3V	VCC
9	CE
10	CSN
13	SCK
11	MOSI
12	MISO

Tabela 3.3: Pinos de ligação do *gateway*

O nó-sensor é composto por um Arduino Nano, um rádio nRF24L01 e pelos sensores de movimento PIR e micro-ondas MDU1750. As ligações entre o Arduino Nano e o rádio nRF24L01 são iguais às ligações do *gateway*, como referido anteriormente. O código fonte do nó-sensor, *MotionDimming.ino*, encontra-se no anexo A.1.1.

O detetor PIR vai informar o Arduino Nano, através da entrada digital D3, quando existe movimento na zona circundante. Quando isso se verifica, o Arduino Nano vai alimentar a 5 V, através da saída digital D7, o sensor micro-ondas. Por sua vez, este vai confirmar se é realmente uma pessoa que está em movimento ou, então, se é falso alarme e foi apenas uma corrente de ar quente. O movimento é detetado por efeito de Doppler e o

sinal é colocado no terminal IF do sensor micro-ondas. A magnitude deste sinal é proporcional à reflexão da energia transmitida, na ordem dos microvolt ( $\mu\text{V}$ ). Para a amplificar, para um nível processável, é habitualmente ligado um amplificador de ganho elevado ao terminal IF. Quando é feita a confirmação de existência de movimento, o Arduino Nano é informado pelo sensor através da sua entrada analógica A0. O movimento humano gera uma frequência de Doppler abaixo de 100 Hz.

Na Figura 3.17 pode observar-se o *gateway* e o nó-sensor.

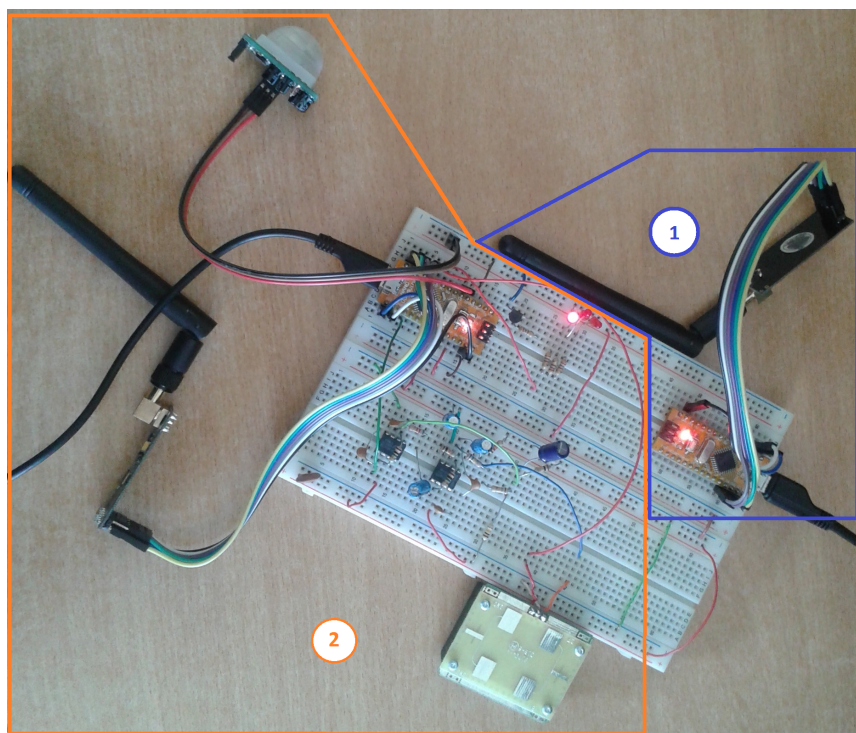


Figura 3.17: Circuito do projeto. 1 - Gateway. 2 - Nó-sensor.

O *driver* regula a corrente de saída com uma tensão de controlo de 0 a 10 V e as saídas digitais do Arduino Nano operam a 5 V. Para que possa ser aproveitado, na totalidade, o intervalo da tensão de controlo do *driver* é necessário aumentar a tensão de saída digital do Arduino. Para isso vai ser usada uma fonte de alimentação que vai fornecer os 10 V necessários, um transistor NPN e duas resistências, circuito que pode ser visto na Figura 3.18.

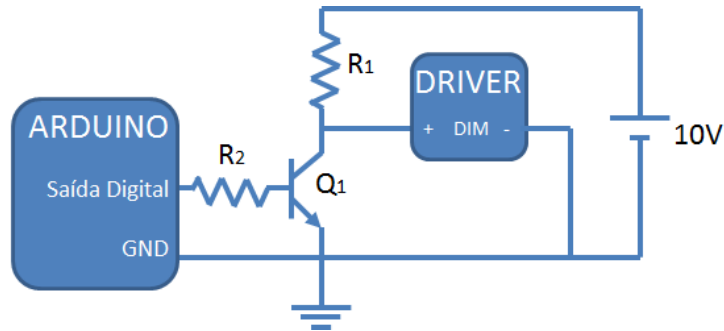


Figura 3.18: Aumento da tensão de saída do Arduino

A corrente no emissor  $I_e$  vai ser igual à soma das correntes do coletor  $I_c$  e da base  $I_b$ :

$$I_e = I_c + I_b$$

mas, sendo  $I_c = \beta \cdot I_b$ :

$$I_e = I_b(\beta + 1)$$

Dado que o  $\beta \gg 1$ , o termo  $(\beta + 1)$  pode ser aproximado para  $\beta$  e considerar as correntes do emissor e do coletor aproximadamente iguais (3.1).

$$I_c \simeq I_e \tag{3.1}$$

Saída digital do Arduino: 5 V, quando em nível lógico alto, 0 V, quando em nível lógico baixo.

$R_1$  vai ter como função limitar a corrente do coletor:

$$R_1 = \frac{V_{fonte}}{I_{Cmax}} \tag{3.2}$$

$R_2$  limita a corrente de base, responsável por controlar a corrente flui do coletor para o emissor.

$$R_{2max} = \frac{V_{fonte} - V_{BE}}{I_{bmin}} \tag{3.3}$$

O *driver* vai alimentar a luminária LED, cujo funcionamento vai estar de acordo com o gráfico apresentado na Figura 3.19.

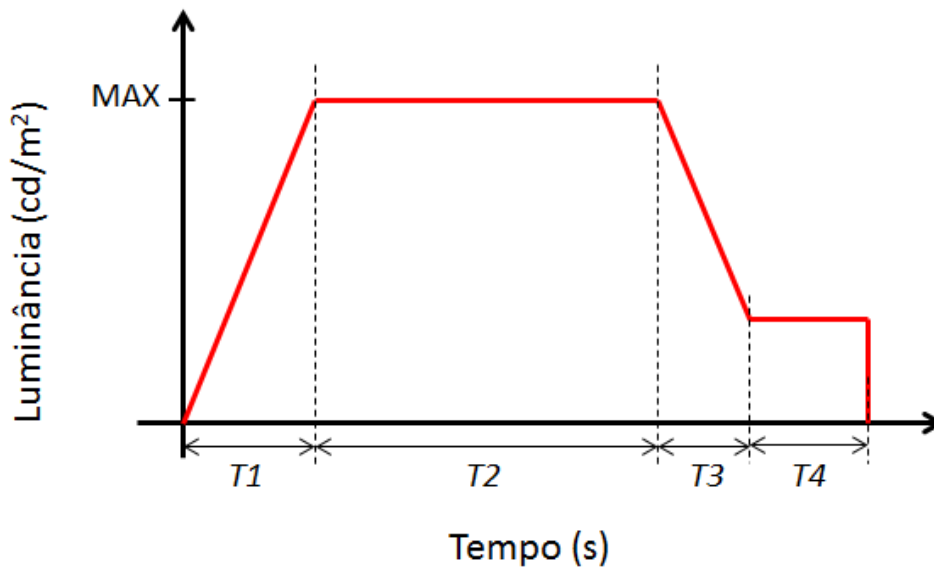


Figura 3.19: Gráfico de controlo de *dimming*

T1 corresponde ao tempo que demora a atingir o valor máximo de luminância (MAX) quando a presença de uma pessoa é detetada. Durante este tempo a luminância aumenta progressivamente com o valor programado dos impulsos do sinal PWM. T2 é o tempo durante o qual o valor da luminância se mantém constante no seu valor máximo. O cálculo deste valor será em função da distância a ser percorrida e a velocidade com que é feita, para que a deslocação possa ser feita em segurança e conforto. T3 mostra o tempo em que há um decréscimo gradual da luminância até atingir o valor mínimo (MIN). Este valor existe para que a extinção da iluminação não seja brusca, pois isso tornar-se-ia visualmente violento. Finalmente, T4 indica o tempo em que a luminância se mantém no valor mínimo para depois, findo este, a luminária desligar-se completamente. Os valores de luminância são programáveis no intervalo de 0 a 100%.

### 3.5 Discussão

Inicialmente, foi descrita a composição do *gateway* e do nó-sensor, a comunicação entre eles, a intervenção dos dispositivos no sistema e o software desenvolvido.

A topologia em árvore foi destacada pela sua robustez e facilidade de reorganização em caso de anomalia nas suas ligações. A rede rádio permite ter um vasto número de sensores e gerir a informação de cada um deles.

O controlador, aqui usado, permite a criação de painéis de controlo, acessíveis através da Internet em qualquer dispositivo com um *browser*, para alteração de parâmetros dos sensores, valores de *dimming*, ligar/desligar luminárias, assim como, a recolha e análise de dados em tempo real e execução de cenários ou agendamentos pré-definidos.

O Arduino desempenha um papel importante em todo o sistema, pois interage com o meio ambiente através de sensores e atuadores. Optou-se pelo Arduino Nano pelo seu tamanho e disposição dos pinos, que se ajusta perfeitamente à placa branca.

O módulo nRF24L01, além de dispensar a necessidade de criação de espaço físico para passagem de cabos condutores, tem um baixo consumo de energia e é muito eficiente.

Para garantir a existência de movimento de uma pessoa, optou-se pela combinação dos sensores PIR e micro-ondas: o sensor PIR para detecção de movimento na zona circundante e o sensor micro-ondas para confirmação se esse movimento provém de uma pessoa ou é apenas uma corrente de ar quente.

Para obrigar que a corrente, que vai para a luminária, fosse constante, foi incluído um *driver* que, além disso, permite a variação do *dimming* e tem proteção contra sobretensões. Devido à tensão de controlo externa, que regula a corrente de saída, estar compreendida entre 0 e 10 V, foi necessário um circuito adicional por forma a aumentar a tensão da saída digital do Arduino Nano, que opera a 5 V.

Finalmente, foi apresentado e descrito o comportamento de *dimming* durante o tempo em que a luminária está ligada. A luminária em questão é igual à usada na Ponte do Crasto, no projeto LITES.





# Capítulo 4

## Implementação prática do sistema proposto

Neste capítulo são apresentados os resultados práticos obtidos, a sua análise e os problemas que foram surgindo na implementação prática do sistema de iluminação inteligente.

### 4.1 Resultados iniciais

#### 4.1.1 Sensor PIR

Com o objetivo de verificar o alcance de detecção, colocou-se o sensor de movimento PIR a uma altura de 2,15 m, esquematizado na Figura 4.1. Com o auxílio de marcações feitas no chão, com espaçamento de 50 cm para permitir uma melhor visualização, foi elaborado o mapa de detecção (Figura 4.2).

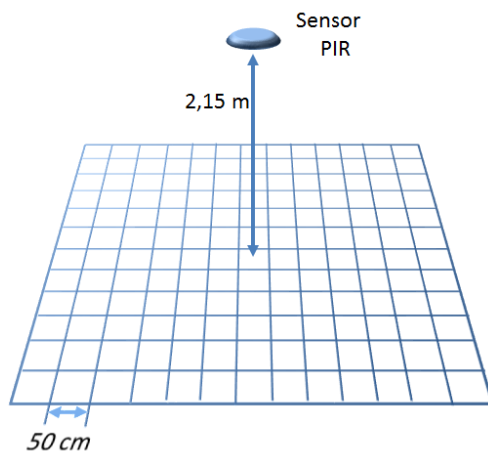


Figura 4.1: Esquema para medição do alcance de detecção do sensor PIR

Para a obtenção destes valores foram sendo dados passos, verificando se o movimento

ia sendo detetado ou não, e registados esses valores. No mapa a linha circunscreve o limite da zona de deteção do sensor.

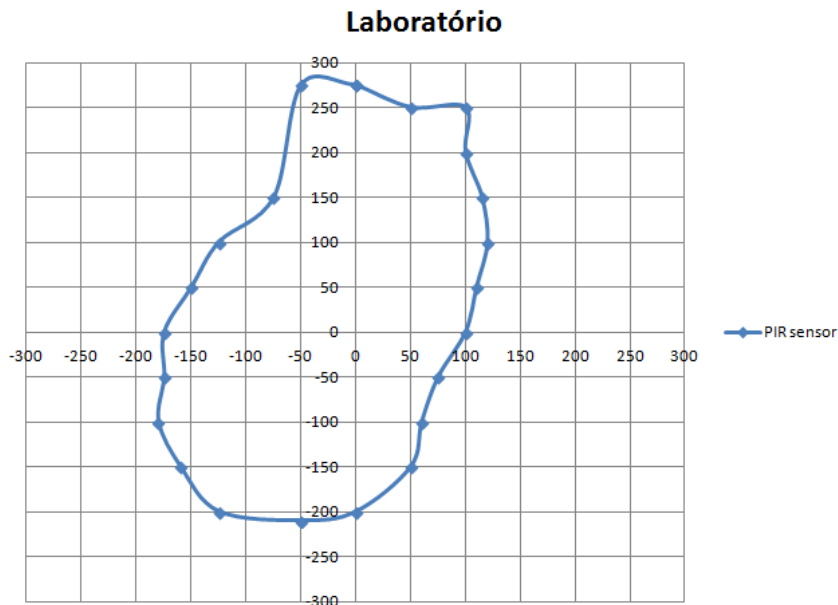


Figura 4.2: Deteção do sensor de movimento PIR

### 4.1.2 Sensor de micro-ondas

O sensor micro-ondas deteta movimento a uma distância de, aproximadamente, 30 m e deteta, inclusive, através das paredes. O sinal de deteção, que se obtém na saída do circuito de processamento de sinal (anteriormente apresentado na Figura 3.11) do sensor micro-ondas, é uma onda quadrada (Figura 4.3). A sua amplitude aumenta ou diminui, de acordo com a distância a que o corpo se movimenta em relação ao sensor, pelo o efeito Doppler.

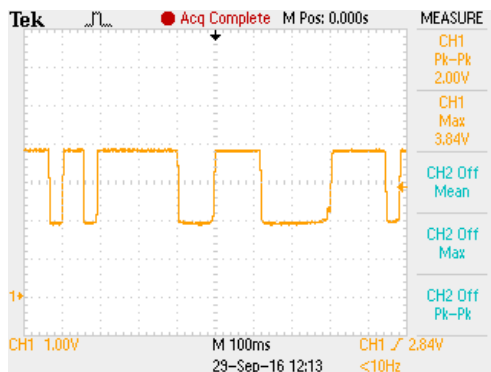


Figura 4.3: Sinal de deteção do sensor micro-ondas

### 4.1.3 Gateway e nó-sensor

Foram feitos testes à comunicação entre o *gateway* e o nó-sensor. O nó-sensor envia os valores do sinal digital do sensor PIR e do sinal analógico da tensão do sensor micro-ondas para o *gateway*. Quando estes sinais cumprem os critérios pré-definidos, o *gateway*, por sua vez, envia a informação do valor máximo de *dimming*, selecionado pelo utilizador, obtendo-se o gráfico da Figura 4.4 reproduzido pela luminária. Este gráfico foi obtido através da *dashboard* do controlador *MyNodes*.

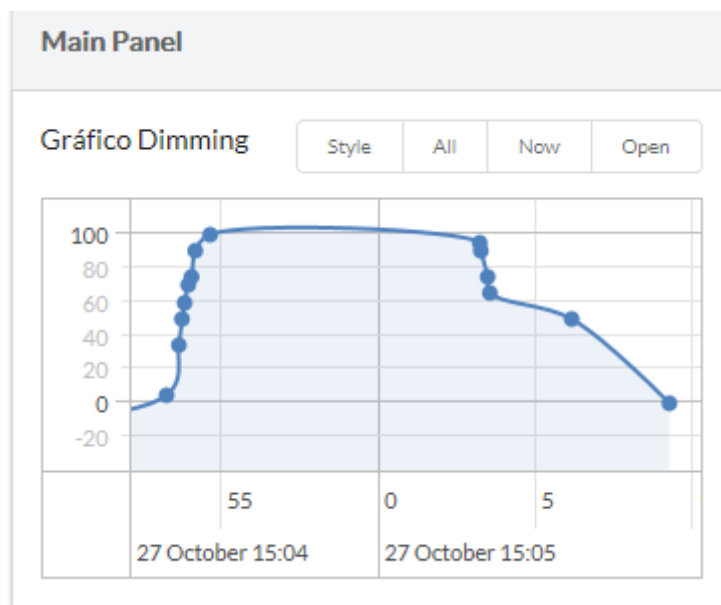


Figura 4.4: Gráfico da curva de dimming

Através do gráfico pode ver-se que, quando foi detetado movimento pelo sensor PIR e confirmado pelo sensor micro-ondas, houve um aumento progressivo da iluminância até atingir o valor máximo de *dimming* pré-definido, que neste caso foi de 100%. Vai manter-se neste valor durante o tempo considerado adequado ao deslocamento da pessoa e, findo esse tempo, diminui progressivamente para um valor mínimo, aqui pré-definido para 50%, durante o tempo em que a pessoa está a sair desta zona de deteção e entra na seguinte. Quando é atingido o final desse tempo, a luminária (ou conjunto de luminárias) é desligada. Este procedimento repete-se sempre que seja detetado movimento na zona protegida.

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Consumo energético

Foi medida a tensão no driver, na saída que alimenta a luminária, para verificação de que esta se encontra em conformidade com as especificações do *datasheet*[22] do módulo de LEDs.

Depois, percorrendo valores de *dimming* compreendidos entre 0 e 100%, foram medidos e registados os valores da corrente, que vai do *driver* para a luminária, e obteve-se o gráfico apresentado na Figura 4.5.

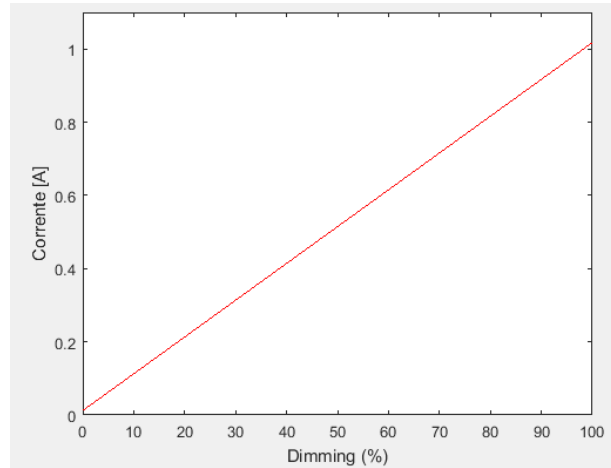


Figura 4.5: Corrente na luminária em função da variação do *dimming*

Pode constatar-se que este gráfico está de acordo com o gráfico da curva de *dimming* que se encontra no *datasheet*[21] do *driver*.

Com os valores medidos da tensão  $V$  e da corrente  $I$  foi calculada a potência consumida  $P$  por 4.1:

$$P = V \cdot I \quad (4.1)$$

cujo gráfico pode ser visto na Figura 4.6.

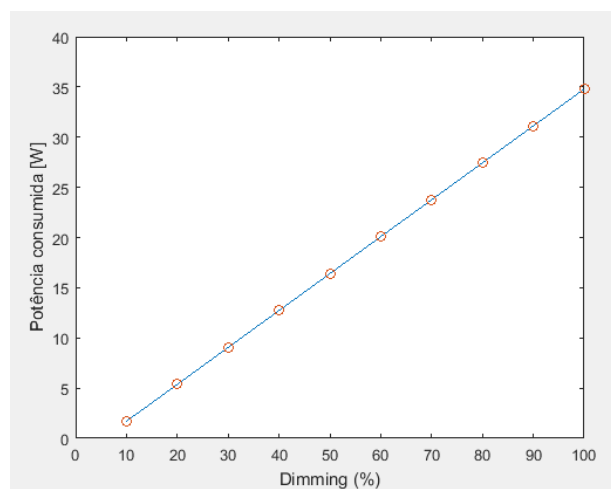


Figura 4.6: Potência consumida numa luminária

Considerando que o período noturno durante o inverno são 14 horas/dia e durante o verão são 8 horas/dia, a média de horas/dia em que vai haver necessidade de iluminação artificial é de 11 horas/dia. Tem que ser levado em conta, também, que haverá um período diário com maior fluxo de pessoas e que durante o resto do tempo esse fluxo será esporádico.

Assim, para o cenário em que não existem sensores, a luminária estará ligada durante 10 horas/dia. No trabalho aqui desenvolvido, com a inclusão dos sensores de movimento, considera-se que o tempo que a luminária estará em funcionamento será de 5 horas/dia.

O consumo de energia  $E$ , para os dois cenários, é calculado pela fórmula 4.2:

$$E = \frac{P \cdot t}{1000} \quad (4.2)$$

que resulta do consumo de potência  $P$  durante um tempo  $t$ , expresso em [kWh].

Para uma maior aproximação com a realidade, os valores do gráfico apresentado na Figura 4.7 são mensais. Aqui é possível verificar que existe uma substancial poupança atingida apenas com a inclusão destes sensores.

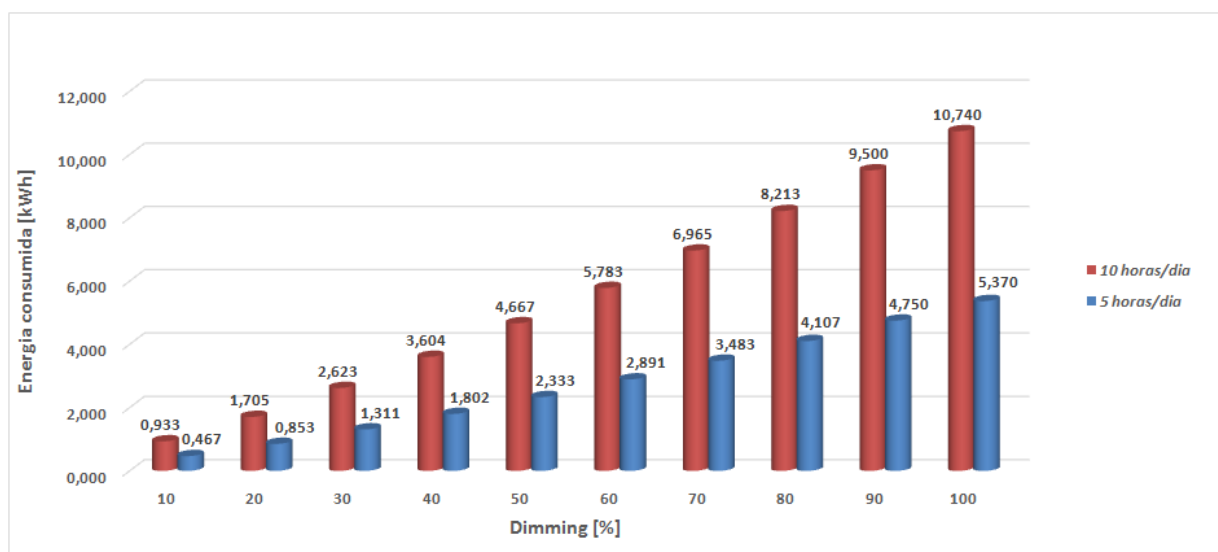


Figura 4.7: Comparação entre a energia consumida por uma luminária durante 5 horas e 10 horas

De acordo com o documento "Preços de Referência no Mercado Liberalizado de Energia Elétrica e Gás Natural em Portugal Continental", de 24 de outubro de 2016, publicado pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE)[24], o preço da energia por kWh na Tarifa Simples, praticado pela empresa GALP, é de 0,1660€. Isto perfaz um gasto mensal, por luminária para um *dimming* de 100%, para o pior cenário de 1,78€ e 0,89€ para o cenário no contexto deste trabalho. Daqui pode concluir-se que, com este sistema de iluminação, os gastos são reduzidos para metade.

## 4.2.2 Iluminância vs Dimming

No chão do laboratório fez-se uma grelha com espaçamento de 20 cm e a luminária foi instalada a 2,15 m de altura, centrada no ponto (0,0), como se pode ver na Figura 4.8. Depois foram medidos, com um luxímetro, os valores da iluminância para 10 valores de *dimming*.

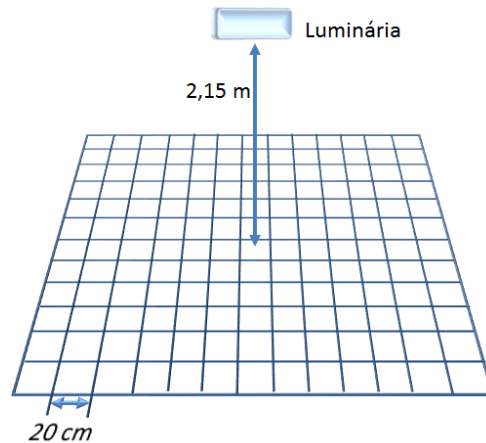


Figura 4.8: Esquema para medição da iluminância

Registaram-se apenas os valores do primeiro quadrante e depois foram espelhados para os restantes quadrantes. Isto torna-se possível devido às características do módulo de LEDs[22] que garante homogeneidade na distribuição da luz.

Na Figura 4.9 pode ver-se o gráfico da iluminância, com valores de 10 em 10 percentagens do dimming, para posições simétricas a partir do centro da sala.

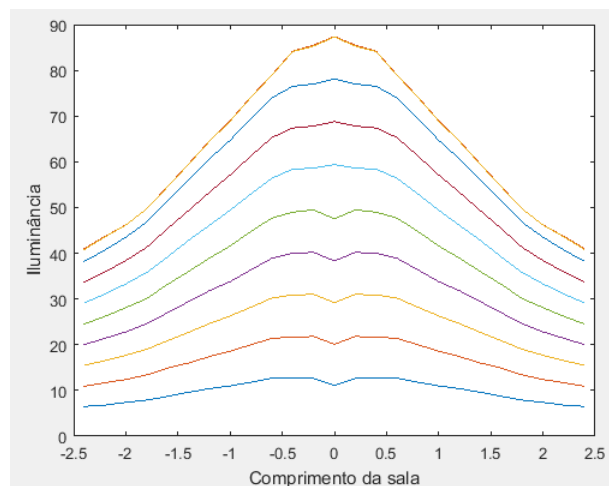


Figura 4.9: Iluminância para 10 percentagens de dimming

Para uma melhor visualização da diferença de luminosidade, foram seleccionados os

gráficos com as percentagens de *dimming* de 20%, 50%, 70% e 100% e apresentados na Figura 4.10. No entanto, na Figura A.1 do anexo A.2 podem ser observados os gráficos de todos os valores de *dimming*.

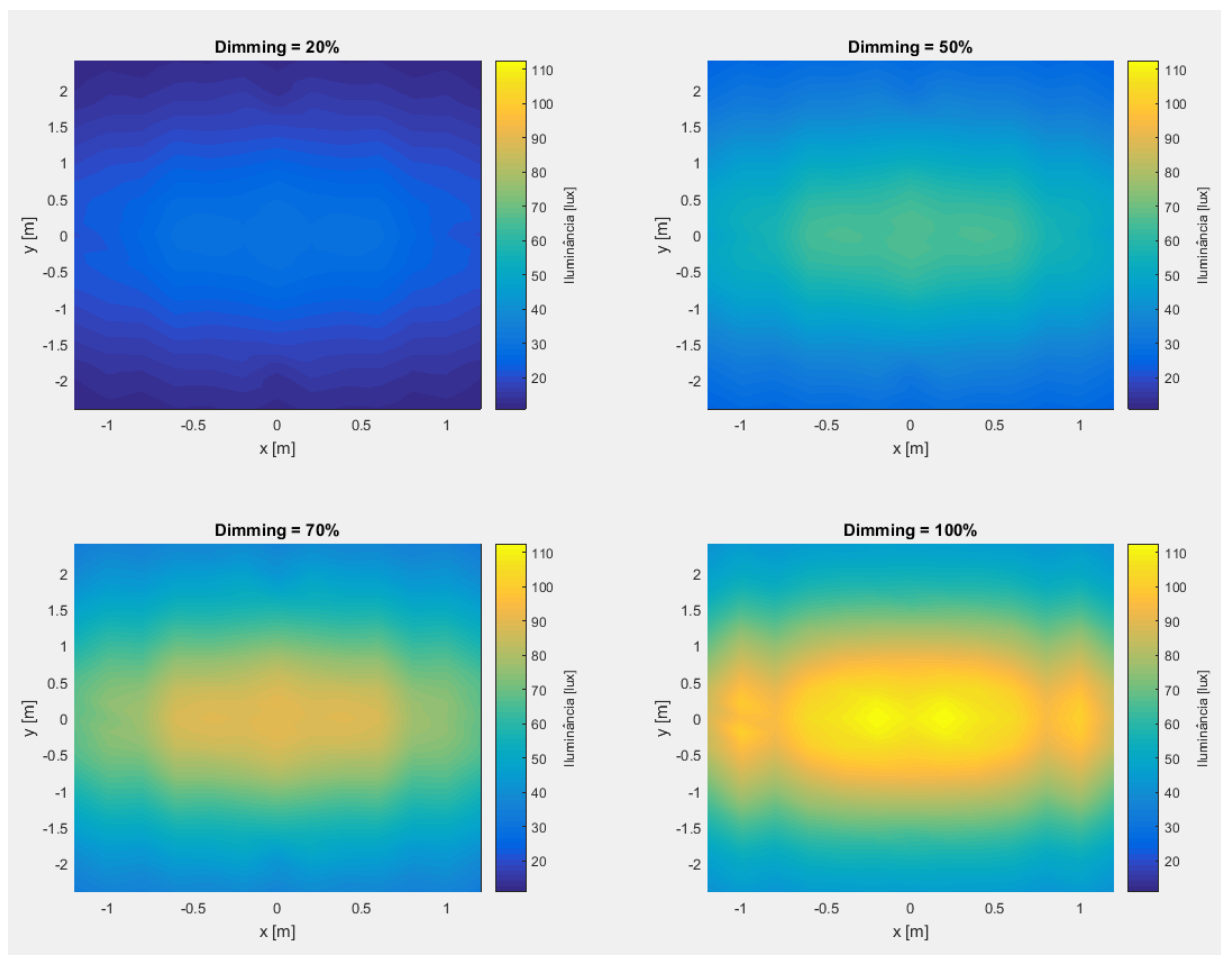


Figura 4.10: Iluminância para as percentagens de dimming de 20%, 50%, 70% e 100%

### 4.3 Disposições finais

Os sensores PIR têm uma área de deteção circunscrita, o que permite limitar a zona protegida pelo sensor de micro-ondas, já que este só atua depois da deteção do PIR .

Pode dizer-se, pelos resultados obtidos, que o sistema de comunicação permite a recolha de informação através dos sensores e o envio de ordens ao driver. Isto permite controlar o tempo de funcionamento da luminária, o que implica uma melhor gestão dos recursos energéticos e, conseqüentemente, uma maior poupança.

Verificou-se que o Arduino Nano bloqueia, algumas vezes, quando o sensor micro-ondas é ativado. Isto acontece devido ao consumo elevado do sensor e do respetivo circuito de

amplificação do sinal. A solução encontrada foi a introdução de uma fonte de alimentação externa para alimentar o circuito de amplificação.



# Capítulo 5

## Conclusões

O estudo das características e regulamentações em que estão inseridos os LEDs, que foi levado a cabo neste trabalho, teve como objetivo avaliar as vantagens da utilização destes dispositivos em sistemas de iluminação inteligentes.

Para aumentar e melhorar o desempenho dos sistemas de iluminação foram introduzidos sensores, módulos de comunicação e de controlo. Estes recursos permitem uma maior gestão do tempo em que a iluminação está em funcionamento, a transmissão de informação e recolha de dados, conduzindo, deste modo, a uma considerável poupança de energia.

Verifica-se também que, como a vida útil dos LEDs é muito superior à de outro tipo de lâmpadas até agora usadas na iluminação tradicional, não há necessidade de uma substituição tão frequente, o que permite uma significativa poupança económica.

Por outro lado, como que permite adequar o nível de luminosidade que se pretende ter num determinado local, gera um maior conforto e segurança para os utilizadores.

### 5.1 Trabalho futuro

Como trabalho futuro proponho a implementação do controlo, através do controlador, dos tempos (T2 e T4) em que a luminância permanece nos valores máximo e mínimo.

A inclusão de sensores de luminosidade no sistema vai permitir uma melhor gestão das necessidades de iluminação, conduzindo a uma maior economia.

Na comunicação entre os sensores e a *gateway*, o módulo RF pode ser substituído pelo módulo de comunicação *Bluetooth*, o que vai possibilitar que os parâmetros do sistema possam ser alterados através de um telemóvel, tornando este procedimento mais eficiente.



# Bibliografia

- [1] GitHub - Open Source Community, “MySensors library and examples.” <https://github.com/mysensors/Arduino/graphs/contributors>, 2015. [Online; acessado a 15/02/2016].
- [2] Agil Sense, “MSAN-001 X-Band Microwave Motion Sensor Module - Application Note.”
- [3] Grupo de Trabalho coordenado pela RNAE, “Eficiência Energética na Iluminação Pública - Documento de Referência.” <http://www.adene.pt/legislacao/resolucao-do-conselho-de-ministros-no-22011>, 2011. [Online; acessado a 29/09/2015].
- [4] JMC Elétrica, “A história da iluminação.” <http://jmc.com.br/a-historia-da-iluminacao/>, 2015. [Online; acessado a 29/09/2015].
- [5] TAIRIS - Luz inteligente, “A história da iluminação artificial e do LED.” <http://tairis.com.br/home-2/a-historia-da-iluminacao-artificial-e-do-led/>.
- [6] E. Fred Schubert, *Light-Emitting Diodes*. Cambridge University Press, 2006.
- [7] ETAP Lighting, “Dossier LED - Iluminação com uma nova fonte de luz.” [http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable\\_documentation/documentatie/LED\\_information/leddossierupdate2013\\_PT\\_web.pdf](http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/LED_information/leddossierupdate2013_PT_web.pdf), Outubro 2013. [Online; acessado a 29/09/2015].
- [8] ETAP Lighting, “Dossier LED - Iluminação com uma nova fonte de luz.” [http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable\\_documentation/documentatie/LED\\_information/leddossierupdate2014\\_PT\\_web.pdf](http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/LED_information/leddossierupdate2014_PT_web.pdf), Outubro 2014. [Online; acessado a 01/10/2015].
- [9] ETAP Lighting, “Dossier LED - Iluminação com uma nova fonte de luz.” [http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable\\_documentation/documentatie/LED\\_information/leddossierupdate2015\\_PT\\_web.pdf](http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/LED_information/leddossierupdate2015_PT_web.pdf), Novembro 2015. [Online; acessado a 15/01/2016].
- [10] IEC International Electrotechnical Commission, “IEC 61347-1:2015.” <https://webstore.iec.ch/publication/21841>, 2015. [Online; acessado a 19/02/2016].

- [11] IEC International Electrotechnical Commission, “IEC 62741-5:2015.” <https://webstore.iec.ch/publication/22639>, 2015. [Online; acedido a 19/02/2016].
- [12] Lightingeuropa, “Lightingeuropa guidance document on commission regulation (EU) 2015/1428.” [http://www.lightingeuropa.org/uploads/files/LE\\_Special\\_Purpose\\_Lamps\\_Position.pdf](http://www.lightingeuropa.org/uploads/files/LE_Special_Purpose_Lamps_Position.pdf).
- [13] Jacob Fraden, *Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications*. Springer, 2010.
- [14] Allen-Bradley, “Sensores fotoelétricos.” <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Sensors-Switches/Photoelectric-Sensors>, 2016. [Online; acedido a 15/05/2016].
- [15] Sensnology AB, “Internet of Your Things.” <https://www.mysensors.org>, 2015. [Online; acedido a 13/03/2016].
- [16] Arduino, “Arduino Nano.” <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>, 2016. [Online; acedido a 09/03/2016].
- [17] NORDIC SEMICONDUCTOR, “nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver.” <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>, 2008. [Online; acedido a 13/03/2016].
- [18] Sensnology AB, “Web Controller.” <http://www.mynodes.net>, 2016. [Online; acedido a 15/05/2016].
- [19] Parallax Inc., “PIR Sensor.” <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/910-28027-PIR-Sensor-REV-A-Documentation-v1.4.pdf>, 2009. [Online; acedido a 15/05/2016].
- [20] Microwave-solutions, “X-Band Doppler Motion Detector Units.” <http://www.microwave-solutions.com/shop/modules/mdu1750.html>, 2016. [Online; acedido a 15/05/2016].
- [21] RECOM, “AC/DC Converter - LED Driver.” <https://www.recom-international.com>, 2015. [Online; acedido a 13/03/2016].
- [22] TRIDONIC, “TALEXEngine\_STARK\_LLE\_guide\_en.” [http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/TALEXEngine\\_STARK\\_LLE\\_guide\\_en.pdf](http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/TALEXEngine_STARK_LLE_guide_en.pdf), 2013. [Online; acedido a 15/05/2016].
- [23] THORN Lighting People, “Gladiator - A specialised high impact resistant luminaire for harsh environments,” 2012. [Gladiator LIF lr.pdf].
- [24] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “Preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal Continental.” [http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/PrecosRef\\_BTN.pdf](http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/PrecosRef_BTN.pdf), 2016. [Online; acedido a 14/11/2016].

# Apêndice A

## Anexos

### A.1 Software

#### A.1.1 Motion and Dimming

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <MySensor.h>
3
4 #define SN "MotionDimming"
5 #define SV "1.0"
6
7 #define NODE_ID 1 // Node ID
8
9 #define LED_CHILD 10 // ID of the LED child
10 #define PIR_CHILD 20 // ID of the motion sensor PIR
    child
11 #define MICROWAVE_CHILD 30 // ID of the motion sensor MW
    child
12
13 #define EPROM_DIMMER_LEVEL 2
14
15 #define LED_PIN 6 // Arduino pin attached to LED
16 #define PIR_PIN 3 // Arduino pin attached to PIR
    sensor.
17 #define MICROWAVE_PIN A0 // Arduino pin attached to
    microwave sensor.
18
19 #define FADE_DELAY 10 // Delay in ms for each
    percentage fade up/down
20 #define FADE_PERCENTAGE 5 // The percentage the fade
```

```

    level
21
22 MySensor gw;
23
24 static int currentLevel = 0;
25 static int MaxLevel = 0;
26 static int fadeLevel = 0;
27 static int lastMotion = 0;
28 static int MWMotion = 0;
29 unsigned long previousMillis = 0;
30 unsigned long motionDelay = 10000;
31
32 boolean metric = true;
33
34 MyMessage PIRMsg(PIR_CHILD, V_TRIPPED);
35 MyMessage dimmerMsg(LED_CHILD, V_PERCENTAGE);
36 MyMessage lightMsg(LED_CHILD, V_STATUS);
37 MyMessage MWMsg(MICROWAVE_CHILD, V_VOLTAGE);
38
39
40
41 void setup()
42 {
43     Serial.println( SN );
44     gw.begin( incomingMessage );
45
46     // Register the sensors and the LED Dimmable Light to gw
47     gw.present(PIR_CHILD, S_MOTION);
48     gw.present(LED_CHILD, S_DIMMER);
49
50     gw.sendSketchInfo(SN, SV);
51
52     metric = gw.getConfig().isMetric;
53
54     gw.request(LED_CHILD, V_PERCENTAGE);
55     gw.request(MICROWAVE_CHILD, V_VOLTAGE);
56
57     pinMode(PIR_PIN, INPUT);           // sets the PIR sensor
58     digitalWrite(PIR_PIN, LOW);       // digital pin as input
59     pinMode(MICROWAVE_PIN, INPUT);     // sets the MW sensor
60     digitalWrite(MICROWAVE_PIN, LOW); // analog pin as input
61     pinMode(7, OUTPUT);                // sets the digital pin as
62     digitalWrite(7, LOW);              // output

```

```

60 }
61
62
63 void loop() {
64
65     gw.process();
66
67     unsigned long currentMillis = millis();
68
69     if(currentMillis - previousMillis > motionDelay){
70         int motionDetect = digitalRead(PIR_PIN);
71
72         if(motionDetect != lastMotion){
73             gw.send(PIRMsg.set(motionDetect));
74             if(motionDetect == 1){
75                 previousMillis = currentMillis;
76
77                 digitalWrite(7,HIGH);
78
79                 MWMotion = analogRead(MICROWAVE_PIN);
80                 float voltage = MWMotion * (5.0 / 1024.0);
81
82                 Serial.print("MWMotion = ");
83                 Serial.println(MWMotion);
84                 Serial.print("voltage = ");
85                 Serial.println(voltage);
86
87                 gw.send(MWMsg.set(MWMotion));
88             }
89             else{
90                 previousMillis = currentMillis - motionDelay + 1000;
91
92                 digitalWrite(7,LOW);
93             }
94             lastMotion = motionDetect;
95         }
96     }
97     if(MWMotion > 500){
98         dimming();}
99 }
100
101
102

```

```

103 void incomingMessage(const MyMessage &message) {
104
105     if (message.type == V_STATUS || message.type == V_PERCENTAGE) {
106
107         // Retrieve dim level from the incoming request message
108         int requestedLevel = atoi( message.data );
109
110         requestedLevel *= ( message.type == V_STATUS ? 100 : 1 );
111
112         requestedLevel = requestedLevel > 100 ? 100 :
            requestedLevel;
113         requestedLevel = requestedLevel < 0 ? 0 : requestedLevel;
114
115         Serial.print( "Changing level to " );
116         Serial.print( requestedLevel );
117         Serial.print( ", from " );
118         Serial.println( currentLevel );
119
120         gw.saveState(EPROM_DIMMER_LEVEL, requestedLevel);
121
122         gw.send(lightMsg.set(currentLevel > 0 ? 1 : 0));
123
124         gw.send(dimmerMsg.set(currentLevel));
125     }
126 }
127
128
129
130 void dimming(void){
131
132     MaxLevel = gw.loadState(EPROM_DIMMER_LEVEL);
133
134     if ((lastMotion == 1) && (fadeLevel < MaxLevel)) {
135         fadeLevel += FADE_PERCENTAGE;
136         fadeLevel = fadeLevel > MaxLevel ? MaxLevel : fadeLevel;
137         fadeToLevel( fadeLevel );
138     }
139
140     int MedLevel = MaxLevel / 2;
141
142     if ((lastMotion == 0) && (fadeLevel > MedLevel)) {
143         fadeLevel -= FADE_PERCENTAGE;
144         fadeLevel = fadeLevel < MedLevel ? MedLevel : fadeLevel;

```



```

145     fadeToLevel( fadeLevel );
146 }
147
148 else{
149     if ((lastMotion == 0) && (fadeLevel == MedLevel)) {
150         fadeLevel = 0;
151         delay(5000);
152         fadeToLevel( fadeLevel );
153     }
154 }
155 }
156
157
158 void fadeToLevel(int toLevel ) {
159
160     int delta = ( toLevel - currentLevel ) < 0 ? -1 : 1;
161
162     while ( currentLevel != toLevel ) {
163         currentLevel += delta;
164         analogWrite( LED_PIN, (int)(currentLevel / 100. * 255) );
165         delay( FADEDELAY );
166     }
167     gw.send( dimmerMsg.set( currentLevel ) );
168 }

```

### A.1.2 SerialGateway [1]

```

1  /**
2  * The MySensors Arduino library handles the wireless radio link
3  * and protocol
4  * between your home built sensors/actuators and HA controller of
5  * choice.
6  * The sensors forms a self healing radio network with optional
7  * repeaters. Each
8  * repeater and gateway builds a routing tables in EEPROM which
9  * keeps track of the
10 * network topology allowing messages to be routed to nodes.
11 *
12 * Created by Henrik Ekblad <henrik.ekblad@mysensors.org>
13 * Copyright (C) 2013-2015 Sensnology AB
14 * Full contributor list: https://github.com/mysensors/Arduino/graphs/contributors
15 *

```

```

12 * Documentation: http://www.mysensors.org
13 * Support Forum: http://forum.mysensors.org
14 *
15 * This program is free software; you can redistribute it and/or
16 * modify it under the terms of the GNU General Public License
17 * version 2 as published by the Free Software Foundation.
18 *
19 *****
20 *
21 * DESCRIPTION
22 * The ArduinoGateway prints data received from sensors on the
    serial link.
23 * The gateway accepts input on seral which will be sent out on
    radio network.
24 *
25 * The GW code is designed for Arduino Nano 328p / 16MHz
26 *
27 * Wire connections (OPTIONAL):
28 * - Inclusion button should be connected between digital pin 3
    and GND
29 * - RX/TX/ERR leds need to be connected between +5V (anode) and
    digital pin 6/5/4 with resistor 270-330R in a series
30 *
31 * LEDs (OPTIONAL):
32 * - To use the feature , uncomment WITHLEDS_BLINKING in MyConfig
    .h
33 * - RX (green) - blink fast on radio message recieved. In
    inclusion mode will blink fast only on presentation recieved
34 * - TX (yellow) - blink fast on radio message transmitted. In
    inclusion mode will blink slowly
35 * - ERR (red) - fast blink on error during transmission error or
    recieve crc error
36 *
37 */
38
39 #define NO_PORTB_PINCHANGES
40
41 #include <MySigningNone.h>
42 #include <MyTransportRFM69.h>
43 #include <MyTransportNRF24.h>
44 #include <MyHwATMega328.h>
45 #include <MySigningAtsha204Soft.h>
46 #include <MySigningAtsha204.h>

```

```

47
48 #include <SPI.h>
49 #include <MyParserSerial.h>
50 #include <MySensor.h>
51 #include <stdarg.h>
52 #include <PinChangeInt.h>
53 #include "GatewayUtil.h"
54
55 #define INCLUSION_MODE_TIME 1 // Number of minutes inclusion mode
    is enabled
56 #define INCLUSION_MODE_PIN 3 // Digital pin used for inclusion
    mode button
57 #define RADIO_ERROR_LED_PIN 4 // Error led pin
58 #define RADIO_RX_LED_PIN 6 // Receive led pin
59 #define RADIO_TX_LED_PIN 5 // the PCB, on board LED
60
61 // NRF24L01 radio driver (set low transmit power by default)
62 MyTransportNRF24 transport(RF24_CE_PIN, RF24_CS_PIN,
    RF24_PA_LEVEL_GW);
63 //MyTransportRFM69 transport;
64
65 // Message signing driver (signer needed if MY_SIGNING_FEATURE is
    turned on in MyConfig.h)
66 //MySigningNone signer;
67 //MySigningAtsha204Soft signer;
68 //MySigningAtsha204 signer;
69
70 // Hardware profile
71 MyHwATMega328 hw;
72
73 // Construct MySensors library (signer needed if
    MY_SIGNING_FEATURE is turned on in MyConfig.h)
74 // To use LEDs blinking, uncomment WITH_LEDS_BLINKING in MyConfig
    .h
75 #ifdef WITH_LEDS_BLINKING
76 MySensor gw(transport, hw /*, signer*/, RADIO_RX_LED_PIN,
    RADIO_TX_LED_PIN, RADIO_ERROR_LED_PIN);
77 #else
78 MySensor gw(transport, hw /*, signer*/);
79 #endif
80
81 char inputString[MAX_RECEIVE_LENGTH] = ""; // A string to hold
    incoming commands from serial/ethernet interface

```

```

82 int inputPos = 0;
83 boolean commandComplete = false; // whether the string is
    complete
84
85 void parseAndSend(char *commandBuffer);
86
87 void output(const char *fmt, ... ) {
88     va_list args;
89     va_start (args, fmt );
90     vsnprintf_P (serialBuffer, MAX_SENDBUFFERLENGTH, fmt, args);
91     va_end (args);
92     Serial.print(serialBuffer);
93 }
94
95
96 void setup()
97 {
98     gw.begin(incomingMessage, 0, true, 0);
99
100     setupGateway(INCLUSION_MODE_PIN, INCLUSION_MODE_TIME, output);
101
102     // Add interrupt for inclusion button to pin
103     PCintPort::attachInterrupt(pinInclusion,
        startInclusionInterrupt, RISING);
104
105
106     // Send startup log message on serial
107     serial(PSTR("0;0;%d;0;%d;Gateway startup complete.\n"),
        C_INTERNAL, LGATEWAYREADY);
108 }
109
110 void loop()
111 {
112     gw.process();
113
114     checkButtonTriggeredInclusion();
115     checkInclusionFinished();
116
117     if (commandComplete) {
118         // A command was issued from serial interface
119         // We will now try to send it to the actuator
120         parseAndSend(gw, inputString);
121         commandComplete = false;

```

```

122     inputPos = 0;
123 }
124 }
125
126
127 /*
128  SerialEvent occurs whenever a new data comes in the
129  hardware serial RX.  This routine is run between each
130  time loop() runs, so using delay inside loop can delay
131  response.  Multiple bytes of data may be available.
132  */
133 void serialEvent() {
134     while (Serial.available()) {
135         // get the new byte:
136         char inChar = (char)Serial.read();
137         // if the incoming character is a newline, set a flag
138         // so the main loop can do something about it:
139         if (inputPos < MAX_RECEIVE_LENGTH-1 && !commandComplete) {
140             if (inChar == '\n') {
141                 inputString[inputPos] = 0;
142                 commandComplete = true;
143             } else {
144                 // add it to the inputString:
145                 inputString[inputPos] = inChar;
146                 inputPos++;
147             }
148         } else {
149             // Incoming message too long. Throw away
150             inputPos = 0;
151         }
152     }
153 }

```

### A.1.3 GatewayUtil.h[1]

```

1 /**
2  * The MySensors Arduino library handles the wireless radio link
3  * and protocol
4  * between your home built sensors/actuators and HA controller of
5  * choice.
6  * The sensors forms a self healing radio network with optional
7  * repeaters. Each
8  * repeater and gateway builds a routing tables in EEPROM which

```

```

    keeps track of the
6  * network topology allowing messages to be routed to nodes.
7  *
8  * Created by Henrik Ekblad <henrik.ekblad@mysensors.org>
9  * Copyright (C) 2013–2015 Sensnology AB
10 * Full contributor list: https://github.com/mysensors/Arduino/
    graphs/contributors
11 *
12 * Documentation: http://www.mysensors.org
13 * Support Forum: http://forum.mysensors.org
14 *
15 * This program is free software; you can redistribute it and/or
16 * modify it under the terms of the GNU General Public License
17 * version 2 as published by the Free Software Foundation.
18 *
19 */
20
21 #ifndef __GATEWAYUTIL_H__
22 #define __GATEWAYUTIL_H__
23
24 #include <MyTransport.h>
25
26
27 #ifdef ARDUINO
28
29
30 uint8_t inclusionTime = 1; // Number of minutes inclusion mode is
    enabled
31 uint8_t pinInclusion = 3; // Input pin that should trigger
    inclusion mode
32
33 #define MAX_RECEIVELENGTH 100 // Max buffersize needed for
    messages coming from controller
34 #define MAX_SENMLENGTH 120 // Max buffersize needed for messages
    destined for controller
35
36 volatile boolean buttonTriggeredInclusion;
37 boolean inclusionMode; // Keeps track on inclusion mode
38 void (*serial)(const char *fmt, ... );
39
40 MyParserSerial parser;
41
42 void setInclusionMode(boolean newMode);

```

```

43
44 char convBuf[MAXPAYLOAD*2+1];
45 char serialBuffer [MAXSENDLENGTH]; // Buffer for building string
    when sending data to vera
46 unsigned long inclusionStartTime;
47
48 void setupGateway(uint8_t _inc , uint8_t _incTime , void (* _serial
    )(const char *, ... )) {
49     inclusionMode = 0;
50     buttonTriggeredInclusion = false;
51     serial = _serial;
52
53     pinInclusion = _inc;
54     inclusionTime = _incTime;
55
56     // Setup digital in that triggers inclusion mode
57     pinMode(pinInclusion , INPUT);
58     digitalWrite(pinInclusion , HIGH);
59 }
60
61
62
63 void startInclusionInterrupt() {
64     buttonTriggeredInclusion = true;
65 }
66
67 void incomingMessage(const MyMessage &message) {
68     // if (mGetCommand(message) == CPRESENTATION && inclusionMode)
        {
69         //     gw.rxBlink(3);
70         // } else {
71         //     gw.rxBlink(1);
72         // }
73     // Pass along the message from sensors to serial line
74     serial(PSTR("%d;%d;%d;%d;%d;%s\n" ), message.sender , message.
        sensor , mGetCommand(message) , mGetAck(message) , message.
        type , message.getString(convBuf));
75 }
76
77
78
79 void checkButtonTriggeredInclusion() {
80     if (buttonTriggeredInclusion) {

```

```

81     // Ok, someone pressed the inclusion button on the gateway
82     // start inclusion mode for 1 munute.
83 #ifdef DEBUG
84     serial(PSTR("0;0;%d;0;%d;Inclusion started by button.\n"),
85           CINTERNAL, ILOG_MESSAGE);
86 #endif
87     buttonTriggeredInclusion = false;
88     setInclusionMode(true);
89 }
90
91 void checkInclusionFinished() {
92     if (inclusionMode && millis()-inclusionStartTime > 60000UL*
93         inclusionTime) {
94         // inclusionTimeInMinutes minute(s) has passed.. stop
95         // inclusion mode
96         setInclusionMode(false);
97     }
98 }
99
100 void parseAndSend(MySensor &gw, char *commandBuffer) {
101     boolean ok;
102     MyMessage &msg = gw.getLastMessage();
103
104     if (parser.parse(msg, commandBuffer)) {
105         uint8_t command = mGetCommand(msg);
106
107         if (msg.destination==GATEWAY_ADDRESS && command==CINTERNAL)
108             {
109                 // Handle messages directed to gateway
110                 if (msg.type == IVERSION) {
111                     // Request for version
112                     serial(PSTR("0;0;%d;0;%d;%s\n"), CINTERNAL, IVERSION,
113                           LIBRARY_VERSION);
114                 } else if (msg.type == LINCLUSION_MODE) {
115                     // Request to change inclusion mode
116                     setInclusionMode(atoi(msg.data) == 1);
117                 }
118             } else {
119                 #ifdef WITHLEDS_BLINKING
120                 gw.txBlink(1);
121                 #endif
122                 ok = gw.sendRoute(msg);
123             }
124     }
125 }

```



```

119     if (!ok) {
120         #ifdef WITHLEDS.BLINKING
121             gw.errBlink(1);
122         #endif
123     }
124 }
125 }
126 }
127
128 void setInclusionMode(boolean newMode) {
129     if (newMode != inclusionMode) {
130         inclusionMode = newMode;
131         // Send back mode change on serial line to ack command
132         serial(PSTR("0;0;%d;0;%d;%d\n"), C_INTERNAL, L_INCLUSION_MODE
133             , inclusionMode?1:0);
134
135         if (inclusionMode) {
136             inclusionStartTime = millis();
137         }
138     }
139
140
141 #else
142 #error This example is only for use on Arduino.
143 #endif // ARDUINO
144
145 #endif

```

## A.2 Gráficos

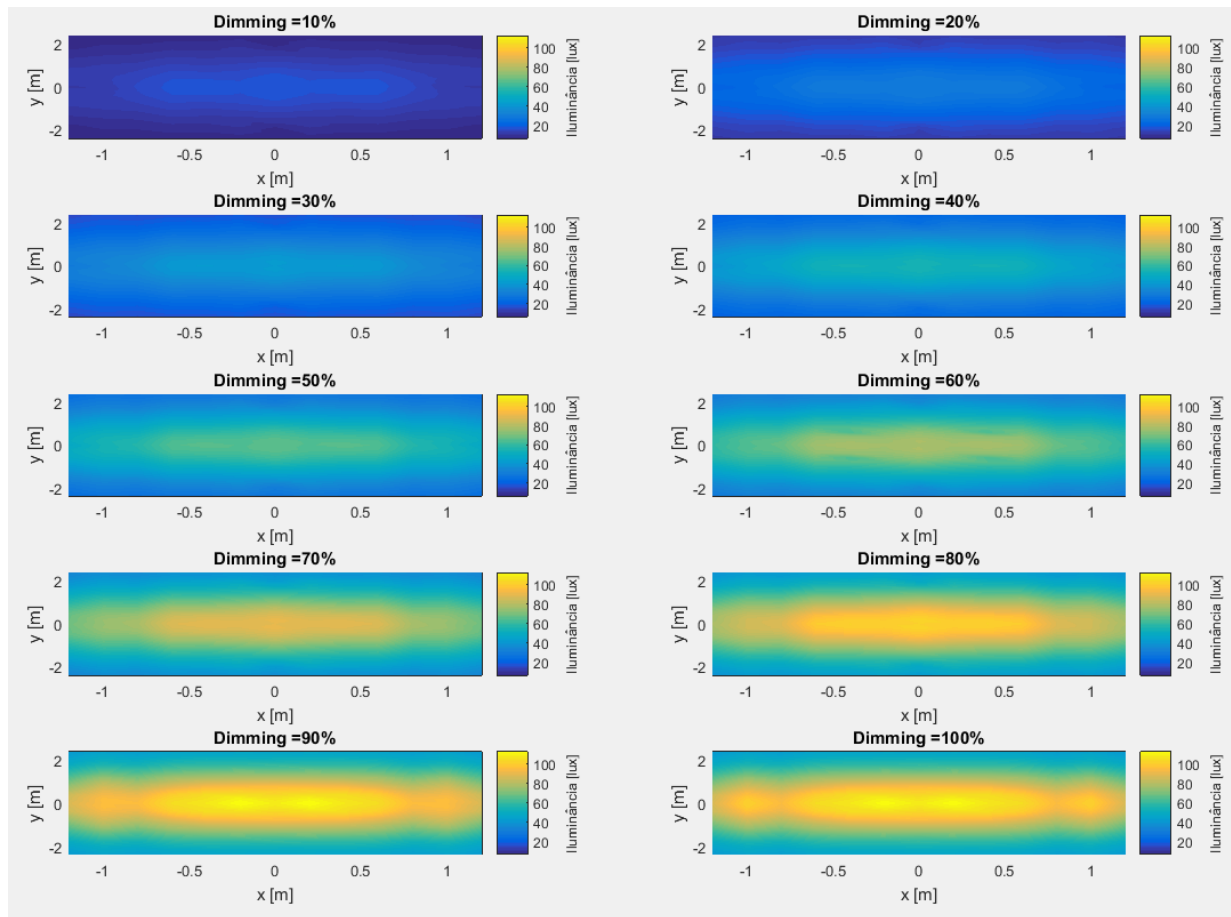


Figura A.1: Iluminância para diferentes percentagens de dimming