

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Conceção de Instalações Elétricas no Âmbito da  
Reabilitação de Grandes Edifícios**

Pedro Duarte Neves Pereira

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor José Neves dos Santos  
Co-Orientador: Engenheiro José Manuel Freitas

31 de Julho de 2015

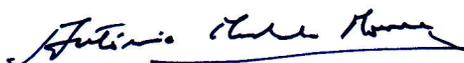


A Dissertação intitulada

**“Conceção de Instalações Elétricas no Âmbito da Reabilitação de Grandes Edifícios”**

foi aprovada em provas realizadas em 15-07-2005

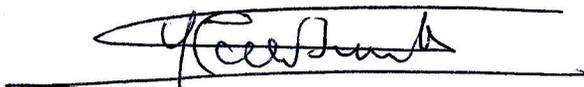
o júri



Presidente **Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura**  
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

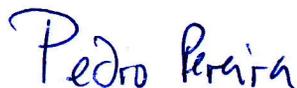


**Professora Doutora Fernanda de Oliveira Resende**  
Professora Auxiliar da Universidade Lusófona



**Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



**Autor - Pedro Duarte Neves Pereira**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

# Resumo

A realização de grandes investimentos, em novas estruturas, tem vindo a ser preterido em favor da reabilitação de edifícios, com enfoque nos aspetos energéticos. Os grandes edifícios industriais são usualmente o local onde as medidas de racionalização energética podem ter mais impacto significativo.

Este documento aborda medidas que podem ser implementadas no sistema de iluminação de um edifício e que podem levar a uma melhoria substancial no consumo de energia elétrica, reduzindo drasticamente o custo deste sistema, tais como a substituição de luminárias e inclusão de sistemas de comandos e respetivos automatismos.

Sumariamente, é apresentado um caso de estudo de uma unidade fabril onde serão analisadas propostas com o objetivo da melhoria do desempenho energético deste através da implementação dum novo sistema de iluminação e respetivo comando.



# Abstract

The realization of big investments in new structures has been abandoned in favor of the rehabilitation of buildings, with focus on the energetic aspects. The big industrial buildings are usually where energetic rationalization measures can have more significant impact.

This document addresses measures that can be implemented in a building's illumination system that will lead to a substantial improvement in the consumption of electrical energy, drastically reducing the system's cost, such as for example in the substitution of lamps and the inclusion of command systems and respective automatisms.

A case study (factory unit) is summarily presented where proposals will be analysed, with a view to the improvement of its energetic performance.



# Agradecimentos

Nesta fase final do meu percurso académico quero agradecer aos meus pais por estarem sempre presentes para tudo o que preciso. Quero também agradecer à minha família, especialmente aos meus avós, tanto os que já partiram como os que continuam aqui comigo, por tudo o que fizeram por mim.

Quero agradecer também ao orientador, Professor José Neves dos Santos pela ajuda prestada durante a realização da dissertação. Ao coorientador Eng. José Manuel Freitas pelo fornecimento de informações e ajuda em questões mais pertinentes.

Um agradecimento também aos meus companheiros de curso Diogo Bastos, Mário Martins e Rafael Gomes por estarem sempre presentes quando necessário.

Por último quero agradecer a todas as pessoas que por um motivo ou outro me influenciaram no caminho que me levou até aqui, tanto da faculdade, como de infância, básico e de secundário.

Pedro Duarte Neves Pereira



*“All we have to decide, is what to do with the time that is given to us.”*

J. R. R. Tolkien



# Índice

<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 - Motivação .....	1
1.2 - Estrutura do Documento.....	1
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>2</b>
Caracterização da Instalação Fabril .....	2
2.1- Estrutura do Edifício .....	2
2.2- Caracterização das Luminárias .....	5
2.2.1 Tipo de Luminárias .....	5
2.3- Automatismos e Segmentação de Circuitos .....	8
2.4- Níveis de Luminância.....	8
2.5- Estimativas de Consumo em Iluminação nas Diferentes Parcelas .....	14
2.6- Domínio de Intervenção Proposta.....	17
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>20</b>
Estudo Tecno-Económico: Tecnologia de Iluminação .....	20
3.1- Breve Síntese sobre Tipo de Lâmpadas .....	20
3.1.1 Características das Lâmpadas de Descarga .....	21
3.1.2 Lâmpadas de LED .....	27
3.2- Substituição das Lâmpadas Danificadas.....	28
3.3- Estudo Luminotécnico.....	29
3.3.1 Seleção das Luminárias para o Armazém 2 (Parcela 2) .....	29
3.3.2 Equipamentos Auxiliares.....	32
3.3.3 Estudo Luminotécnico do <i>Dialux</i> .....	35
3.4- Estudo Técnico-Económico .....	37
3.4.1 Introdução.....	37
3.4.2 Utilização de Luminárias de LED .....	39
3.4.3 Utilização de Luminárias T5 .....	41
3.5- Comparação entre as duas Soluções.....	43
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>49</b>
Estudo Técnico-Económico: Tecnologia de Comando .....	49
4.1- Iluminação Natural .....	49
4.2- Sistemas de Comando de Iluminação Básicos .....	50
4.2.1 Sistemas de Gestão Horária .....	50
4.2.2 Controlo de Luminosidade.....	50
4.3- Sistemas de Controlo propostos para o Edifício (Parcela 2).....	52
4.4- Automatismos propostos para o Edifício (Parcela 2) .....	60
4.4.1 Automatismos para a Zona 2.1 .....	60
4.4.2 Automatismos para a Zona 2.2 .....	62
4.5- Estudo Técnico-Económico sobre o Sistema de Comando para a Parcela 2 .....	63
4.5.1 Estudo Técnico-Económico do Sistema de Comando para a Zona 2.1 .....	63
4.5.2 Estudo Técnico Económico do Sistema de Comando para a Zona 2.2 .....	66
4.6- Análise dos Resultados Obtidos.....	70
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>79</b>
Conclusões e previsões de trabalho futuro .....	79

Referências ..... 101

# Lista de figuras

Figura 2.1 - Lâmpadas fluorescentes de 15 W e 18 W (respetivamente) presente nas diferentes parcelas .....	7
Figura 2.2 - Lâmpadas fluorescentes de 250 W presente nas diferentes parcelas .....	7
Figura 2.3 - Lâmpada de luz mista de 250 W (avariada) da Parcela .....	8
Figura 2.4 - Iluminância [2] .....	8
Figura 2.5 - Luxímetro HT307 utilizado para medição de iluminância .....	9
Figura 2.6 - Zonas alvo de medições no Armazém 2 .....	10
Figura 2.7 - Zonas alvo de medições no refeitório, WC, Corredor e Showroom .....	11
Figura 2.8 - - Zonas alvo de medições no corredor 2, Balneário Feminino e Balneário Masculino .....	12
Figura 2.9 - Zonas alvo de medições no Armazém, WC22, Sala, Zona de Descarga e Zona de Passagem .....	13
Figura 3.1 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes tubulares [6] .....	21
Figura 3.2 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes compactas [7] .....	22
Figura 3.3 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [1] .....	23
Figura 3.4 - Exemplo de lâmpada de vapor de mercúrio com iodetos metálicos [1] .....	24
Figura 3.5 - Exemplo de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [1] .....	25
Figura 3.6 - Exemplo de lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [1] .....	26
Figura 3.7 - Exemplo de lâmpada de LED [1] .....	28
Figura 3.8 - Exemplo duma luminária <i>GentleSpace</i> [8] .....	31
Figura 3.9 - Exemplo duma luminária <i>High Bay T5</i> [8] .....	32
Figura 3.10 - Comparação entre balastro eletrónico e balastro convencional [1] .....	33
Figura 3.11 - Aplicação da luminária de LED <i>GentleSpace</i> (BY471P LED250S/840 HRO GC SI) no programa <i>Dialux</i> para a divisão Armazém2, com iluminância requerida de 200 lux ..	36
Figura 3.12 - Aplicação da luminária fluorescente <i>High Bay T5</i> (BY360P 4xTL5-80W/840 HFD MB IP65) no programa <i>Dialux</i> para a divisão Armazém2, com iluminância de 200 lux ....	37
Figura 3.13 - Fluxos Financeiros para a solução LED .....	40
Figura 3.14 - Fluxos Financeiros para a solução T5 .....	42
Figura 3.15 - Gráfico economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1% por ano para a solução LED .....	44

Figura 3.16 - Gráfico economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5% por ano para a solução LED .....	45
Figura 3.17 - Gráfico da poupança gerada com o aumento do preço de eletricidade em 5 % por ano para a solução LED.....	45
Figura 3.18 - Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a solução LED.....	46
Figura 4.1 - Exemplo de sensor infravermelho [13] .....	51
Figura 4.2 - Exemplo de sensor ultrassónico [14] .....	52
Figura 4.3 - Multi-sensor DUS704W saliente da parede para sistema <i>Dynalite</i> [7].....	54
Figura 4.4 - Ecrã tátil DTP100 para o Sistema <i>Dynalite</i> [7] .....	54
Figura 4.5 - Controlador Multipropósito DDMC 802- GL com Montagem sobre perfil DIN para sistema <i>Dynalite</i> [7] .....	55
Figura 4.6 - Fonte de alimentação DDNP 1501 para o Sistema <i>Dynalite</i> [7] .....	55
Figura 4.7 - Foto célula alta altura LRL8102/00 para sistema <i>Light Master Modular LON</i> [7] .	57
Figura 4.8 - DALI Módulo de controlo de iluminação LRC514/10 para ligação à rede LON [7] .	57
Figura 4.9 - Detetor de nível solar LRL5002 para Sistema <i>Light Master Modular LON</i> [7].....	57
Figura 4.10 - Exemplo do Sistema de comando dos espaços da zona 2.2.....	59
Figura 4.11 - Exemplo do Sistema de comando do Armazém 2 da zona 2.1 .....	59
Figura 4.12 - Divisão do Armazém 2 (zona 2.1) em duas subzonas .....	60
Figura 4.13 - Máquina de estados para a subzona do Armazém 2 (detetor de luz natural) ....	61
Figura 4.14 - Máquina de estados para a subzona do Armazém 2 (detetor de movimento .....	61
Figura 4.15 - Máquina de estados para os diferentes espaços da Zona 2.2 (detetor de movimento) .....	63
Figura 4.16 - Fluxos Financeiros para sistema de comandos Zona 2.1 .....	65
Figura 4.17 - Fluxos Financeiros para sistema de comandos Zona 2.2 .....	68
Figura 4.18 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1 % por ano para a proposta de sistema de comando da zona 2.1 .....	70
Figura 4.19 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5% por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.1 .....	71
Figura 4.20 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 5% por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.1 .....	71
Figura 4.21 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2 .....	72
Figura 4.22 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2 .....	72

Figura 4.23 - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 5 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2.....	73
Figura 4.24- Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a proposta do sistema de comando para a Zona 2.1 .....	74
Figura 4.25 - Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a proposta do sistema de comando para a Zona 2.2 .....	75
Figura 4.26 - Gráfico do PRI gerado com o aumento do custo de eletricidade para 1, 2.5 e 5 % para o sistema de comando para a Zona 2.2 .....	76
Figura 4.27 - Gráfico dos anos de vida útil das luminárias de LED sem (1) e com sistema de comando (2) .....	77

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Estrutura do Edifício .....	3
Tabela 2.2- Caracterização da luminária presente na Parcela 1 .....	5
Tabela 2.3 - Caracterização da luminária presente na Parcela 2 .....	6
Tabela 2.4 - Caracterização da luminária presente na Parcela 3 .....	6
Tabela 2.5 - Iluminância de acordo com a Norma EN 12464-1 [14].....	9
Tabela 2.6 - Níveis de Iluminância Medidos (1) .....	10
Tabela 2.7 - Níveis de Iluminância Medidos (2) .....	11
Tabela 2.8 - Níveis de Iluminância Medidos (3) .....	12
Tabela 2.9 - Níveis de Iluminância Medidos (4) .....	13
Tabela 2.10 - Consumo da Parcela 1 .....	15
Tabela 2.11 - Consumo da Parcela 2 .....	16
Tabela 2.12 - Consumo da Parcela 3 .....	16
Tabela 2.13 - Identificação da luminária danificada na Parcela 2 .....	17
Tabela 3.1 - Características lâmpadas fluorescentes tubulares [1,6,7] .....	22
Tabela 3.2 - Características lâmpadas fluorescentes compactas [1,6,7] .....	23
Tabela 3.3 - Características lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão [1,6,7] .....	24
Tabela 3.4 - Características lâmpadas de mercúrio com iodetos metálicos [1,6,7] .....	24
Tabela 3.5 - Características lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [1,6,7] .....	25
Tabela 3.6 - Características lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão [1,6,7] .....	26
Tabela 3.7 - Características lâmpadas de vapor de mercúrio de luz mista [1,6] .....	27
Tabela 3.8 - Características lâmpadas de LED [1,6].....	28
Tabela 3.9 - Substituição das lâmpadas danificadas nas divisões da Parcela 2.....	29
Tabela 3.10 - Características da luminária escolhida GentleSpace 1 [13].....	30
Tabela 3.11 - Características da luminaria escolhida GentleSpace 2 [13].....	30
Tabela 3.12 - Características da luminária escolhida <i>High Bay T5 1</i> [13] .....	31

Tabela 3.13 - Características da luminaria escolhida High Bay T5 2 [13].....	32
Tabela 3.14 - Características dos balastros eletrónicos para lâmpadas fluorescentes [15] ....	34
Tabela 3.15 - Características dos controladores para lâmpadas de LED [15] .....	34
Tabela 3.16 - Dados recolhidos do <i>Dialux</i> para as luminárias de LED <i>GentleSpace</i> .....	35
Tabela 3.17 - Dados recolhidos do <i>Dialux</i> para as luminárias fluorescentes <i>High Bay T5</i> .....	36
Tabela 3.18 - Preço da energia elétrica para Tarifas de Média Utilização para BTN> 20,7 kVA [12] .....	39
Tabela 3.19 - Iteração do algoritmo da TIR para a solução de luminária de LED .....	40
Tabela 3.20 - Iteração do algoritmo da TIR para a solução de luminária T5 .....	43
Tabela 3.21 - Comparação dos Dados entre as Soluções de Luminárias de LED e T5 .....	44
Tabela 3.22 - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade .....	45
Tabela 3.23 - Comparação entre os diferentes VAL gerados por cada % de aumento do preço de eletricidade .....	46
Tabela 4.1 - Locais de possível implementação dos sensores.....	53
Tabela 4.2 - Principais características dos equipamentos para zona 2.2 [11] .....	56
Tabela 4.3 - Principais características dos equipamentos para zona 2.1 [11] .....	57
Tabela 4.4 - Tempo que as luminárias de cada divisão ficam ligadas após deteção de movimento para a zona 2.1 .....	61
Tabela 4.5 - Tempo que as luminárias de cada divisão ficam ligadas após deteção de movimento para a zona 2.2 .....	62
Tabela 4.6- Comparação entre o consumo previsto com LED´s e o consumo previsto com LED´s e sistema de comando.....	64
Tabela 4.7 - Comparação dos consumos do Sistema de iluminação com e sem sistema de comando para zona 2.1 .....	64
Tabela 4.8 - Iteração do algoritmo da TIR para o sistema de comando da Zona 2.1 .....	66
Tabela 4.9 - Comparação entre o consumo previsto com sistema de comando e o consumo atual para a Zona 2.2.....	67
Tabela 4.10 - Comparação dos consumos do sistema de iluminação com e sem sistema de comando para a zona 2.2 .....	67
Tabela 4.11 - Iteração do algoritmo da TIR para o sistema de comando da zona 2.2 .....	69
Tabela 4.12 - Dados das propostas dos sistemas de comando para as zonas 2.1 e 2.2.....	70
Tabela 4.13 - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.1 .....	73

Tabela 4.14 - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade para a Zona 2.2.....	73
Tabela 4.15 - Comparação entre os diferentes VAL gerados por cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.1 e 2.2 .....	74
Tabela 4.16 - PRI Gerado para cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.2 .....	76

# Abreviaturas e Símbolos

BAT	Best Available Technology
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
<i>EIB</i>	<i>Energy Installation Bus</i>
EHS	<i>European Home System</i>
IRC	<i>Índice de Restituição de Cor</i>
KNX	<i>Konnex Association</i>
<i>PRI</i>	Período de recuperação do investimento
Ra	<i>Índice de restituição cromática</i>
TIR	Taxa Interna de Rendibilidade
TC	<i>Temperatura de cor</i>
VAL	Valor Atual Líquido
<i>kW</i>	Kilowatts



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 - Motivação

Nas instalações elétricas de edifícios a necessitar de reabilitação, o paradigma da intervenção deve ser guiado por critérios ambientais e de eficiência energética - ao contrário do que acontecia no passado em que o maior objetivo era a garantia de fornecimento de energia para o seu funcionamento. De facto, para garantir um desenvolvimento sustentável é necessário apostar em novos métodos, de forma a potenciar ao máximo as instalações, com minimização dos encargos com o uso da energia elétrica.

As formas de intervenção podem ir desde Sistemas de Gestão Centralizados a mudanças de tarifários de energia e, claro, substituição dos sistemas de iluminação.

O objetivo principal da presente dissertação é a realização de um estudo técnico-económico sobre a reconversão de um edifício industrial numa estrutura com várias unidades fabris. Para o efeito são considerados os aspetos luminotécnicos e outros, tendo como pano de fundo a preocupação da redução do consumo de energia elétrica no edifício a reabilitar.

### 1.2 - Estrutura do Documento

Este documento está dividido em cinco capítulos.

Depois da Introdução, temos o Capítulo 2, onde é caracterizada a instalação fabril em estudo, incidindo nos seguintes aspetos: estrutura do edifício; tecnologias de iluminação presentes; níveis de iluminância; estado de conservação dos equipamentos de iluminação; aspetos diversos.

No Capítulo 3 é efetuado um estudo técnico-económico abrangendo o sistema de iluminação (Lâmpadas / Luminárias), considerando, para o efeito, dois tipos de luminárias com excelente desempenho, lâmpadas fluorescentes T5 e lâmpadas de LED.

No Capítulo 4 é realizado um estudo técnico-económico incidindo sobre os aspetos relacionados com sistemas de comando da iluminação, subdivisão de circuitos de iluminação, etc.

No Capítulo 5 são redigidas as conclusões finais do trabalho e apontados os trabalhos futuros



## Capítulo 2

# Caracterização da Instalação Fabril

### 2.1- Estrutura do Edifício

O caso de estudo incide sobre uma antiga instalação fabril da *Yazaki Saltano*, a qual foi adquirido pelo promotor imobiliário *Finipredial*. Essa aquisição teve como objetivo a reabilitação do espaço disponível de forma a poder alugar o mesmo a empresas que estejam interessadas num local ideal para instalações fabris, armazenamento de materiais ou escritórios, sendo estas duas últimas as finalidades mais comuns.

Neste capítulo é descrito o estudo de caracterização do sistema de iluminação presente nas diferentes parcelas de luminárias; automatismos de comando de iluminação; segmentação por zonas.

Existem quatro armazéns que devem ser reabilitados de maneira a que estes estejam em condições ótimas para utilização. Neste momento, as Parcelas 1, 2 e 3 estão a ser utilizadas, respetivamente, pelas seguintes empresas: *Garland*, *Grilo* e *Pampilar*. As empresas mencionadas utilizam estas parcelas para armazenamento de mercadoria. O objetivo principal nestas três parcelas é implementar melhorias a nível de sistema de iluminação, isolamento térmico e aquecimento da água.

Existem zonas para estacionamento e para descarga nas zonas envolventes de cada parcela em questão, como pode ser observado no Anexo A.

Na Tabela 2.1 encontra-se a estrutura do edifício.

Tabela 2.1 - Estrutura do Edifício

Piso	Parcela	Espaço	Área [m <sup>2</sup> ]
1	1.1	Armazém1	15004,0
1	1.2	Balneários Masculinos	30,50
1		Balneários Masculinos	41,90
1		Apoio	7,15
1	1.3	Cantina	35,30
1		WC	2,50
1		WC 2	2,50
1		Open space	30,70
1		Sala de reuniões	30,90
1		Sala de fumar	14,30
1	1.4	Anexo1	127,20
1		Anexo2	132,50
1		Anexo3	151,00
1		Anexo 4	100,70
1	2.1	Armazém2	2086,30
1	2.2	Showroom	21,10
1		Recepção	17,0
1		Refeitório	14,85
1		WC	2,70
1		Balneário Masculino	13,70
1		Balneário Feminino	13,20
1		Corredor	8,22
1		Corredor 2	15,2
1	2.3	Armazém	88,70
1		Zona de Descargas	210,30
1		Zona de Passagem	-
1		WC2	3,55
1		Sala	3,55
1	3.1	Armazém 3	1854,30
1	3.2	Zona Técnica1	40,60
1		Arrumos	17,20
1		Controlo recepção	27,60
1		Zona Técnica 2	129,80
1	4.1	Armazém 4	6602,00

#### 4 Caracterização da Instalação Fabril

1		Escritório1	29,50
1		Escritório2	76,90
1	4.2	Escritório3	32,60
1		Controlo receção	10,90
1		WC1	11,60
1		WC2	16,70
1	4.3	Hall	11,60
1		Apoio	16,70
1		Antecâmara1	3,90
1		Receção	10,20
1		Copa	6,00
1		Hall2	29,00
1	4.4	Antecâmara2	2,70
1		Sala de reuniões1	11,90
1		Sala de reuniões2	12,25
1		WC	14,80
1		WC masculino	11,70
1		WC feminino	8,60
2		Escritório1	8640
2		Escritório2	244,60
2	4.5	Escritório3	13,60
2		Escritório4	13,50
2		Escritório5	36,90
2		Escritório6	21,20
2	4.6	Escritório7	16,40
2		Sala de apoio	27,40
2		Auditório	348,60

Efetuada os cálculos para determinar qual a área total de cada parcela do edifício:

- Parcela 1: 15711,15 m<sup>2</sup>
- Parcela 2: 2498,37 m<sup>2</sup>
- Parcela 3: 2069,5 m<sup>2</sup>
- Parcela 4: 7508,15 m<sup>2</sup>
- Total: 27787,17 m<sup>2</sup>

## 2.2- Caracterização das Luminárias

### 2.2.1 Tipo de Luminárias

Neste subcapítulo é analisado o sistema de iluminação presente no edifício. Como já foi referido, existem três parcelas ocupadas. Vão ser identificadas as luminárias presentes nestas três parcelas.

Na Tabela 2.2, Tabela 2.3 e Tabela 2.4 são caracterizado os sistemas de iluminação quanto ao tipo de luminárias nas Parcelas 1,2 e 3, respetivamente.

**Tabela 2.2-** Caracterização da luminária presente na Parcela 1

Lâmpada	Nº lâmpadas	Potência (W)	Casquilho	Espaço
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	427	250	E40	Armazém1
Fluorescente compacta 18W	9	18	E27	Balneários Fem.
Fluorescente compacta 18W	13	18	E27	Balneários Masc.
Fluorescente compacta 18W	3	18	E27	Apoio
Fluorescente compacta 18W	11	18	E27	Cantina
Fluorescente compacta 18W	1	18	E27	WC
Fluorescente compacta 18W	1	18	E27	WC
Fluorescente compacta 18W	9	18	E27	Sala de reuniões
Fluorescente compacta 18W	4	18	E27	Sala de fumar
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	E35	Anexo1
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	E35	Anexo2
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	E35	Anexo3
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	2	36	E35	Armazém
<b>Total</b>	<b>487</b>	-	-	-

**Tabela 2.3** - Caracterização da luminária presente na Parcela 2

Lâmpada	Nº lâmpadas	Potência (W)	Casquilho	Espaço
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	80	250	E40	Armazém2
Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	12	18	E27	Showroom
Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	5	18	E27	Receção
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	2	15	E27	
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	1	18	E27	Balneário Masc.
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	5	15	E27	
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	1	15	E27	Balneário Fem.
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6	18	E27	
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6	18	E27	Refeitório
Lâmpada Fluorescente compacta 15W	1	15	E27	WC
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	18	E27	Corredor
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	18	E27	Corredor 2
Lâmpada fluorescente 36 W T8	2	36	E27	Anexo4
Lâmpada fluorescente 36 W T8	4	36	E35	Zona de Passagem
Lâmpada fluorescente 36W T8	1	36	E35	Sala
Lâmpada fluorescente 36W T8	1	36	E35	WC2
-	-	-	-	Zona de Descarga
<b>Total</b>	<b>129</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tabela 2.4** - Caracterização da luminária presente na Parcela 3

Lâmpada	Nº lâmpadas	Potência (W)	Casquilho	Espaço
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	52	250	E40	Armazém3
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	2	18	E40	Zona Técnica1
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	2	18	E40	Arrumos
Fluorescente compacta 18W	18	18	E27	Controlo receção
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	4	18	E40	Zona Técnica 2
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Como pode observado pela Tabela 2.2, Tabela 2.3 e Tabela 2.4 as luminárias utilizadas nos principais locais de armazenamento (Armazém 1, Armazém 2 e Armazém 3) estão desatualizadas, sendo necessário proceder à sua substituição por umas mais recentes. As restantes luminárias apesar de não serem as mais recentes, para a utilização dada não necessitam de mudança.

De notar que as lâmpadas de luz mista possuem luminárias suspensas para lâmpadas de descarga, enquanto as lâmpadas fluorescentes de 15 e 18 W possuem *downlights* de encastrar. Relativamente às lâmpadas fluorescentes de 36 W, estas possuem luminárias industriais. Ver Figura 2.1, Figura 2.2 e Figura 2.3.



**Figura 2.1** - Lâmpadas fluorescentes de 15 W e 18 W (respetivamente) presente nas diferentes parcelas



**Figura 2.2** - Lâmpadas fluorescentes de 250 W presente nas diferentes parcelas



Figura 2.3 - Lâmpada de luz mista de 250 W (avariada) da Parcela

### 2.3- Automatismos e Segmentação de Circuitos

Neste edifício não há qualquer tipo de detetores de presença, ou mecanismos que previnam o consumo elétrico desnecessário. Por outro lado, os subcomandos do sistema elétrico estão organizados de forma simples com um comando por sala, ou seja, todas as luminárias presentes numa divisão são acionadas com apenas um interruptor, e não há forma de apenas ligar as zonas necessárias de forma a reduzir os consumos energéticos.

### 2.4- Níveis de Luminância

A iluminância (ver Figura 2.4) ( $E$ ) é o fluxo luminoso ( $\Phi$ ) recebido por unidade de área ( $S$ ) devendo estar uniformemente iluminada por toda a sua área e exprime-se em lux. A iluminância estabelece a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular entre uma superfície e a sua área. [1]

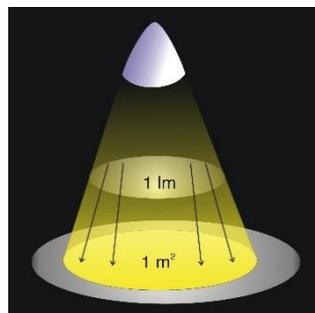


Figura 2.4 - Iluminância [2]

De acordo com a Norma EN 12464-1 cada tipo de divisão necessita de um dado valor de iluminância. Na Tabela 2.5 apresentam-se os níveis de iluminância recomendados pela Norma EN 12464-1 para os diferentes espaços-tipo.

**Tabela 2.5** - Iluminância de acordo com a Norma EN 12464-1 [3]

Divisão	Iluminância requerida (lux)
Armazém	200
WC/Balneário	200
Escritório	500
Hall/Receção/salas de apoio	100
Zona Técnica/Arrumos/Corredor	100
Cantina	200

Tendo presentes os níveis de iluminância recomendados, foram efetuadas medições de iluminância no edifício, com o objetivo de confrontar estes valores com os da Tabela 2.5. Optou-se por efetuar duas medições por espaço: com iluminação artificial e iluminação natural presente e apenas com iluminação natural.

Para o efeito foi utilizado o Luxímetro HT307 (ver Figura 2.5) para a medição.

Apenas são apresentadas as medições para a Parcela 2 pois as restantes parcelas são idênticas e possuem os mesmos problemas.



**Figura 2.5** - Luxímetro HT307 utilizado para medição de iluminância

Os resultados das medições encontram-se na Tabela 2.6, Tabela 2.7, Tabela 2.8 e Tabela 2.9.

Tabela 2.6 - Níveis de Iluminância Medidos (1)

Espaço	Zona	Iluminância diurna sem iluminação artificial	Iluminância diurna com iluminação artificial
		(lux)	(lux)
A	1	230	534
	2	226	530
	3	262	515
	4	6	116
	5	32	110
	6	21	102
B	1	176	447
	2	210	429
	3	172	282
	4	145	335
	5	124	315
	6	110	302
C	1	-	-
	2	40	64,9
	3	18	56,1
	4	5	58,2
	5	4	63,3
D	1	-	-
	2	18	49,2
	3	4	71,2
	4	5	96,2
	5	7	69,8

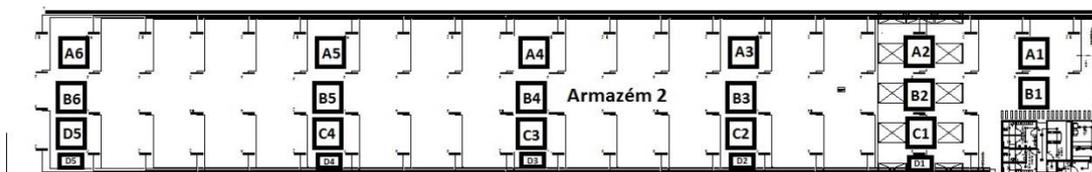


Figura 2.6 - Zonas alvo de medições no Armazém 2

Tabela 2.7 - Níveis de Iluminância Medidos (2)

Espaço	Zona	Iluminância diurna sem iluminação artificial	Iluminância diurna com iluminação artificial
		(lux)	(lux)
Showroom	1	206	231
	2	95	137
	3	152	172
Recepção	1	13,6	69,7
	2	88,2	186,9
WC	1	-	220
Corredor	1	5,8	35
Refeitório	1	68,2	132
	2	18,7	52
	3	8,5	44

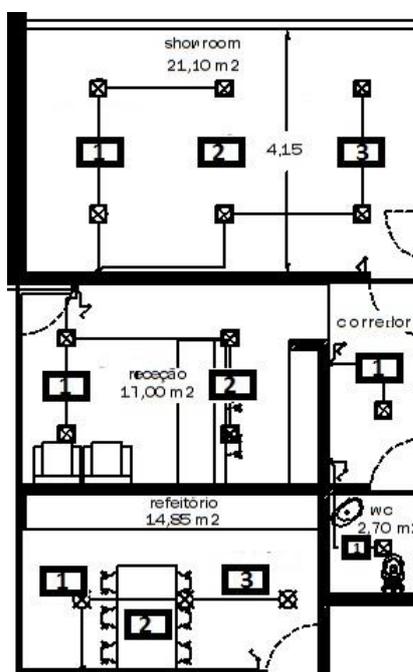


Figura 2.7 - Zonas alvo de medições no refeitório, WC, Corredor e Showroom

**Tabela 2.8** - Níveis de Iluminância Medidos (3)

Espaço	Zona	Iluminância diurna sem iluminação	Iluminância diurna com iluminação
		artificial (lux)	artificial (lux)
Corredor2	1	32	133
	2	15	121
Balneário Masc	1	-	210
	2	-	52
	3	-	161
Balneário Fem	1	-	136,2
	2	-	166,7
	3	-	44

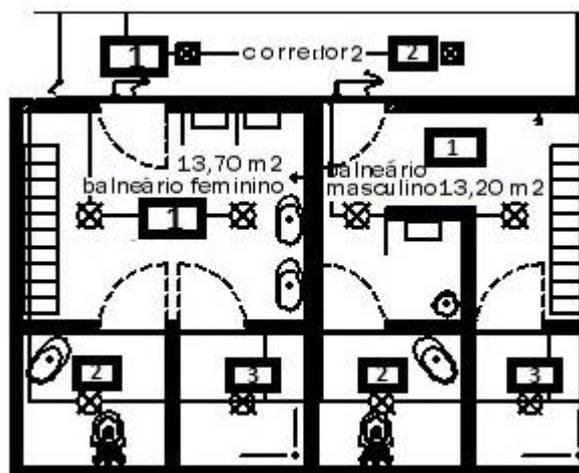
**Figura 2.8** - - Zonas alvo de medições no corredor 2, Balneário Feminino e Balneário Masculino

Tabela 2.9 - Níveis de Iluminância Medidos (4)

Espaço	Zona	Iluminância diurna sem iluminação	Iluminância diurna com iluminação
		artificial (lux)	artificial (lux)
Zona de descarga	1	154	-
	2	233	-
Armazém	1	272	-
Sala	1	162	364
WC2	1	-	208
Zona de Passagem	1	352	-

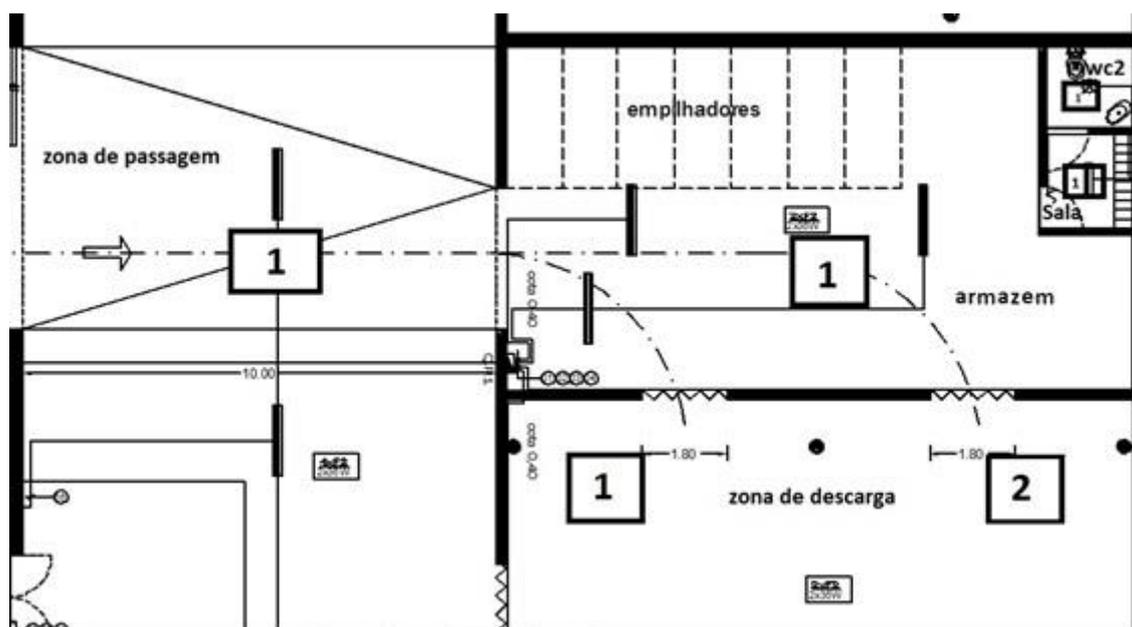


Figura 2.9 - Zonas alvo de medições no Armazém, WC22, Sala, Zona de Descarga e Zona de Passagem

Pode ser constatado pela Tabela 2.6, Tabela 2.7, Tabela 2.8 e Tabela 2.9 (em comparação com a Tabela 2.5) que apesar das zonas A1, A2 e A3 do Armazém 2, zona 1 da Showroom e zona 1 do Balneário Masculino terem a iluminância necessária, as restantes zonas não possuem de acordo com a Norma EN 12464-1.

De referir que as zonas A1, A2 e toda a zona B do Armazém 2, a *Showroom*, Zona de descarga, Zona de Passagem, Armazém., Sala, Refeitório e Receção “possuem” iluminação natural, o que eleva a iluminância nestas divisões em determinadas zonas.

De referir que as zonas A1, A2 e toda a zona B do Armazém 2, possuem claraboias (telhas transparentes), bem como um portão (sempre aberto nas horas de expediente, com cerca de 4 metros de altura e 10 metros de largura) que contribui para uma iluminância satisfatória (ver Tabela 2.6).

Relativamente à iluminância natural presente nos espaços *Showroom*, Refeitório e Receção advêm da janela lateral (cada espaço possui uma), daí esta decrescer ao longo das zonas com o afastamento das referidas janelas (ver Tabela 2.7). O corredor 2 recebe iluminação natural através da janela lateral existente no Refeitório e da porta de acesso a este espaço (ver Tabela 2.8).

Por último temos a Zona de Passagem e Zona de Descarga que são espaços abertos, sendo esse o motivo para obterem iluminação natural (ver Tabela 2.9). Já o Armazém possui as mesmas características do Armazém 2, sendo que o portão é mais pequeno (cerca de 3 metros de altura e 6 metros de largura), sendo que a Sala recebe iluminação natural proveniente do Armazém (ver Tabela 2.8).

## 2.5- Estimativas de Consumo em Iluminação nas Diferentes Parcelas

Neste subcapítulo são estimados os consumos de energia elétrica presentes em cada parcela. Como são usados balastros magnéticos considerou-se um consumo das lâmpadas acrescido de 20%. Desprezou-se eventuais perdas na cablagem. Para calcular o consumo dos espaços foi utilizada a Equação (2.1). Os cálculos realizados foram para 23 dias e para um horário de trabalho das 8h às 17h, perfazendo 8h, com uma hora para almoço.

$$\text{Consumo (kW.h)} = P(\text{kW}) * n^{\circ}\text{horas/mês (h)} \quad (2.1)$$

Na Tabela 2.10, Tabela 2.11 e Tabela 2.12 são registados os consumos existentes para as várias parcelas.

**Tabela 2.10 - Consumo da Parcela 1**

Lâmpada	Espaço	Energia	Energia consumida mês
		consumida mês (kWh/mês)	com balastro magnético (kWh/mês)
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	Armazém1	19642	23570,4
Fluorescente compacta 18W	Balneários Femininos	29,808	35,77
Fluorescente compacta 18W	Balneários Masculinos	43,056	51,667
Fluorescente compacta 18W	Apoio	9,936	11,923
Fluorescente compacta 18W	Cantina	36,432	43,718
Fluorescente compacta 18W	WC	3,312	3,974
Fluorescente compacta 18W	WC 2	3,312	3,974
Fluorescente compacta 18W	Sala de reuniões	29,808	35,77
Fluorescente compacta 18W	Sala de fumar	13,248	15,898
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	Anexo1	19,872	23,846
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	Anexo2	19,872	23,846
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	Anexo3	19,872	23,846
Osram Lâmpada fluorescente 36 W	Anexo 4	13,248	15,898
<b>Total</b>	-	<b>19883,776</b>	<b>23860,531</b>

Tabela 2.11 - Consumo da Parcela 2

Lâmpada	Espaço	Energia	Energia consumida mês
		consumida mês	com balastro magnético
		(kWh/mês)	(kWh/mês)
Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	Armazém2	3680	4416
Osram Fluorescente compacta 18 W	Showroom	39,744	47,692
Fluorescente compacta 18W	Receção	22,08	26,496
Fluorescente compacta 18W	Balneário Masc	17,112	20,534
Fluorescente compacta 18W	Balneário Fem	22,632	27,158
Fluorescente compacta 18W	Refeitório	19,872	23,846
Fluorescente compacta 18W	WC	2,76	3,312
Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	Corredor	6,624	7,948
Fluorescente compacta 18W	Corredor 2	6,624	7,948
Fluorescente compacta 18W	Armazém	13,248	15,898
Lâmpada fluorescente 36W T8	Zona de Passagem	26,496	31,795
Lâmpada fluorescente 36W T8	Sala	6,624	7,948
Lâmpada fluorescente 36W T8	WC 2	6,624	7,948
<b>Total</b>	-	<b>3870,44</b>	<b>4644,528</b>

Tabela 2.12 - Consumo da Parcela 3

Lâmpada	Divisão	Energia consumida	Energia consumida mês com
		mês	balastro magnético
		(kWh/mês)	(kWh/mês)
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	Armazém3	2392	2870,4
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	Zona Técnica1	92	110,4
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	Arrumos	92	110,4
Fluorescente compacta 18W	Controlo receção	59,616	71,539
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	Zona Técnica 2	184	220,8
<b>Total</b>	-	<b>2819,616</b>	<b>3383,5392</b>

Como pode ser constatado pela Tabela 2.10, Tabela 2.11 e Tabela 2.12 os consumos existentes nas diferentes parcelas são altas, principalmente no Armazém 1, Armazém 2 e Armazém 3. Isto acontece devido aos balastos serem antigos e as luminárias e respetivas lâmpadas, já estarem na fase descendente e não estarem nas condições ideais pra iluminar os respetivos espaços. Devido a estes fatores existe o aumento da energia consumida.

## 2.6- Domínio de Intervenção Proposta

Tendo em conta a análise efetuada sobre os níveis de iluminância nas divisões da Parcela 2 e ainda sobre a existência/inexistência de sistemas de comando de controlo e de subdivisões por zona na mesma parcela, constata-se que é um cenário que promove uma profunda intervenção que envolve a substituição de luminárias e implementação de sistemas com as funções necessárias.

Na Tabela 2.13 é incluída a lista de luminárias danificadas da Parcela 2. É incluída esta tabela, pois os níveis de iluminância presentes nos diferentes espaços não são os requeridos devido à presença de lâmpadas danificadas.

**Tabela 2.13 - Identificação da luminária danificada na Parcela 2**

Lâmpada	Nº lâmpadas	Espaço	Zona	Nº lâmpadas danificadas
Osram Lâmpada de luz mista 250 W	80	Armazém2	A5 e B3	2
Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	12	Showroom	1,2 e 3	4
Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	5	Receção	1 e 2	3
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	2		-	0
Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	1	Balneário Masculino	3	1
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	5		2	1
Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	1	Balneário Feminino	-	-
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6		1 e 2	2
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6	Refeitório	1	1
Lâmpada Fluorescente compacta 15W	1	WC	-	-
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	Corredor	1	1
Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	Corredor 2	-	-
Lâmpada fluorescente 36 W T8	2	Anexo4	-	-
Lâmpada fluorescente 36 W T8	4	Zona de Passagem	-	-
Lâmpada fluorescente 36W T8	1	Sala	-	-
Lâmpada fluorescente 36W T8	1	WC2	-	-
-	-	Zona de Descarga	-	-
<b>Total</b>	<b>129</b>	-	-	<b>15</b>

Podemos então concluir que devido às lâmpadas danificadas em cada divisão (Tabela 2.13), e também devido ao facto de existirem bastantes lâmpadas (principalmente no Armazém 2) abaixo do seu nível de capacidade normal, as condições necessárias para os trabalhadores sentirem confortáveis não são as ideais.



## Capítulo 3

# Estudo Tecno-Económico: Tecnologia de Iluminação

Em virtude de não ser possível realizar uma análise exaustiva de todas as parcelas, é apenas realizado o estudo tecno-económico para o sistema de iluminação presente na Parcela 2 do edifício, sendo realizada a comparação entre duas soluções escolhidas.

Numa primeira fase é efetuada uma caracterização geral destes dois tipos de lâmpadas. Na fase seguinte são definidas quais as lâmpadas que são necessárias trocar nos espaços da zona 2.2 (ver Tabela 2.1).

De seguida é realizado o estudo luminotécnico do Armazém 2, tendo em conta um conjunto de dados do edifício, devidamente evidenciados no Capítulo 2. De entre esses dados, temos os seguintes: número de horas de funcionamento do sistema luminotécnico; níveis de iluminância medidos; estado de conservação dos equipamentos.

O estudo luminotécnico permite escolher as lâmpadas, as luminárias e eventuais equipamentos auxiliares necessários. Na quarta fase é realizado o estudo económico propriamente dito, enquanto na quinta e última fase é feita a análise comparativa entre as soluções e são tiradas as conclusões.

### 3.1- Breve Síntese sobre Tipo de Lâmpadas

Os tipos de lâmpadas existentes são divididos em quatro grandes famílias: lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga, lâmpadas de LED e lâmpadas de indução. As lâmpadas incandescentes estão divididas em lâmpadas de filamento e halogéneo. Já a divisão das lâmpadas descargas está presente no subcapítulo seguinte. [1]

Como já referi vão ser apenas abordadas as lâmpadas de LED e as lâmpadas de descarga, sendo descritas as suas características no próximo subcapítulo (ver Capítulo 3.1.1 ). A razão para a escolha deste dois tipos de lâmpadas passou por uma pesquisa através de catálogos profissionais, principalmente da Philips, sendo que o tipo de luminária ideal para locais de armazenamento de grandes dimensões é a Câmpanula. Referente ao tipo de lâmpada as ideias são as de LED ou lâmpadas de descargas.

### 3.1.1 Características das Lâmpadas de Descarga

O princípio de funcionamento das lâmpadas de descarga assenta na condução da corrente num meio gasoso (vapor de mercúrio ou árgon) quando existe a formação de uma tensão capaz de vencer a rigidez dielétrica existente no meio.

Estas lâmpadas podem ser de baixa pressão ou de alta pressão. Dentro destes dois tipos existem vários subtipos identificados de seguida.

Tipos de lâmpadas de baixa pressão:

- Lâmpadas fluorescentes normais;
- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão.

Tipos de lâmpadas de alta pressão:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio com iodetos metálicos;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de luz mista.[1,6,7]

#### Lâmpadas fluorescentes tubulares

As lâmpadas fluorescentes normais (tubulares) são constituídas por um tubo de descarga alongado, tendo um elétrodo em cada extremidade (ver Figura 3.1). O funcionamento desta lâmpada baseia-se na excitação duma pequena quantidade mercúrio e gás inerte, presente no tubo de descarga, produzindo radiação ultravioleta. Através da substância fluorescente que reveste o interior deste tubo, a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada é transformada em luz visível.

Este tipo de lâmpadas é utilizado para estabelecimentos comerciais, áreas de armazenamento (entre outros espaços) e as suas principais características são as apresentadas na Tabela 3.1. [1,4,5]



Figura 3.1 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes tubulares [6]

**Tabela 3.1** - Características lâmpadas fluorescentes tubulares [1,4,5]

Duração de vida	7500 a 35000 horas
Temperatura de cor	2700 a 5000°K
Rendimento luminoso	75 a 95 lm/W
Tipo de casquilho	G5 e G13
Equipamentos auxiliares	Necessita de arrancador e balastro
Tempo de arranque	Instantâneo
IRC	63 a 98

### Lâmpadas fluorescentes compactas

As lâmpadas fluorescentes compactas (ver Figura 3.2) podem ser de dois tipos: integradas ou não integradas, conforme possuem, ou não, balastro integrado.

O funcionamento deste tipo de lâmpada é muito semelhante ao tradicional, sendo apenas mais compactas e compostas por um tubo de descarga curvado ou vários tubos de pequena dimensão.

As lâmpadas fluorescentes compactas integradas não necessitam de equipamentos externos, pois possuem uma alimentação incorporada, geralmente eletrónica. Estas têm como objetivo a substituição das lâmpadas incandescentes com o casquilho do tipo E27 e E14.

Quanto às lâmpadas fluorescentes compactas não integradas, são menos pesadas e mais económicas que as outras. Por outro lado, como o sistema de arranque é separado, ele pode ser reutilizável. As suas características podem ser observadas na Tabela 3.2. [1,4,5]

**Figura 3.2** - Exemplo de lâmpadas fluorescentes compactas [7]

**Tabela 3.2** - Características lâmpadas fluorescentes compactas [1,4,5]

Duração de vida	8000 horas
Temperatura de cor	2700 a 5400°K
Rendimento luminoso	40 a 60 lm/W
Tipo de casquilho	Edison ou tipo G
Equipamentos auxiliares	Pode necessitar de balastro
Tempo de arranque	Instantâneo
IRC	85 a 95

### Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (ver Figura 3.3) são bastante semelhantes às fluorescentes em termos de modo de funcionamento, mas em vez de utilizarem vapor de mercúrio, utilizam vapor de sódio. Neste caso o arranque apenas poderá ser efetuado mediante a ajuda de um gás inerte, que irá provocar a descarga elétrica no tubo, quando existir calor suficiente para vaporizar o sódio.

Este tipo de lâmpadas é muito utilizado em iluminação pública pois têm um tempo de vida útil e um rendimento luminoso bastante elevados, tendo vindo a substituir as lâmpadas de sódio de alta pressão. As suas características podem ser observadas na Tabela 3.3. [1,4,5]

**Figura 3.3** - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [1]

**Tabela 3.3** - Características lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão [1,4,5]

Duração de vida	12000 horas
Temperatura de cor	1700°K
Rendimento luminoso	100 a 200 lm/W
Tipo de casquilho	Edison
Equipamentos auxiliares	Necessita de balastro, ignitor e condensador
Tempo de arranque	10 minutos
IRC	0

### Lâmpadas de vapor de mercúrio com iodetos metálicos

As lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos (ver Figura 3.4) têm como grande vantagem, um excelente índice de restituição de cores, aspeto em que as lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio não possuem. A constituição da lâmpada é muito semelhante à de mercúrio de alta pressão, sendo a única diferença no tubo de descarga, onde os gases presentes são o mercúrio com emissores atômicos ou moleculares. A diferença entre os dois tipos encontra-se na produção do espectro, emitindo radiações sobre a forma de algumas riscas e emitindo um espectro contínuo, respetivamente.

A utilização é mais indicada para espaços abertos, tais como exposições, salas de conferências, entre outros. As suas características encontram-se na Tabela 3.4. [1,4,5]

**Figura 3.4** - Exemplo de lâmpada de vapor de mercúrio com iodetos metálicos [1]**Tabela 3.4** - Características lâmpadas de mercúrio com iodetos metálicos [1,4,5]

Duração de vida	3000 a 9000 horas
Temperatura de cor	3000 a 7000°K
Rendimento luminoso	80 lm/W
Tipo de casquilho	Edison
Equipamentos auxiliares	Necessita de ignitor, condensador e balastro
Tempo de arranque	4 minutos
IRC	85 a 95

### Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (ver Figura 3.5) são mais pequenas que as de baixa pressão e contêm mercúrio de modo a fornecer um gás de proteção. Também contêm sódio, dentro do tubo de descarga, que ao entrar num estado de excitação provoca vapor, que por sua vez dá origem à emissão de luz. Esta luz tem tonalidade rosada quando iniciada, passando gradualmente para uma luz alaranjada quando aquecida.

Um aspeto muito importante é a necessidade de recorrer a um tubo translúcido de alumínio, para suportar a elevada pressão e atividade química existente no arco de sódio.

Estas lâmpadas são muito eficientes na transformação de energia elétrica em luz, sendo por isso, muito utilizadas para iluminação exterior e segurança. As suas características encontram-se na Tabela 3.5. [1,4,5]



**Figura 3.5** - Exemplo de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [1]

**Tabela 3.5** - Características lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [1,4,5]

Duração de vida	12000 horas
Temperatura de cor	1900 a 2500°K
Rendimento luminoso	80 a 150 lm/W
Tipo de casquilho	Edison
Equipamentos auxiliares	Necessita de condensador, ignitor e balastro
Tempo de arranque	5 minutos
IRC	25 a 60

### Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (ver Figura 3.6) utilizam o mercúrio num estado excitado para originar a descarga com energia elétrica. Este tipo de lâmpada possui um pequeno tubo feito em quartzo fundido, estando dentro de uma lâmpada de vidro borossilicato. Desta maneira vai ser fornecido ao vidro isolamento térmico e proteção contra os raios ultravioleta emitidos. Existe ainda a hipótese de melhorar a restituição cromática através da utilização de material fluorescente.

Apesar de haver um uso regular das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão em iluminação de espaços para conferências ou espetáculos e para iluminação pública, este tipo de lâmpada será retirada do mercado em 2015. Esta eliminação foi decidida devido ao uso intensivo de mercúrio no seu fabrico, metal que é bastante tóxico, colocando bastantes problemas ambientais na eliminação de resíduos no fabrico destas. As suas características encontram-se na Tabela 3.6. [1,4,5]



**Figura 3.6** - Exemplo de lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [1]

**Tabela 3.6** - Características lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão [1,4,5]

Duração de vida	16000 horas
Temperatura de cor	3400 a 3500°K
Rendimento luminoso	40 a 60 lm/W
Tipo de casquilho	Edison
Equipamentos auxiliares	Necessita de condensador e balastro
Tempo de arranque	8 minutos
IRC	40 a 60

### Lâmpadas de vapor de mercúrio de luz mista

Este tipo de lâmpada tem uma vantagem importante sobre a lâmpada de vapor de mercúrio, que é não necessitar de equipamentos exteriores devido ao filamento de tungsténio incorporado na ampola. Este filamento está em série com o tubo de descarga, estando presente o mercúrio neste local, funcionando como balastro. O filamento também serve como fonte de luz, estando presente no arranque e funcionamento da lâmpada.

A lâmpada de luz mista é uma mistura da lâmpada incandescente e da lâmpada de vapor de mercúrio. Esta tem utilidade nos mesmos locais da lâmpada de vapor de mercúrio: iluminação pública ou espaços para conferências, entre outros. As suas características encontram-se na Tabela 3.7. [1,4,5]

**Tabela 3.7** - Características lâmpadas de vapor de mercúrio de luz mista [1,4]

Duração de vida	8000 horas
Temperatura de cor	3600 a 4100°K
Rendimento luminoso	18 a 26 lm/W
Tipo de casquilho	Edison
Equipamentos auxiliares	Pode necessitar de balastro
Tempo de arranque	8 minutos
IRC	60

### 3.1.2 Lâmpadas de LED

As lâmpadas de LED (Light Emitting Diode, ver Figura 3.7) são constituídas por díodos semicondutores que quando recebem energia emitem luz. Ao contrário das lâmpadas de filamento incandescente, estas atingem a máxima luminosidade sem necessitar de qualquer aquecimento. A luz não é monocromática, e a sua cor depende de qual o tipo de material semicondutor usado. Podemos ter, fundamentalmente, dois tipos de LEDs:

- LEDs azuis, revestido com uma camada de fósforo (absorve a luz azul e emite a cor branca);
- LEDs RGB, que como o nome indica possuem três cores (verde, vermelho e azul).

O díodo que está presente nas lâmpadas LED tem de funcionar com valores limitados de tensão e de corrente, pelo que tem de haver uma interface entre a lâmpada e o circuito elétrico, podendo ser usado um transformador para o efeito.

As vantagens das lâmpadas LED em relação às restantes são, no geral, as seguintes:

- Baixo consumo;
- Robustez;
- Não existe, praticamente, qualquer perda de calor;
- Tamanho reduzido;
- Elevado tempo de vida;
- Variada oferta de cores;
- Baixa temperatura.

As desvantagens destas lâmpadas são:

- Fiabilidade;
- Custo;
- Qualidade e projeção de luz.

Na Tabela 3.8 podem ser observadas as características deste tipo de lâmpada.



Figura 3.7 - Exemplo de lâmpada de LED [1]

Tabela 3.8 - Características lâmpadas de LED [1,4]

Duração de vida	35000 a 100.000 horas
Temperatura de cor	2700 a 6500°K
Rendimento luminoso	Até 130 lm/W
Tipo de casquilho	Edison ou tipo GU
Equipamentos auxiliares	Não
Tempo de arranque	Instantâneo
IRC	Até 90

Através da análise de cada tipo de lâmpadas existentes das lâmpadas de descarga, a escolhida para ser comparada com as lâmpadas de LDE são as lâmpadas fluorescentes tubulares, devido ao seu elevado tempo de vida útil, rendimento luminoso e IRC.

### 3.2- Substituição das Lâmpadas Danificadas

Tal como referido no Capítulo 2, existem lâmpadas danificadas em várias divisões, o que compromete a iluminância necessária de acordo com a Norma EN 12464-1. Para todas as divisões da Parcela 2 (exceto o Armazém 2) é proposto a substituição das lâmpadas danificadas por lâmpadas similares, pois através destas alcança-se o objetivo de obter a iluminância requerida e a redução do consumo através do sistema de comando proposto no Capítulo 4.

Na Tabela 3.9 encontra-se o número de lâmpadas a colocar em cada espaço da Parcela 2. Além de serem substituídas as lâmpadas danificadas referidas na Tabela 2.13, ainda são colocadas as lâmpadas indispensáveis para haver a iluminância necessária em cada espaço. Isto depende do número de espaços livres em cada luminária.

**Tabela 3.9** - Substituição das lâmpadas danificadas nas divisões da Parcela 2

<b>Espaço</b>	<b>Zona</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Nº Lâmpadas</b>
Showroom	2	18	2
	3	18	1
Receção	1	18	2
	2	18	1
Balneário Masculino	2	18	1
	3	18	1
Balneário Feminino	1	18	1
	2	18	1
	3	18	2
Refeitório	1	18	1
Corredor	1	18	1

### 3.3- Estudo Luminotécnico

#### 3.3.1 Seleção das Luminárias para o Armazém 2 (Parcela 2)

Devido à maior utilização do espaço referido (Armazém 2) é necessário uma substituição de todas as luminárias presentes de modo a maximizar a redução de energia consumida. Como já foi referido no início do Capítulo 3, as duas tecnologias que trazem maiores benefícios e constituem as duas opções de escolha para a substituição das luminárias em locais de armazenamento, são as lâmpadas de LED e lâmpadas fluorescentes. Seguidamente é realizada a escolha de luminária para cada tipo.

De referir que as soluções obtidas para os locais de armazenamento das parcelas 1 e 3 estão presentes no Anexo C.

A escolha da luminária para o Armazém 2 é realizada mediante a possibilidade destas serem inseridas no programa escolhido (*Dialux*). A sua potência, duração de vida, preço, rendimento luminoso, entre outros aspetos, são dados relevantes para a escolha.

Após análise e pesquisa de algumas marcas tais como a *Osram* e a *Philips*, a escolha da luminária de LED é a *GentleSpace* da *Philips* (ver Figura 3.8). A opção recaiu sobre esta luminária pois é especialmente adequada para este tipo de locais de armazenamento e um preço bastante acessível como pode ser constatado na Tabela 3.10. Outro motivo passa pelo facto de incluir as lâmpadas necessárias e um jogo de suspensão em E, ideal para o teto em questão. O rendimento luminoso, o IRC e o tempo de vida útil são outras características que levaram a esta escolha (ver Tabela 3.10 e Tabela 3.11). Os valores das características que constituem vantagem podem ser observados e comparados com os da Tabela 3.8. O controlador inserido na luminária (ver Capítulo 3.3.2) é essencial porque permite a ligação destas luminárias a sistemas *LON* e *Dynalite* (entre outros), temática abordada no Capítulo 4.

Esta luminária é do tipo Campânula e pode ser suspensa mediante a ligação de um jogo de suspensão em E e está disponível em dois tamanhos. O objetivo é a substituição das Campânulas convencionais com lâmpadas de 250 W (presentes no caso de estudo) e 400 W, prevendo-se uma redução de consumo na ordem dos 50% quando comparada com a luminária anteriormente mencionada (ver Tabela 2.3).

O material é constituído por um corpo de alumínio com fecho de vidro endurecido termicamente de 4/5 mm, super branco (aumenta a transmissão da luz), juntas de silicone e óticas PMMA sobre placa de LED. Na compra da luminária estão incluídos os seguintes acessórios:

- Jogo de suspensão em E;
- Balastro eletrónico regulável DALI (PSD);
- Ótica para estantes altas 2x65°-2x36 (HRO);
- Tampa ótica (GC).

As características desta luminária estão presentes na Tabela 3.10 e Tabela 3.11. [13]

**Tabela 3.10** - Características da luminária escolhida GentleSpace 1 [8]

Código	Potência (W)	Preço (€)	Temperatura Cor (°K)	IRC	Vida Útil (horas)
BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	200	973,68	4000	>80	70000

**Tabela 3.11** - Características da luminária escolhida GentleSpace 2 [8]

Fluxo Luminoso (lm)	Fluxo Luminoso Sistema (lm)	Rendimento Luminoso (lm/W)	Rácio da Intensidade Luminosa	Nº lâmpadas
25000	25,172	125	1,0	16



**Figura 3.8** - Exemplo duma luminária *GentleSpace* [8]

Relativamente à luminária fluorescente, a escolhida recai sobre a *High Bay T5 da Philips* (ver Figura 3.9), é igualmente do tipo Câmpanula, e tem o mesmo objetivo da luminária LED: substituir as Campânulas convencionais com lâmpadas de 250 W e 400 W. Esta promove uma redução de consumo de cerca de 20%, quando comparada com a luminária anteriormente mencionada (ver Tabela 2.3). Tal como a luminária LED é especialmente indicada para este tipo de locais de armazenamento. Outro dos motivos passa pelo facto de incluir as lâmpadas e os suportes de montagem e ganchos de suspensão, ideal para o teto em questão. Dentro das luminárias T5, o seu rendimento luminoso é satisfatório (ver Tabela 3.12 e Tabela 3.13), mas compensa com um preço mais baixo que as luminárias LED (ver Tabela 3.10 e Tabela 3.12 ). O tempo de vida útil, o IRC e a temperatura da cor (ver Tabela 3.12 e Tabela 3.13) estão acima dos valores médios da gama deste tipo de lâmpadas (ver Tabela 3.1). O balastro inserido na luminária (ver Capítulo 3.3.2 pois permite a ligação a sistemas de controlo LON e EIB (entre outros), sendo estes abordados no Capítulo 4.

A luminária é constituída por um corpo de aço pintado, um refletor de alumínio de alto brilho, um difusor de vidro temperado transparente (espessura de 4mm), clips e suportes em aço galvanizado. Na compra da luminária estão incluídos os seguintes acessórios:

Suportes de montagem e ganchos de suspensão;

Balastro eletrónico regulável DALI (HFD);

Feixe médio (MB).

As características desta luminária estão presentes na Tabela 3.12 e Tabela 3.13. [8]

**Tabela 3.12** - Características da luminária escolhida *High Bay T5 1* [8]

Código	Potência (W)	Preço (€)	Temperatura Cor (°K)	I RC	Vida Útil (horas)
BY360P 4xTL5-80W/840 HFD MB IP65	344	785,2 7	4000	> 80	35000

**Tabela 3.13** - Características da luminária escolhida High Bay T5 2 [8]

Fluxo Luminoso (lm)	Fluxo Luminoso Sistema (lm)	Rendimento Luminoso (lm/W)	Rácio da Intensidade Luminosa	Nº lâmpadas
26200	19126	76	0,73	4

**Figura 3.9** - Exemplo duma luminária *High Bay T5* [8]

Ambas as luminárias selecionadas possuem os índices de proteção IP65 e IK08, e são da Classe I.

A luminária de LED *GentleSpace* possui também a ENEC (Certificação Europeia de Normalização Elétrica). [13]

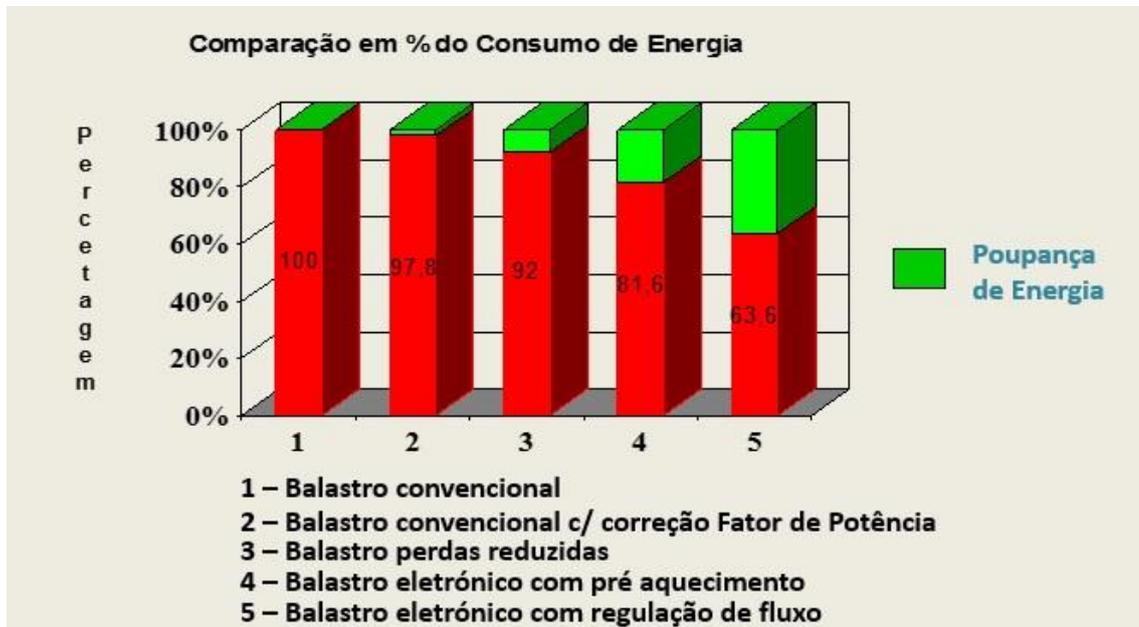
### 3.3.2 Equipamentos Auxiliares

Recorde-se que os equipamentos auxiliares utilizados pelas várias famílias das lâmpadas podem ter parte, ou a totalidade, dos seguintes equipamentos:

- Balastros;
- Ignitores;
- Condensadores de correção.

Os balastros têm como função limitar a intensidade de corrente das lâmpadas de descarga, existindo, fundamentalmente, dois tipos: magnéticos e eletrónicos. Os balastros magnéticos são constituídos por bobinas de limitação, e o seu factor de potência típico está compreendido entre 0,2 e 0,5. Existem três subtipos: convencional, convencional com correção de factor de potência e de perdas reduzidas. Os balastros eletrónicos permitem acender as lâmpadas de descarga em frequência superiores a 20 KHz, sendo caracterizados por um factor de potência

típico de 0,95. Na Figura 3.10 é apresentada uma síntese comparativa entre os vários tipos de balastros. [1]



**Figura 3.10** - Comparação entre balastro eletrônico e balastro convencional [1]

Como podemos observar pela Figura 3.10, para além da vantagem do consumo mais baixo, qualquer balastro eletrônico, apresenta várias vantagens:

- Diminuição do ruído e cintilação;
- Não necessita da utilização de arrancadores;
- Baixo consumo de energia;
- Aumento do tempo de vida útil das lâmpadas;
- Temperatura de funcionamento mais baixa;
- Maior luminosidade;
- Proteção contra variações de tensão e curto-circuitos;
- Melhor rendimento;
- Desligar automático das lâmpadas com defeito;
- Funcionamento estável sem efeitos estroboscópicos ou efeito *flicker*.

O uso de balastros eletrônicos permite uma economia de energia de 25-35%, comparando com o balastro eletromagnético convencional.

A vida útil das lâmpadas pode aumentar até 300% em aplicações com muitos arranques diários (por exemplo um sistema de iluminação com detetores de presença), através da utilização de balastros eletrônicos com arranque por pré-aquecimento. Nas aplicações mais usuais pode aumentar até 50% da vida útil.

Na Tabela 3.14 podemos observar quais os tipos de balastros eletrônicos existentes no mercado e quais as funções que estes possuem para lâmpadas fluorescentes, bem como os controladores para lâmpadas de LED na Tabela 3.15.

As classificações dos balastros não reguláveis vão desde A2BAT (*Best Available Technology*), A2, A3, B1 e B2. Relativamente a balastros reguláveis: estes variam entre A1 e A1BAT. [1,8,9]

**Tabela 3.14** - Características dos balastros eletrónicos para lâmpadas fluorescentes [9]

Sigla	Classificação	Funções
HFW	A2	Balastro eletrónico não regulável, arranque a quente.
HFD	A1	Balastro eletrónico regulável com comando analógico 1-10V
HFE	A1	Balastro eletrónico com sistema de regulação em função da luz natural ELS
D	A1BAT	Balastro eletrónico regulável com comando DALI
DE	A1BAT	Balastro eletrónico DALI com sistema de regulação em função da luz natural ELS
H	A1BAT	Balastro eletrónico de perdas reduzidas com compensação paralela
DD	A1BAT	Dois circuitos com balastro eletrónico regulável DALI, para aplicações de luz dinâmicas

**Tabela 3.15** - Características dos controladores para lâmpadas de LED [9]

Sigla	Funções
S	Não reguláveis
D	Reguláveis, com comando digital DALI
A	Reguláveis, com comando 1-10V analógico
DE	Reguláveis, digitais (DALI) com regulação da luz ELS dependente da luz natural
AE	Reguláveis, analógicos, com regulação da luz ELS dependente da luz natural

No caso da luminária de LED *GentleSpace*, esta possui um controlador eletrónico regulável digital DALI (D). A luminária *High Bay T5* dispõem de um balastro eletrónico HFD (DALI). Este possui a classificação A1, regulável com comando analógico (1-10V) DALI.

O sistema DALI permite obter mais flexibilidade no controlo das luminárias. Através deste sistema é possível o endereçamento, ajustabilidade e regulação analógica ou digital, permitindo um sistema de iluminação flexível. Pode ser ligado a computadores ou sistemas de gestão de edifícios como o EIB ou LON. [8,9]

### 3.3.3 Estudo Luminotécnico do *Dialux*

Neste subcapítulo é realizado o estudo luminotécnico com recurso ao *software Dialux*. O programa referido serve para realizar testes dos sistemas de iluminação que se pretende implementar no espaço a analisar. Este programa permite inserir ficheiros de *AutoCad* de modo a poder editar e personalizar as plantas do ponto de vista de iluminação.

O funcionamento do programa têm duas fases.

A primeira fase passa por introduzir os dados necessários para o funcionamento do programa:

1. Inserir ficheiro *AutoCad* e traçar a planta do espaço;
2. Selecionar a altura do teto;
3. Selecionar a luminária desejada;
4. Selecionar a iluminância pretendida;
5. Introduzir o número de horas de funcionamento diário;
6. Escolher o espaço a tratar.

A segunda fase passa por receber os resultados do programa:

1. Número de luminárias necessárias para a iluminância requerida;
2. Consumo das luminárias (kWh/mês);
3. Melhor disposição das luminárias.

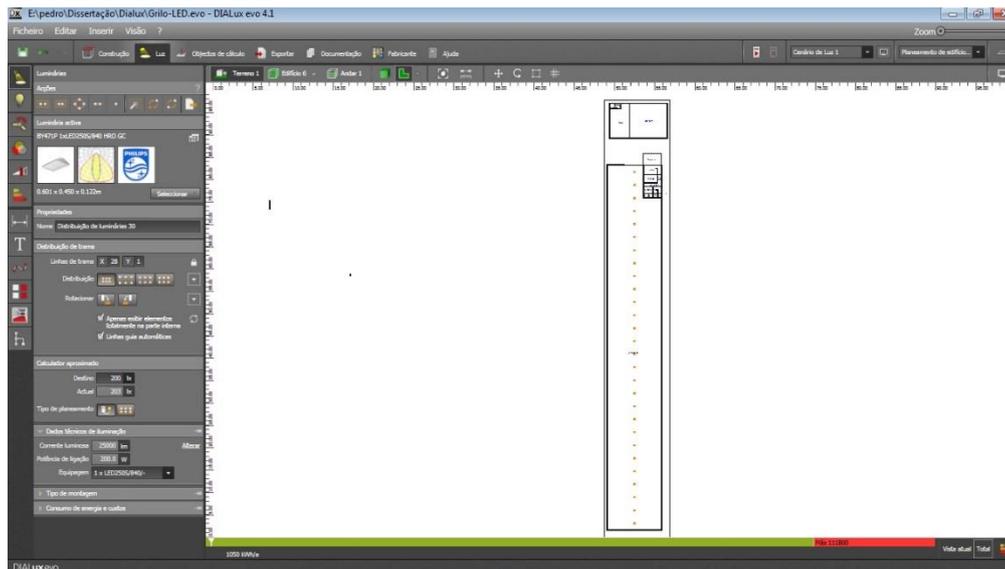
Como referido no Capítulo 2, a iluminância requerida para um Armazém de depósito de mercadorias é 200 lux (ver Tabela 2.5). Como existem períodos de tempo (nomeadamente no Inverno), onde a presença de luz natural é reduzida/nula, considerou-se no programa exatamente o valor de referência de 200 lux.

Na Figura 3.11 e Figura 3.12 e a Tabela 3.16 e

Tabela 3.17, podem ser observados os resultados obtidos, considerando as duas situações propostas (luminárias de LED e luminárias fluorescentes T5).

**Tabela 3.16 - Dados recolhidos do *Dialux* para as luminárias de LED *GentleSpace***

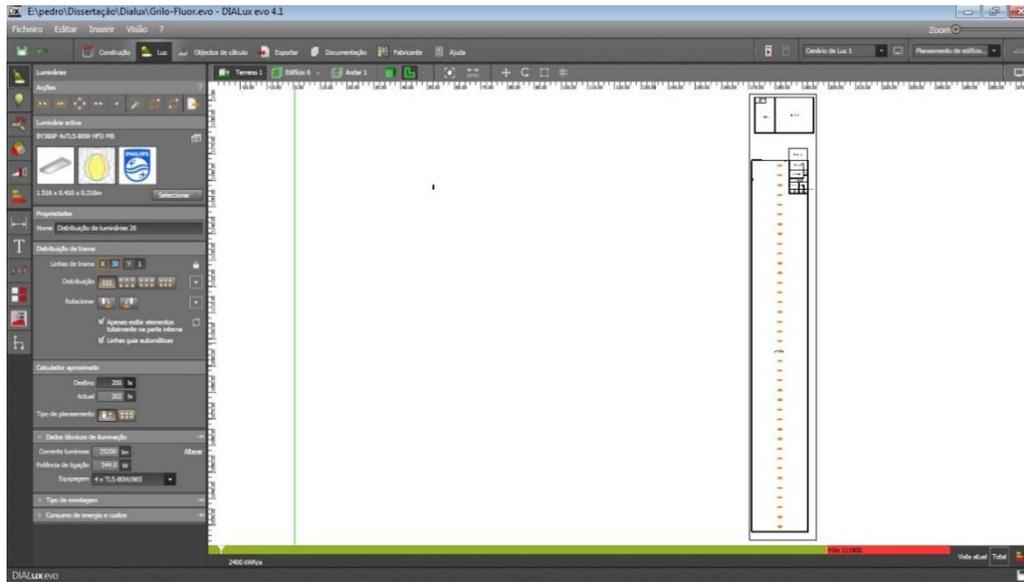
Nº Luminárias Necessárias	Energia consumida mês (kwh/mês)	Iluminância Produzida (lux)	Energia Consumida Anualmente (kWh/ano)
28	1030,4	203	12364,8



**Figura 3.11** - Aplicação da luminária de LED *GentleSpace* (BY471P LED250S/840 HRO GC SI) no programa *Dialux* para a divisão Armazém2, com iluminância requerida de 200 lux

**Tabela 3.17** - Dados recolhidos do *Dialux* para as luminárias fluorescentes *High Bay T5*

Nº Luminárias	Energia consumida mês	Iluminância Produzida	Energia Consumida Anualmente
Necessárias	(kwh/mês)	(lux)	(kWh/ano)
38	2405,25	202	28862,98



**Figura 3.12** - Aplicação da luminária fluorescente *High Bay T5* (BY360P 4xTL5-80W/840 HFD MB IP65) no programa *Dialux* para a divisão Armazém2, com iluminância de 200 lux

Como pode ser observado pela Tabela 3.16 e

Tabela 3.17, o número de luminárias essenciais para obter a iluminância requerida é superior nas luminárias fluorescentes, comparando com as de LED (28 contra 38 luminárias).

Relativamente ao consumo anual, comparando a energia consumida por ambas (ver Tabela 3.16 e

Tabela 3.17), a luminária *GentleSpace* consome menos 43% de energia elétrica do que a luminária *High Bay T5*. A iluminância média obtida é de 203 e 202 lux, respetivamente para a luminária de LED e luminária T5, sendo equivalentes neste aspeto.

Equacionando as duas soluções (LED e fluorescente) perante a situação atual presente de luminárias de luz mista de 250 W (4,416 kWh/mês, ou seja 52,292 kWh/ano, ver Anexo B e Tabela 2.11), observa-se que as luminárias fluorescentes permitem uma redução de 45,5 % no consumo, enquanto a solução de lâmpadas LED garante uma redução de 76,6 %. O número de luminárias necessárias reduz drasticamente da situação atual (80 luminárias) para 28 (65%) para luminárias de LED ou para 38 (52,5%) luminárias fluorescentes.

A conclusão a retirar do estudo na ferramenta *Dialux* é que a luminária de LED é a escolha mais acertada, tendo em conta os consumos apresentados. Mas é necessário saber se os projetos para as duas soluções são economicamente viáveis, sendo realizado um estudo técnico-económico para cada solução no seguinte subcapítulo.

## 3.4- Estudo Tecno-Económico

### 3.4.1 Introdução

Por norma, os três índices de avaliação económica das várias soluções existentes são os seguintes:

- Valor atual líquido (VAL);

- Taxa interna de rendibilidade (TIR);
- Período de recuperação do investimento (PRI).

Para o cálculo do VAL (equações (3.1) e (3.2), todos os fluxos de caixa anuais devem ser transportados para uma data presente. Para o efeito devem incluir-se todos os investimentos, todas as rendas componentes de exploração (tanto lucro como prejuízo) e os valores residuais (componente de desinvestimento).

$$VAL = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (3.1)$$

$$VAL = \sum_{k=0}^n \frac{-Invest.}{(1+i)^k} + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + \frac{Valor\ Residual}{(1+i)^n} \quad (3.2)$$

Conforme o sinal do VAL, assim temos diferentes interpretações:

- VAL > 0: Projeto produz excedentes financeiros para além do mínimo esperado;
- VAL = 0: Projeto economicamente viável no limite;
- VAL < 0: Projeto economicamente inviável.

Para o cálculo da TIR, deve ser resolvida a equação (3.3) em ordem a  $i$ , obtendo-se então uma taxa de juro equivalente à remuneração do capital.

$$0 = \sum_{k=0}^n \frac{-Invest.}{(1+i)^k} + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + \frac{Valor\ Residual}{(1+i)^n} \quad (3.3)$$

Para resolver esta equação é necessário aplicar um algoritmo iterativo, com bissecções sucessivas, experimentando-se com valores diferentes de  $i$ .

O primeiro objetivo é a descoberta de dois valores  $i^+$  e  $i^-$  da taxa que resultem num VAL negativo e positivo. De seguida varia-se o ponto médio do intervalo  $[i^+, i^-]$ , e escolhe-se diferentes sub-intervalos de forma a que estes dois valores de  $i$  gerem sempre VAL de sinal contrário. Desta maneira a TIR é calculada com a exatidão desejada.

Por fim, para o cálculo do PRI é necessário resolver a equação (3.5) (com R calculado pela equação (3.4)) em ordem a  $n$ . Deste modo, é calculado o número de anos necessário para que o capital inicial investido seja recuperado a partir dos fluxos financeiros líquidos gerados. [10]

$$R = G \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + M \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \frac{V}{(1+i)^n} \quad (3.4)$$

$$C = R \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.5)$$

<sup>1</sup> FC: Fluxo de Caixa; n: Vida Útil dos Equipamentos; i: Custo de Oportunidade; k: instante

<sup>2</sup> R: Renda; G: Valor poupança; M: Valor Manutenção; V: Valor Residual;

<sup>3</sup> C: Capital Inicial (Investimento)

### 3.4.2 Utilização de Luminárias de LED

O estudo tecno-económico requer os dados necessários para obter os resultados do VAL e do TIR. O cálculo de redução de consumo é obtido através dos custos associados ao consumo elétrico atual e com as luminárias de LED, sendo este feito com o uso da Equação (3.6) e a Tabela 3.18.

$$Custo (Mensal) = \sum_{a=0}^b P_w \times \% \text{ horas/dia } (Horário)_a \times Custo(Horário)_a^4 \quad (3.6)$$

**Tabela 3.18** - Preço da energia elétrica para Tarifas de Média Utilização para BTN> 20,7 kVA [11]

Preços energia horário de ponta (€)	Preços energia horário de cheias (€)
0,3029	0,152

Com o uso dos dados recolhidos dos encargos com iluminação, na situação atual e para o caso da solução LED são, respetivamente, 796,18 € e 185,86 € (mensal), ou seja, 9554,13 € e 2230,3 € (anual). Os cálculos realizados para obter os dados encontram-se no Anexo B e C.

Entretanto, outros coeficientes importantes para o cálculo dos Índices, são os seguintes:

- $n = \frac{70000(\text{horas})}{23(\text{dias}) * 8(\text{horas}) * 12(\text{meses})} = 31.7 \text{ anos}$
- $i = 10\%$
- Valor Residual = 0€
- Encargos de Manutenção = 0€
- Investimento =  $27363,04(28 \text{ luminárias} * 973,68) + 840 (\text{custo instalação de } 28 \text{ luminárias} * 30)^5 = 28103,04\text{€}$
- Economia de Consumo =  $9554,13 (\text{custo energia consumida Atual}) - 2230,3 (\text{custo energia consumida prevista com LED}) = 7323,83\text{€}$

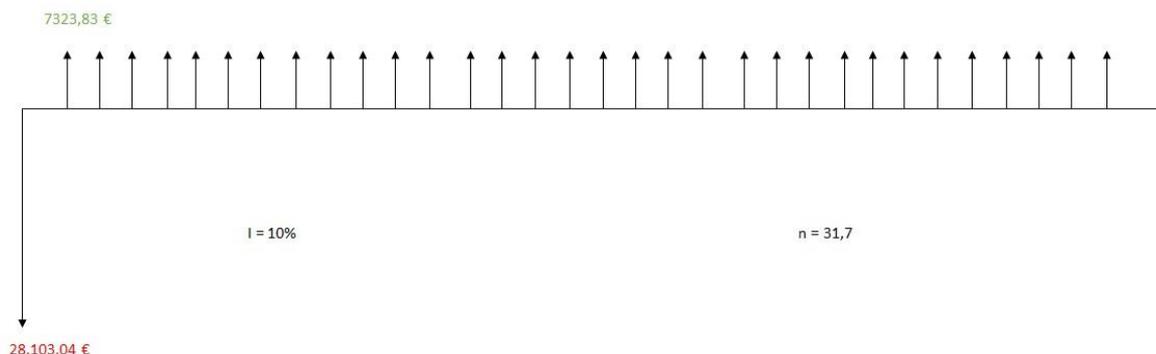
Note-se que foi considerado que o encargo com a Manutenção é zero, pois como é referido no Catálogo da Philips, a luminária não necessita de qualquer tipo de manutenção. Já o Valor Residual de uma luminária no final de vida pode ser considerado zero, pois no final do seu tempo de vida útil, o funcionamento estará por volta dos 50%, tornando-se obsoleto e sendo necessário a sua substituição. O custo de oportunidade escolhido foi 10% por ser um valor viável e ser o indicado a ser utilizado na referência [13].

Os valores utilizados para a vida útil e investimento encontram-se na Tabela 3.10.

<sup>4</sup> O somatório de a até b é para cada horário existente

<sup>5</sup> Custo de instalação por luminária - 30 €

Podemos, agora, estabelecer a representação gráfica dos fluxos financeiros (ver Figura 3.13).



**Figura 3.13** - Fluxos Financeiros para a solução LED

Observando a Figura 3.13 é constatado que o único valor negativo é o do investimento, sendo que nos restantes anos o valor pago inicialmente é amortizado pela economia de consumo anual.

Calculando então, finalmente, o VAL, temos:

$$VAL = -28103,04 + (0 + 7323,83) * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} + 0 = 41565,90 \text{ €}; VAL > 0 \rightarrow \text{Projecto Viável}$$

Como o VAL tem sinal positivo, podemos dizer que o projeto produz excedentes financeiros, ou seja, podemos passar ao cálculo do segundo índice de avaliação (TIR).

Para o efeito, recorde-se, é necessário resolver a equação seguinte, considerando o processo iterativo anteriormente referido, iniciado, no caso, com os valores de  $i_+$  e  $i_-$ , respetivamente de 22,5% e 30 % (ver Tabela 3.19).

$$0 = -28103,04 + \left( 7323,83 * \frac{(1 + i)^i - 1}{1 * (1 + i)^i} \right)$$

**Tabela 3.19** - Iteração do algoritmo da TIR para a solução de luminária de LED

i-	i+	(- +i+)/2	VAL
22.500			4394.999
	30.000		-3696.238
23.000	30.000	26.500	-481.986
23.000	26.500	24.750	1461.482
24.750	26.500	25.625	457.089
25.625	26.500	26.063	-20.753
25.625	26.063	25.844	216.174
25.844	26.063	25.954	96.677
25.954	26.063	26.009	37.302
26.009	26.063	26.036	8.245
26.036	26.063	26.050	-6.799
26.036	26.050	26.043	0.721
26.043	26.050	26.047	-3.577
26.043	26.047	26.045	-1.428

Na última linha da Tabela 3.19, chegou-se a um resultado do VAL próximo de zero, o que permitiu fechar o processo e retornar o valor da TIR a 26,04 % (sendo este arredondado por defeito, de forma a obter o resultado mais conservador).

Este valor significa que o projeto funciona como se os capitais investidos fossem remunerados a uma taxa de 26,04 %.

Ao comparar o valor do custo de oportunidade ( $i=10\%$ ) com o da TIR, podemos constatar que são valores que têm bastante distância (16,04 %) entre si. Este é um indicador da robustez da solução face ao risco, ou seja, indica que o projeto é economicamente interessante e viável.

Relativamente ao terceiro e último índice, o PRI, vamos utilizar as Equações (3.4) e (3.5), para obter o número de anos necessário para recuperar o investimento e a renda.

$$R = \left( 7323,83 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} \right) + 0 + 0 * \frac{0,1 * 1,1^{31,7}}{1,1^{31,7} - 1} = 7323,83€$$

$$28103,04 = 7323,83 * \frac{1,1^n - 1}{0,1 * 1,1^n} = 5,08 \text{ anos}$$

Como pode ser observado acima, a renda é de 7323,83€ e o tempo de recuperação do investimento é 5,08 anos. Como as lâmpadas têm um tempo de vida útil de cerca de 32 anos para a utilização requisitada neste projeto, significa que são perto de 27 anos de redução de custos, ou seja, são 197743,41€ de economia de consumo.

### 3.4.3 Utilização de Luminárias T5

Para realizar o estudo técnico-económico para a solução da luminária T5 são feitos os mesmos passos para a solução de luminária de LED (ver Capítulo 3.4.2 .

- $n = \frac{35000(\text{horas})}{23(\text{dias}) * 8(\text{horas}) * 12(\text{meses})} \times 2 = 31,7 \text{ anos}$
- $i = 10\%$
- Valor Residual = 0 €
- Encargos de Manutenção = 0 €
- Substituição das Lâmpadas = 760€ ( $5€ * 152 \text{ lâmpadas}$ )
- Investimento =  $29840,26(38 \text{ luminárias} * 785,27) + 1140 (\text{custo instalação de } 38 \text{ luminárias} * 30)^6 = 30980,26 \text{ €}$
- Economia de Consumo =  $9554,13 (\text{Custo da Energia Consumida Atual}) - 5023,82 (\text{custo energia consumida prevista com T5}) = 4350,31€$

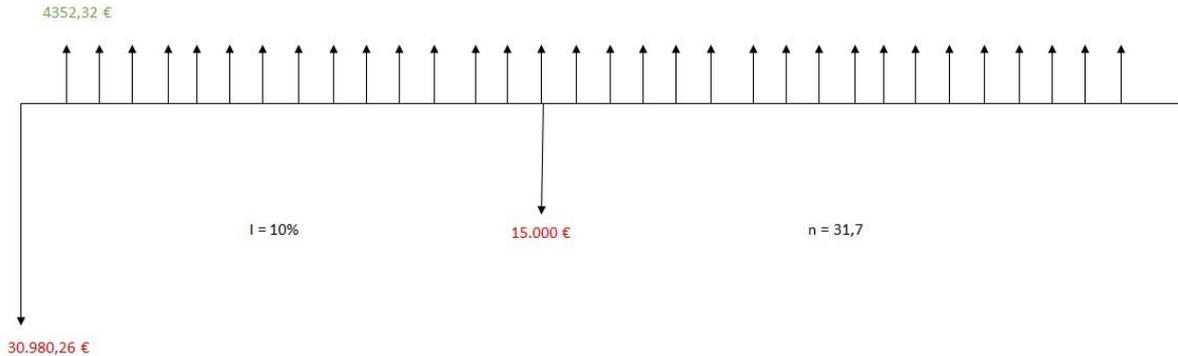
Note-se que foi considerado que o encargo com a Manutenção é zero, pois tal como é referido no Catálogo da Philips, a luminária não necessita de qualquer tipo de manutenção. Já o Valor Residual de uma luminária no final de vida pode ser considerado zero, pois no final do

<sup>6</sup> Custo de instalação por luminária - 30 €

seu tempo de vida útil, o funcionamento estará por volta dos 50%, tornando-se obsoleto e sendo necessário a sua troca. O custo de oportunidade escolhido foi 10%. [13]

De referir que os valores utilizados para a vida útil e para o investimento encontram-se na Tabela 3.12. O valor da vida útil é multiplicado por 2 neste caso, pois é considerado que existe uma troca das lâmpadas no fim da sua vida útil, daí existindo a Substituição das Lâmpadas. Este item tem o valor de 760 €, considerando o montante de 5€ por lâmpada (ver Tabela 3.12 e Tabela 3.13).

Desta forma pode ser estabelecido a representação gráfica dos fluxos financeiros (ver Figura 3.14).



**Figura 3.14** - Fluxos Financeiros para a solução T5

Como é observado na Figura 3.14 existem dois valores negativos do investimento e da substituição das lâmpadas ao fim do seu tempo de vida útil, sendo que nos restantes anos o valor pago inicialmente é amortizado pela economia de consumo anual.

$$VAL = -30980,26 - \frac{760}{1,1^{15,85}} + (0 + 4350,31) * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} + 0$$

$$= 10234,88 \text{ €}; VAL < 0 \rightarrow \text{Projecto Viável}$$

Como VAL tem sinal positivo, o projeto é economicamente viável para avançar, deste modo podemos passar ao cálculo do segundo índice de avaliação (TIR).

Para o efeito, recordemos, é necessário resolver a equação seguinte, considerando o processo iterativo atrás referido, iniciado, no caso, com os valores de  $i_+$  e  $i_-$ , respetivamente de 10 % e 20 % (ver Tabela 3.20).

$$0 = -30980,3 - \frac{760}{(1+i)^{15,85}} + \left( 4350,31 * \frac{(1+i)^i - 1}{1 * (1+i)^i} \right)$$

**Tabela 3.20** - Iteração do algoritmo da TIR para a solução de luminária T5

i-	i+	(- +i+)/2	VAL
10.000			10234.900
	20.000		-9338.170
10.000	20.000	15.000	-2406.520
10.000	15.000	12.500	2872.810
12.500	15.000	13.750	26.942
13.750	15.000	14.375	-1236.020
13.750	14.375	14.063	-617.720
13.750	14.063	13.907	-299.552
13.750	13.907	13.829	-138.144
13.750	13.829	13.790	-56.850
13.750	13.790	13.770	-15.006
13.750	13.770	13.760	5.955
13.760	13.770	13.765	-4.529
13.760	13.765	13.763	-0.336

Na antepenúltima linha da Tabela 3.20, chegou-se a um resultado do VAL próximo do zero, sendo então o valor do TIR 13,76% (arredondado por defeito de forma a obter o resultado mais conservador).

Este valor significa que os capitais investidos são remunerados a uma taxa de 13,76%. Constata-se que o valor do custo de oportunidade (i=10%) e TIR diferem em 3,76% e constitui um indicador de alguma robustez da solução face ao risco.

Relativamente ao terceiro e último índice, o PRI, são utilizadas as Equações (3.4) e (3.5), para obter o número de anos necessário para recuperar o investimento e a renda.

$$R = \left( 4350,31 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} \right) - \frac{760}{1,1^{15,85}} + 0 * \frac{0,1 * 1,1^{31,7}}{1,1^{31,7} - 1} = 4350,31€$$

$$28383,04 = 4350,31 * \frac{1,1^n - 1}{0,1 * 1,1^n} = 11,08 \text{ anos}$$

Como pode ser constatado, a renda é de 4350,31€ e o tempo de recuperação do investimento é 11,08 anos. Como as lâmpadas têm um tempo de vida útil de cerca de 32 anos para a utilização requisitada neste projeto, significa que são perto de 22 anos de economia de consumo após estar pago o seu investimento, que perfaz 91356,51 € de economia de consumo durante o ciclo de vida.

### 3.5- Comparação entre as duas Soluções

Conclui-se que a solução de luminárias de LED é a solução economicamente mais apelativa. Apesar de ambas necessitarem de investimento semelhante, a economia de consumo total com as luminárias LED é muito superior à gerada com as luminárias T5. Relativamente aos índices, VAL, TIR e PRI, a solução de LED's continua a ser mais vantajosa, com os índices de VAL e TIR superiores e PRI inferior. Uma análise comparativa dos dois casos é apresentada na Tabela 3.21.

Tabela 3.21 - Comparação dos Dados entre as Soluções de Luminárias de LED e T5

Dados	Luminárias de LED	Luminárias T5	Comparação (%)
Investimento (€)	28103,03	30980,26	8,38
VAL (€)	41565,90	10234,88	75,37
TIR (%)	26,04	13,76	47,16
PRI (anos)	5,08	11,08	54,15
Renda (€)	7323,83	4350,31	40,60
Economia de Consumo Total (€)	197743,41	91356,51	53,8

É importante analisar os desvios dos resultados apresentados na análise económica, face a situações (previsíveis) de aumentos de preços de eletricidade. Assim sendo, consideraram-se 3 cenários diferenciados, com aumentos de preços de, respetivamente, 1%, 2,5% ou 5% por ano. Com base nos valores da Tabela 3.21, efetuaram-se os cálculos dos desvios da economia de consumo, do VAL e do PRI (ver Figura 3.16, Figura 3.15 e Figura 3.17 e Tabela 3.22 e Tabela 3.23) para a solução das luminárias de LED.

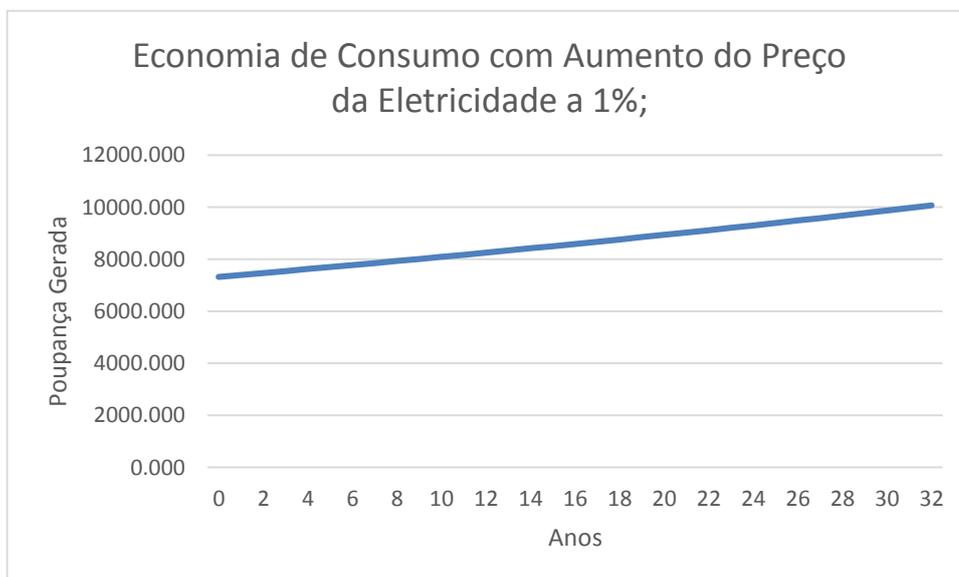
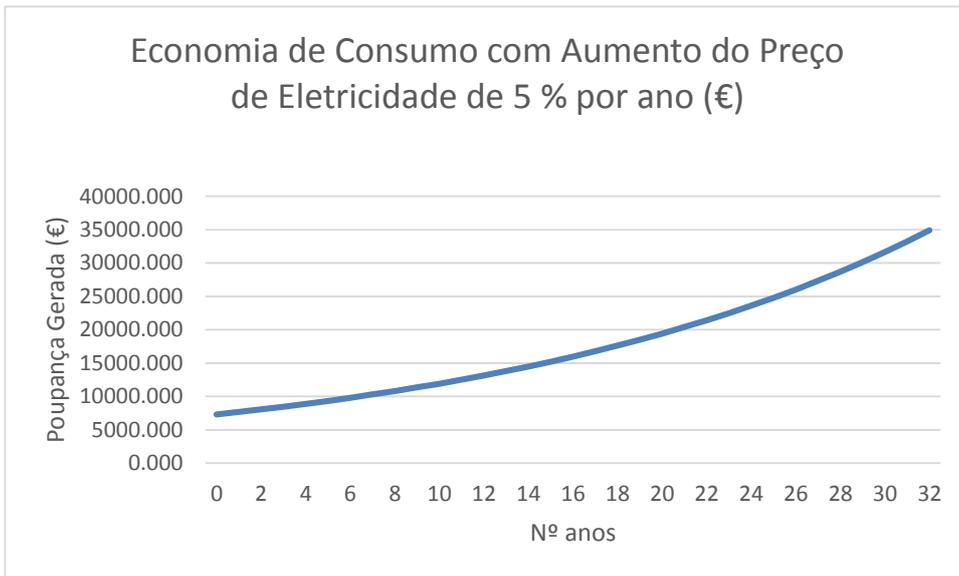
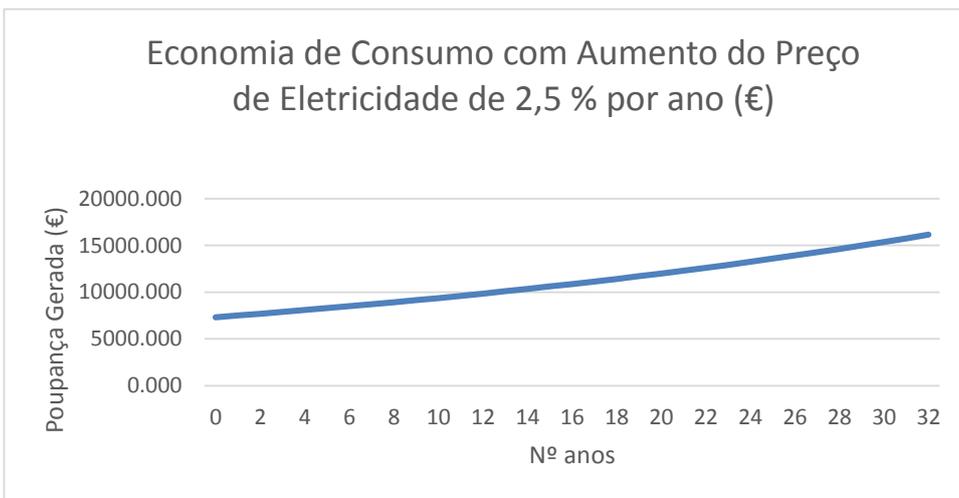


Figura 3.15 - Gráfico economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1% por ano para a solução LED



**Figura 3.17** - Gráfico da poupança gerada com o aumento do preço de eletricidade em 5 % por ano para a solução LED

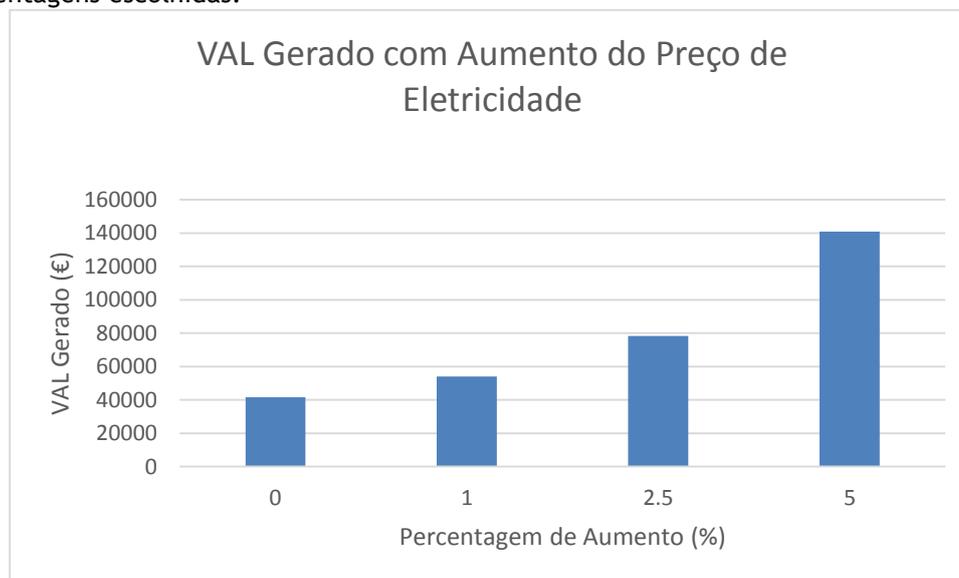


**Figura 3.16** - Gráfico economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5% por ano para a solução LED

**Tabela 3.22** - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade

Percentagem de Aumento (%)	Economia de Consumo Média Anual (€)	Economia de Consumo Total (€)
0	7323,83	234362,56
1	8626,364	284670
2,5	11175,28	368784,4
5	17768,89	586373,4

Para calcular o VAL, é utilizada a Economia de Consumo Média calculada para cada uma das percentagens escolhidas.

**Figura 3.18** - Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a solução LED**Tabela 3.23** - Comparação entre os diferentes VAL gerados por cada % de aumento do preço de eletricidade

Percentagem de Aumento (%)	VAL (€)
0	41565,9
1	53956,44
2,5	78203,35
5	140926

Podemos observar (ver Figura 3.18 e Tabela 3.23) que o VAL aumenta quase exponencialmente com o aumento dos preços da eletricidade, o que significa que o projeto fica mais robusto e sólido. Como pode ser observado na Figura 3.16, Figura 3.15 e Figura 3.17. O crescimento da economia de consumo não é significativo para que existam mudanças determinantes no PRI, não havendo necessidade de o calcular novamente, pois o seu valor mantém-se, aproximadamente, em 6 anos.

Os valores apresentados anteriormente são os esperados, pois com o aumento do custo de eletricidade a economia de consumo gerada é superior à economia gerada caso esta não aumentasse. Este aumento é mais um motivo para proceder à substituição das luminárias atuais pelas luminárias de LED.



## Capítulo 4

# Estudo Técnico-Económico: Tecnologia de Comando

Neste capítulo é apresentado um estudo tecno-económico incidindo sobre sistemas/equipamentos de comando/gestão (automáticos) de iluminação. Mais uma vez, é considerada a Parcela 2 do Edifício.

Numa primeira fase são tecidas considerações sobre iluminação natural e é efetuada uma caracterização de alguns sistemas/equipamentos daquele tipo que existem no mercado.

Posteriormente são identificados quais os equipamentos que poderão ser interessantes para o caso e de que forma é que estes podem ser implementados nos diferentes espaços com o devido aproveitamento de iluminação natural.

Finalmente é realizado o estudo económico propriamente dito, e no final são tiradas conclusões relativas aos dois sistemas de comando propostos.

### 4.1- Iluminação Natural

A iluminação natural, caso exista em abundância nos locais a projetar, desde que bem aproveitada (nas horas em que é mais intensa) pode conduzir a significativas economias em iluminação artificial. Para isso é necessário criar uma boa combinação entre iluminação natural e iluminação artificial, idealmente recorrendo a equipamentos automáticos capazes de fazerem uma gestão inteligente que satisfaça, ao longo de todo dia, as necessidades de iluminância requeridas pela atividade específica dos edifícios a projetar. De modo a que essa combinação seja viável, os edifícios necessitam de ter condições de iluminação natural aceitáveis. Além disso, os vidros devem possuir uma transmitância elevada, podendo ser colocadas películas refletivas sobre os vidros e proteções solares exteriores, para proteger os vãos da incidência direta do sol.

Existem duas técnicas de iluminação natural: lateral e zenital. O tipo de iluminação natural a ser usado vai depender de alguns fatores do edifício tais como a sua forma, disposição dos elementos e orientação do seu interior.

A técnica de iluminação lateral é a mais utilizada e está localizada nas paredes verticais dos edifícios. O grande objetivo neste tipo de técnica é ter janelas com grandes dimensões (o nível de iluminância decresce rapidamente com o afastamento da janela), de modo a facilitar a entrada de luz.

Quanto à técnica zenital, esta é utilizada quando não é possível usar a iluminação lateral de maneira eficiente. A técnica consiste em passar luz natural através de aberturas existentes na cobertura de um edifício, sendo mais recomendada em edifícios de maiores dimensões e com poucas janelas.

A maior utilização da iluminação natural vai ter como consequência a diminuição dos consumos energéticos na energia elétrica em iluminação, podendo a economia atingir valores de 30 a 70 %. [12]

## **4.2- Sistemas de Comando de Iluminação Básicos**

### **4.2.1 Sistemas de Gestão Horária**

A gestão horária permite a interação entre o circuito elétrico e a iluminação, estabelecendo quais os horários em que os circuitos devem ser interrompidos ou estar em funcionamento.

Existem dois tipos de programadores: de horário analógico ou de horário digital. Os de horário analógico permitem personalizar os horários da maneira mais básica, tais como períodos diários iguais para cada dia da semana, ou então horários iguais para toda a semana. Qualquer um destes tipos de programação permite um controlo básico mas quando se pretendem funções mais complexas (funções anuais, por exemplo), isso só é conseguido através dos programadores digitais. [4,12]

### **4.2.2 Controlo de Luminosidade**

O controlo automático de luminosidade pode ser feito de duas maneiras: com ou sem variação do fluxo luminoso das lâmpadas. A diferença entre os dois está no controlo da luminosidade sem variação do fluxo luminoso, consistindo basicamente num sistema ON/OFF (com predefinição de um valor de iluminância padrão). No caso de ser admitida a variação do fluxo, temos equipamentos mais caros, mas mais eficientes, pois o fluxo luminoso está em permanente variação, de forma a conseguir manter a iluminância num nível que se ajuste à iluminação natural.

As soluções existentes para o controlo do fluxo luminoso passam por soluções convencionais ou soluções com base em protocolos. As primeiras permitem o controlo sem variação do fluxo luminoso, e podem ser constituídas por um interruptor crepuscular, que possui uma sonda crepuscular associada que permite a medição da iluminação, havendo uma para utilização no exterior e outra no interior. Outra possibilidade é a utilização de interruptores astronómicos que efetuam o controlo através das coordenadas cartesianas do local, possuindo a grande vantagem de não necessitarem de sonda crepuscular.

Relativamente às soluções com base em protocolos, elas são baseadas no KNX, DALI, LON ou EIB, e permitem, para além da comutação, a variação do fluxo luminoso. Desta maneira o

sistema recebe a informação da luminosidade existente, e dependendo desta, o atuador é ativado ou não para garantir o nível de iluminação necessário.

Os sensores de movimento e presença permitem, como o nome indica, a ativação da iluminação quando surge alguém no espaço a iluminar, ou quando há permanência num espaço. Desta maneira, as luzes apenas irão ativar quando necessário, promovendo uma utilização mais económica. Existem vários tipos de sensores:

- Sensores de ocupação;
- Sensores de infravermelhos;
- Sensores ultra-sónicos;
- Sensores de luz natural;
- Sensores híbridos.

Os sensores de ocupação seguem a lógica seguinte: quando detetam a presença de alguém ligam a iluminação.

Os sensores de infravermelhos (ver Figura 4.1) são considerados passivos, pois apenas detetam o calor infravermelho emitido pelas pessoas não emitindo qualquer radiação. Devido ao curto limite de distância de atuação, estes sensores são mais adequadas para espaços pequenos.



**Figura 4.1** - Exemplo de sensor infravermelho [13]

Relativamente aos sensores ultrassónicos (ver Figura 4.2), estes ativam um cristal de quartzo que vai emitir ondas ultrassónicas em frequências superiores ao que o ser humano consegue detetar (entre 25 e 45 KHz), de forma a detetar a presença de pessoas. Através do efeito *Dopler* (comparação entre frequência do sinal refletido e sinal em alta frequência), qualquer diferença vai ativar o sensor. Este é mais usual ser usado para espaços abertos.



**Figura 4.2** - Exemplo de sensor ultrassónico [14]

Os sensores de luz natural atuam da mesma maneira que os sistemas de controlo com variação do fluxo luminoso, e variam o nível de iluminação artificial dependendo da informação recolhida pela fotocélula.

Por fim, existem os sensores híbridos que combinam duas tecnologias, infravermelho e ultra-som. Neste caso a iluminação é ativada apenas quando ambas as tecnologias são ativadas, o que torna este sensor bastante preciso. A desvantagem deste equipamento é o elevado preço, sendo aconselhado para salas de aula ou conferências, ou seja, em ambientes onde o grau de precisão exigido é elevado. [4,12]

### **4.3- Sistemas de Controlo propostos para o Edifício (Parcela 2)**

Na Parcela 2 existem divisões com as seguintes funções: armazéns, balneários e WC's, escritórios, corredores e refeitório. O nível de iluminância recomendado para estas funções é referido no Capítulo 2 (ver Tabela 2.5).

Tendo em conta as especificidades de cada espaço, no que respeita à função, ao layout (disposição de janelas, etc.), e à dimensão (ver Capítulo 2), aponta-se para a utilização dos seguintes equipamentos:

- Sensor de movimento (controlo por presença);
- Sensor do nível de luz natural (ajuste nível de luz conforme a atividade e presença de luz natural);
- Módulo de controlo de Iluminação (modelo de Integração KNX, LON, DALI).

Na Tabela 4.1 está descrito onde pode vir a ser utilizado cada tipo de sensor.

Tabela 4.1 - Locais de possível implementação dos sensores

Tipo de Sensor	Espaço
Sensor de movimento	Balneário Masculino Balneário Feminino WC WC 2
	Parte do Armazém 2 Receção Corredor Corredor 2
Sensor do nível de luz natural	Parte do Armazém 2 Refeitório Sala Showroom
	Receção Armazém Zona de Descarga Zona de Passagem

De forma a serem implementados os sensores necessários em cada divisão (ver Tabela 4.1) e de maneira a tirar o melhor partido destes, é necessário um sistema de controlo. No catálogo da *Philips* de 2015 existem três tipos de sistemas de controlo:

- Controlo individual ponto a ponto;
- Controlo em grupo;
- Controlo autónomo.

No primeiro tipo existem três sistemas diferentes sendo estes o *Dynalite*, *LightMaster LON*, *LightMaster KNX*, enquanto no segundo existe o *OccuSwitch DALI BMS*. Relativamente ao terceiro e último existe o Independente e Integrado na luminária.

O controlo individual ponto a ponto consiste num controlo do sistema por parte do utilizador, sendo este a definir em que momentos quer que seja acionado os comandos definidos, podendo ser utilizado por luminárias mais antigas. O controlo de grupo e o controlo autónomo serve para realizar um controlo mais independente por parte do sistema de iluminação, não havendo necessidade de tanto controlo por parte do utilizador, sendo necessário luminárias com balastros mais recentes para funcionar. [13]

Tal como está referido no Capítulo 2 (ver Tabela 2.1), esta parcela contém três zonas diferentes. De seguida é abordado quais os melhores sistemas para cada uma das três.

Relativamente à Zona 2.2, face ao tipo de luminárias existentes no edifício (balastros antigos), a melhor opção passa pelo controlo individual ponto a ponto.

Deste modo a escolha incidiu sobre o sistema de comando *Dynalite* para a zona 2.2, pois este sistema permite que sejam controladas lâmpadas fluorescentes com equipamentos auxiliares mais antigos. Os dispositivos escolhidos são os seguintes:

- Multisensor saliente da parede
- Controlador multipropósito
- Ecrã tátil
- Placa modular para controlador multipropósito
- Fonte de Alimentação para controlador multipropósito

A Figura 4.3, Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6, ilustram os diversos equipamentos escolhidos, enquanto as suas principais características estão descritas na Tabela 4.2.



**Figura 4.3** - Multi-sensor DUS704W saliente da parede para sistema *Dynalite* [7]



**Figura 4.4** - Ecrã tátil DTP100 para o Sistema *Dynalite* [7]



**Figura 4.5** - Controlador Multipropósito DDMC 802- GL com Montagem sobre perfil DIN para sistema *Dynalite* [7]



**Figura 4.6** - Fonte de alimentação DDNP 1501 para o Sistema *Dynalite* [7]

Tabela 4.2 - Principais características dos equipamentos para zona 2.2 [7]

Nome Produto	Principais Características	Preço (€)
Multi-sensor DUS704W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este sensor combina três características:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Detetor de movimento</li> <li>2. Receção de controlo remoto infra-vermelho</li> <li>3. Deteção do nível de luz ambiente</li> </ol> </li> <li>• A cela consegue assimilar os seguintes níveis de iluminância:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 5-500 lux ( incidente no sensor)</li> <li>2. 5-5000 lux (iluminação numa superfície não refletora no campo de visão do sensor)</li> </ol> </li> <li>• Alcance: 12 m x 90 °</li> <li>• Altura de montagem: entre 1,1 até 3,1 metros</li> </ul>	115
Ecrã tátil DTP100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlador lógico programável</li> <li>• Qualidade de imagem e controlos na tela sofisticados</li> <li>• Simples criação de páginas com editor Philips Dynalite´s com JavaScript</li> <li>• Operador de sistema Windows e conexão à Internet</li> <li>• Contador de tempo com <i>backup</i> de bateria</li> </ul>	200
Controlador Multipropósito DDMC 802- GL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 2 ranhuras de saídas de canais a 2 A nominais por canal               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga máxima do dispositivo:10A</li> </ul> </li> </ul>	380
Placa Modular DGTM 402	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 canais de 2 A cada</li> <li>• Regulação Trailing Edge               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupa 2 ranhuras</li> </ul> </li> </ul>	70
Fonte de alimentação DDNP 1501	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto proteção de sobrecargas de cargas</li> <li>• À prova de curto-circuitos</li> <li>• Desligamento térmico automático</li> <li>• Não necessita de definições manuais</li> </ul>	55

Relativamente à zona 2.1 o sistema de controlo escolhido é o *LightMaster LON* pois é o sistema que melhor se adequa para o controlo da iluminação natural em instalações industriais/locais de armazenamento de grandes alturas. Com a instalação das luminárias de LED de acordo com o Capítulo 3, este sistema pode maximizar a diminuição do consumo desta zona. Os equipamentos escolhidos foram:

- Módulo de controlo de iluminação;
- Detetor de nível solar;
- Foto célula alta altura.

Na Figura 4.7, Figura 4.9, e Figura 4.8 são ilustrados os equipamentos escolhidos. Na Tabela 4.3 são indicadas as principais características de cada um dos dispositivos.



**Figura 4.7** - Foto célula alta altura LRL8102/00 para sistema *Light Master Modular LON* [7]



**Figura 4.8** - DALI Módulo de controlo de iluminação LRC514/10 para ligação à rede LON [7]



**Figura 4.9** - Detetor de nível solar LRL5002 para Sistema *Light Master Modular LON* [7]

**Tabela 4.3** - Principais características dos equipamentos para zona 2.1 [7]

Nome Produto	Principais Características	Preço (€)
DALI Módulo Controlo de Iluminação LRC5141/10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui as seguintes saídas:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1 Saída DALI</li> <li>2. 2 Entradas de detetores de movimento</li> <li>3. 2 Entradas de botões</li> </ol> </li> <li>• Pode controlar até 64 balastros e serem divididos em grupos de 16, que podem ser controlados individualmente</li> </ul>	423,5
Foto célula de alta altura LRL8102/00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de luz de alta baía de montagem</li> <li>• Destinado para uso interno em aplicações industriais como áreas de montagem e armazéns</li> <li>• Altura de montagem: 5 a 10 metros</li> <li>• Pode operar até 150 balastros</li> </ul>	95
Detetor de nível solar LRL 5002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capta o nível de luz solar internamente e externamente</li> <li>• Linha pode ser expandida com o tempo</li> </ul>	95

Finalmente, no que se refere à zona 2.3 não é proposta qualquer alteração, face à reduzida utilização desta e ao pequeno número de luminárias presentes (ver Tabela 2.3).

Na Figura 4.10 e Figura 4.11, é apresentada uma síntese dos sistemas de iluminação propostos para cada uma das zonas presentes na Parcela 2, zona 2.1 e zona 2.2 (Tabela 2.1). De referir que as zonas que observamos na Figura 4.11, estão de acordo com as divisões realizadas para a Zona 2.1 no Capítulo 2 (ver Figura 2.6). De notar que para cada detetor as cores mudam para identificar quais as luminárias que são controladas por cada um. [7]

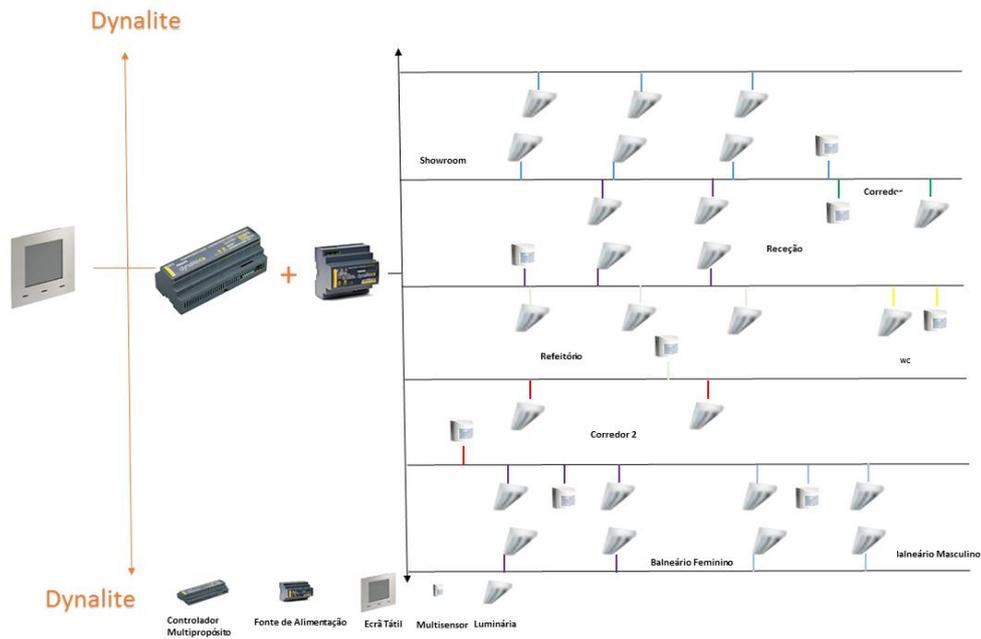


Figura 4.10 - Exemplo do Sistema de comando dos espaços da zona 2.2

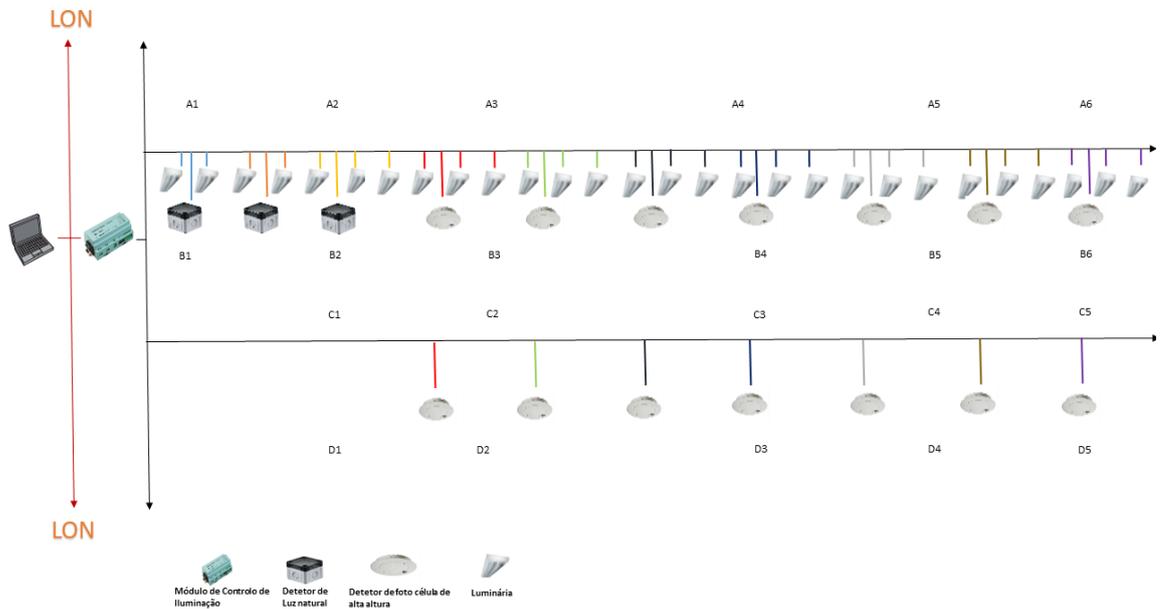


Figura 4.11 - Exemplo do Sistema de comando do Armazém 2 da zona 2.1

## 4.4- Automatismos propostos para o Edifício (Parcela 2)

### 4.4.1 Automatismos para a Zona 2.1

Na zona 2.1 existem dois tipos de controlo em duas diferentes subzonas. O primeiro vai incidir sobre o controlo da luz artificial segundo a luz natural e o segundo baseia-se em detetores de movimento nas zonas onde não existe praticamente iluminação natural. A técnica utilizada para melhor usufruir do sensor de luz natural é a zenital, ou seja, deteção da iluminação natural através das coberturas do edifício (ver Capítulo 2.4-). Na Figura 4.12 pode ser observado como é dividida a zona 2.1, e mais concretamente, o Armazém 2. A parte vermelha refere-se aos sensores de célula de alta altura, enquanto a zona preta é para os sensores de luz natural.

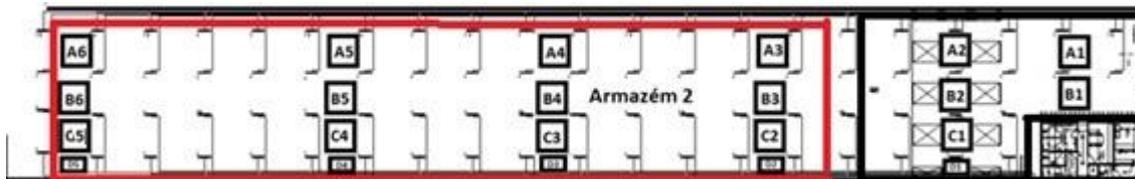


Figura 4.12 - Divisão do Armazém 2 (zona 2.1) em duas subzonas

O modo de funcionamento do detetor de nível solar LRL 5002, visa garantir as seguintes funções:

- Caso a iluminação natural seja superior ou igual a 200 lux, desligar as luminárias associadas a este detetor;
- Caso a iluminação natural seja inferior a 200 lux, ajustar as luminárias até que a iluminação no local seja igual a 200 lux.

O controlo da foto célula de alta altura LRL8102/00, visa garantir as seguintes funções:

- Acionar determinadas luminárias aquando da existência de movimento na zona estipulada;
- Garantir um funcionamento durante 15 minutos, após receção do sinal de deteção de movimento.
- Ajustar a iluminação para 200 lux, através do ajuste das luminárias

Na Tabela 4.4 estão inscritos os valores previstos para o tempo de ligação (após ativação), para as luminárias do Armazém 2. Na Figura 4.13 e Figura 4.14 está representado as máquinas de estado referentes às duas subzonas de comando da Zona 2.1.

Tabela 4.4 - Tempo que as luminárias de cada divisão ficam ligadas após deteção de movimento para a zona 2.1

Espaço	Tempo (minutos)	Nº idas/dia
Armazém 2 (Luminárias controladas pelo detetor de luz natural)	-	-
Armazém 2 (Luminárias controladas pela foto célula de alta altura)	15	15

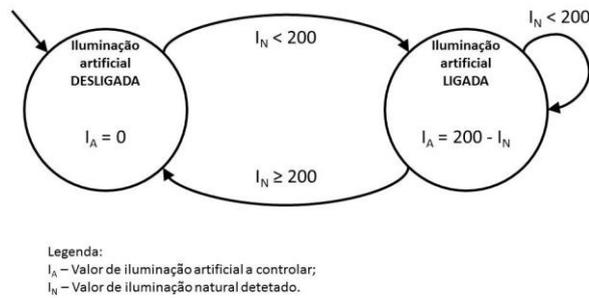


Figura 4.13 - Máquina de estados para a subzona do Armazém 2 (detetor de luz natural)

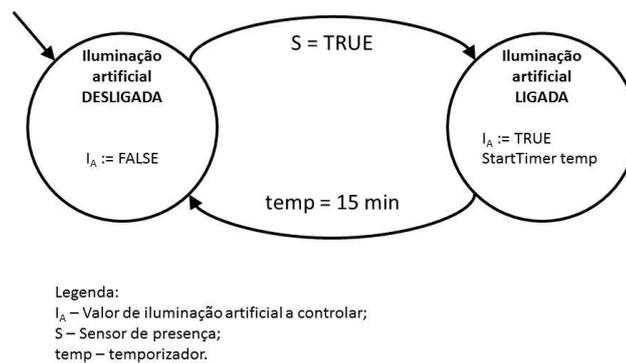


Figura 4.14 - Máquina de estados para a subzona do Armazém 2 (detetor de movimento)

Como pode ser observado na Tabela 4.4 os dados para as luminárias controladas pelo detetor de luz natural não existem. Como nas estações de Primavera e Verão a presença de luz natural é mais elevada e constante do que no Outono e Inverno, é expetável uma maior iluminação natural, e consequentemente, de iluminância natural. Desta forma é previsto que durante 4 horas por dia (das 8 horas de trabalho) para 6 meses (Primavera e Verão) exista luz

natural suficiente (200 lux), não sendo necessárias as luminárias da zona 2.1 (especificamente as acionadas pelo sensor de luz natural) permanecerem ligadas. Já relativamente aos restantes 6 meses (Outono e Inverno) estima-se que durante 2 horas por dia não é necessário luz artificial (das 8 horas de trabalho).

#### 4.4.2 Automatismos para a Zona 2.2

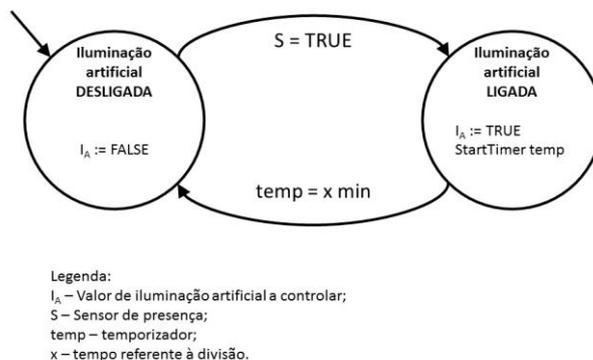
Na zona 2.2 é utilizado apenas um multisensor por espaço. Este estudo incide sobre todos os espaços desta zona. A técnica utilizada para usufruir da iluminação natural existente nas divisões Refeitório, Receção e *Showroom* (ver Capítulo 2) é a iluminação lateral, pois estes possuem uma parede envidraçada. Este multisensor deve ser dotado das seguintes multifunções:

- Aquando da deteção de movimento na respetiva divisão acionar as respetivas luminárias durante o tempo estipulado na Tabela 4.5;
- Controlar a luz ambiente para que esta esteja conforme os valores de iluminância da Tabela 2.5.

Na Figura 4.15 está representado as máquinas de estado referentes ao sistema de comando da Zona 2.2.

**Tabela 4.5** - Tempo que as luminárias de cada divisão ficam ligadas após deteção de movimento para a zona 2.2

Espaço	Tempo (minutos)	Nº idas/dia
Showroom	5	10
Receção	10	15
Refeitório	25	5
Balneário Masculino	15	1
Balneário Feminino	15	1
WC	3	20
Corredor	1	50
Refeitório	25	5



**Figura 4.15** - Máquina de estados para os diferentes espaços da Zona 2.2 (detetor de movimento)

De referir que os valores da Tabela 4.5 (minutos que o espaço permanece ligado e o nº idas/dia) são uma estimativa após observação da atividade dos espaços referidos durante um curto espaço de tempo (2 horas).

## 4.5- Estudo Técnico-Económico sobre o Sistema de Comando para a Parcela 2

Este subcapítulo é dividido em duas partes: uma para a zona 2.1 e outra para a zona 2.2. De modo a realizar o estudo técnico-económico da parcela é necessário também calcular a economia de consumo.

### 4.5.1 Estudo Técnico-Económico do Sistema de Comando para a Zona 2.1

Para estimarmos os consumos em iluminação associados à instalação de sistemas de comando, recorreremos à informação da Figura 4.11. Na Tabela 4.6 podem ser observados os resultados obtidos, mediante aplicação da Equação (2.1). Os cálculos estão presentes no Anexo C e D.

**Tabela 4.6-** Comparação entre o consumo previsto com LED's e o consumo previsto com LED's e sistema de comando

Espaço	Nº Luminárias	Consumo Previsto com LED's		Percentagem Redução (%)
		(kWh/ano)	e Sistema de Comando (kWh/ano)	
Armazém 2 (Luminárias controladas pelo detetor de luz natural)	7	3091,2	1932	37,5
Armazém 2 (Luminárias controladas pela foto célula de alta altura)	21	9273,6	4347,0	53,1
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>12364,8</b>	<b>4105,5</b>	<b>45,3</b>

Tendo em conta os valores da Tabela 4.6, é possível calcular os encargos associados à nova situação (ver Tabela 4.7). Os cálculos podem ser observados no Anexo D.

**Tabela 4.7 -** Comparação dos consumos do Sistema de iluminação com e sem sistema de comando para zona 2.1

Espaço	Preço de Utilização de		Percentagem Redução (%)
	LED's (€)	LED's e Sistema de Comando (€)	
Armazém 2 (Luminárias controladas pelo detetor de luz natural)	557,58	348,48	37,5
Armazém 2 (Luminárias controladas pela foto célula de alta altura)	1672,73	784,09	53,1
<b>Total</b>	<b>2230,3</b>	<b>1132,57</b>	<b>45,3</b>

Como pode ser constatado pela Tabela 4.7, a economia de consumo pode ir até 1097,70 €. Os passos para calcular os Índices vão ser os mesmos utilizados no Capítulo 3.4.2 .

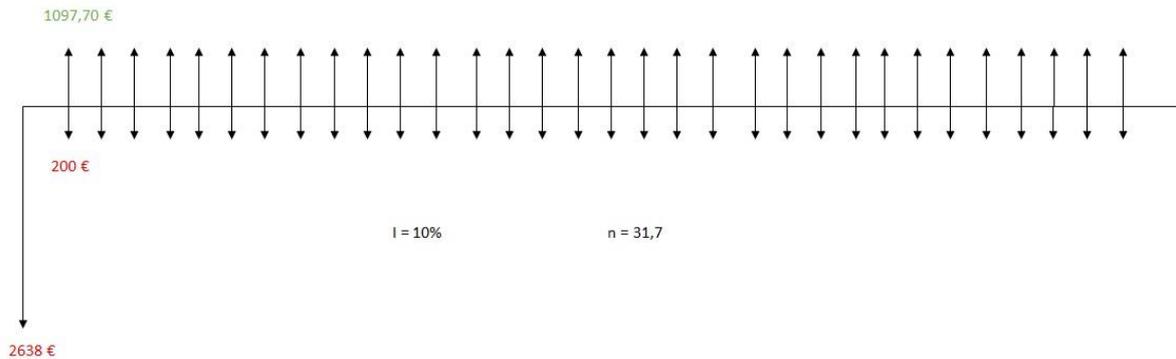
- $n = 31,7$  anos
- $i = 10\%$
- Valor Residual = 0 €
- Encargos de Manutenção = 200€
- Investimento =  $2038,5(1 * \text{Controlo Iluminação DALI} + 3 * \text{Detetor Nível Solar} + 14 * \text{Foto Célula Altura}) + 600$  (outros custos)<sup>7</sup> = 2638,5€
- Economia de Consumo =  $2230,3(\text{Preço de Utilização LED's}) - 1132,57(\text{Preço de Utilização LED's} + \text{Sistema de Comando}) = 1097,70$  €

Note-se que foi considerado que o encargo com a Manutenção são 200€ (valor de substituição de 2 sensores por ano mais encargos de substituição), assumindo uma posição calculista de poder ocorrer eventuais avarias no sistema. Já o Valor Residual deste sistema no

<sup>7</sup> Outros custos - 600 €

final da sua vida útil pode ser considerado zero, pois o sistema acabará por ser tornar obsoleto, sendo necessário a sua troca. Os outros custos são para cablagem, instalação e compra do *software*. Tal como no Capítulo 3, a vida útil e o custo de oportunidade são os mesmos. Os dados para o investimento e a economia consumida está na Tabela 4.3e Tabela 4.7.

Desta forma pode ser estabelecido a representação gráfica dos fluxos financeiros (ver Figura 4.16).



**Figura 4.16** - Fluxos Financeiros para sistema de comandos Zona 2.1

Como pode ser observado pela Figura 4.16, a economia de consumo obtida anual é superior à manutenção exigida, sendo que o investimento é compensado ao longo do tempo de vida útil do projeto.

$$VAL = -2638,5 + (-200 + 1097,73) * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} + 0 = 5901,28 \text{ €}; VAL > 0 \rightarrow \text{Projecto Viável}$$

Como podemos observar, o  $VAL > 0$  logo o projeto é economicamente viável e produz excedentes financeiros.

Para o efeito recorde-se, é necessário resolver a equação seguinte, considerando o processo iterativo atrás referido, para este caso, com os valores de  $i_+$  e  $i_-$  e respetivamente de 30 % e 40 % (Tabela 4.8)

$$0 = -2638,5 + \left( (-200 + 1097,73) * \frac{(1 + i)^i - 1}{1 \times (1 + i)^i} \right)$$

**Tabela 4.8** - Iteração do algoritmo da TIR para o sistema de comando da Zona 2.1

i-	i+	(-+i+)/2	VAL
30.000			353.202
	40.000		-394.227
30.000	40.000	35.000	-73.747
30.000	35.000	32.500	123.377
32.500	35.000	33.750	21.177
33.750	35.000	34.375	-27.145
33.750	34.375	34.063	-3.244
33.750	34.063	33.907	8.871
33.906	34.063	33.985	2.800
33.984	34.063	34.024	-0.225
33.984	34.024	34.004	1.325
34.004	34.024	34.014	0.550
34.014	34.024	34.019	0.162
34.019	34.024	34.022	-0.070
34.019	34.022	34.021	0.007

Na última linha da Tabela 4.8 chegou-se a um resultado do VAL próximo do zero, sendo então o valor da TIR 34,02% (sendo este arredondado por defeito de forma a obter o resultado mais conservador).

Este valor significa que o projeto funciona como se os capitais investidos fossem remunerados a uma taxa de 34,02%.

Ao comparar o valor do custo de oportunidade (i=10%) com o da TIR, podemos constatar que são valores que têm uma grande distância (24,02%) entre si. Este é um indicador de robustez da solução face ao risco.

Relativamente ao terceiro e último índice, o PRI, vamos utilizar as Equações (3.4) e (3.5), para obter o número de anos necessário para recuperar o investimento e a renda.

$$R = \left( \left( 1097,73 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} \right) - \left( 200 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} \right) + 0 \right) * \frac{0,1 * 1,1^{31,7}}{1,1^{31,7} - 1} = 897,73€$$

$$2638,5 = 897,70 * \frac{1,1^n - 1}{0,1 * 1,1^n} = 3,65 \text{ anos}$$

Como pode ser observado, a renda é de 897,73 € e o tempo de recuperação do investimento é 3,65 anos. Ou seja durante os restantes 28 anos a economia de consumo é 25135.44 €.

#### 4.5.2 Estudo Técnico Económico do Sistema de Comando para a Zona 2.2

Para realizar a economia de consumo para a zona 2.2 são calculado os consumos com base na Tabela 2.11, estando presentes os cálculos no Anexo D. Na Tabela 4.9 podem ser observados os resultados obtidos, sendo que os valores apresentados nesta tabela são comparados com os da Tabela 2.11.

Tabela 4.9 - Comparação entre o consumo previsto com sistema de comando e o consumo atual para a Zona 2.2

Espaço	Consumo Atual (kWh/ano)	Consumo Previsto com Sistema de Comando (kWh/ano)	Percentagem Redução (%)
Showroom	572,31	59,62	89.58
Corredor	95,39	9,94	89.58
Receção	317,95	99,36	68,7
Refeitório	286,16	74,52	73.96
Balneário Masculino	246,41	26,33	89.32
Balneário Feminino	325,90	37,01	88.6
WC	39,74	4,97	87.49
Corredor 2	95,39	9,94	89.58

Como pode ser constatado pela Tabela 4.9, a redução de consumo elétrico é bastante elevada, estando entre os 68 e 90 %. Para realizar os cálculos foi utilizada a Equação (2.1). Na Tabela 4.10 pode ser observado a economia de consumo com o sistema de comando.

Tabela 4.10 - Comparação dos consumos do sistema de iluminação com e sem sistema de comando para a zona 2.2

Divisão	Custo com Sistema Atual	Custo Previsto com Sistema de	Percentagem Redução (%)
	Anual (€)	Comando Anual (€)	
Showroom	103,23	10,75	89,58
Corredor	17,21	1,79	89,58
Receção	57,35	17,92	68,7
Refeitório	51,62	13,44	73,96
Balneário Masculino	44,45	4,75	89,32
Balneário Feminino	58,78	6,68	88,6
WC	7,17	0,90	87,49
Corredor 2	17,21	1,79	89,58
Total	357,56	58,02	83,77

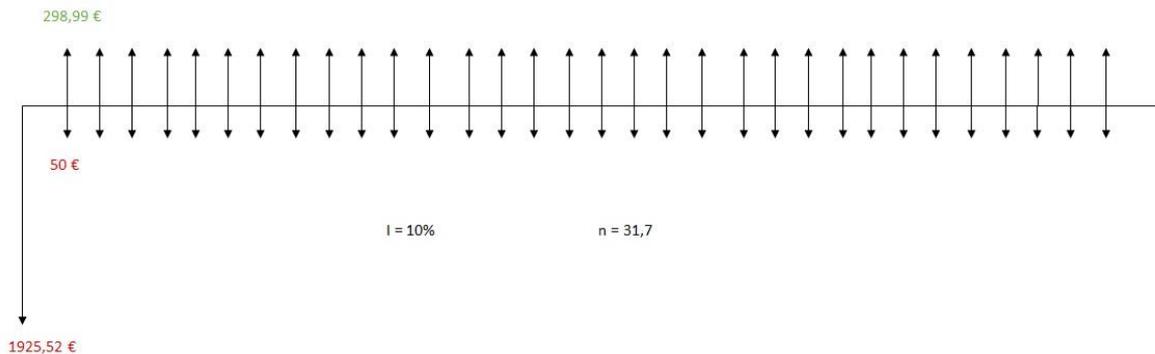
Como pode ser constatado pela Tabela 4.10 a economia de consumo pode ir até 298,99 €. Tal como no Capítulo 4.5.1, são calculados os três Índices.

- $n = 31,7$  anos

- $i = 10\%$
- Valor Residual = 0€
- Encargos de Manutenção = 50€
- Investimento = 1725,52 (1 \* Controlador Multipropósito + 1 \* Ecrã Tátil + 1 \* Placa Modular + 1 \* Fonte de Alimentação + 8 \* Multisensor) + 200 (Outros Custos)<sup>8</sup> = 1925,52 €
- Economia de Consumo = 298,99 €

Note-se que foi considerado que o encargo com a Manutenção é 50€ para combater eventuais avarias que possam suceder, sendo um valor mais baixo do que na Zona 2.1, devido a possuir menos equipamentos. Já o Valor Residual deste sistema no final da sua vida útil pode ser considerado zero, pois o sistema acabará por ser tornar obsoleto, sendo necessário a sua troca. Os outros custos são para cablagem, instalação e compra do *software*. Tal como para os restantes estudos técnicos a vida útil e o custo de oportunidade são os mesmos. Os dados para o cálculo do investimento e da economia de consumo estão nas Tabelas Tabela 4.4 e Tabela 4.10.

Desta forma pode ser estabelecido a representação gráfica dos fluxos financeiros (ver Figura 4.17).



**Figura 4.17** - Fluxos Financeiros para sistema de comandos Zona 2.2

Como pode ser observado pela Figura 4.17, o investimento realizado vai ser amortizado durante o tempo de vida útil do projeto, sendo que a manutenção é inferior à economia de consumo anual.

$$VAL = -1925,52 + (-50 + 298,99) * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 * 1,1^{31,7}} + 0 = 443,03 \text{ €}; VAL > 0 \rightarrow \text{Projecto Viável}$$

Como VAL tem sinal positivo, o projeto é economicamente viável para avançar, deste modo podemos passar ao cálculo do segundo índice de avaliação (TIR).

Para o efeito, recorde-se, é necessário resolver a equação seguinte, considerando o processo iterativo atrás referido (tabela 3.19), iniciado, no caso, com os valores de  $i_+$  e  $i_-$ , respetivamente de 10% e 20%.

<sup>8</sup> Outros Custos - 200 €

$$0 = -1925,52 + \left( (-50 + 298,99) * \frac{(1+i)^i - 1}{1 \times (1+i)^i} \right)$$

Tabela 4.11 - Iteração do algoritmo da TIR para o sistema de comando da zona 2.2

i-	i+	(-+i+)/2	VAL
10.000			443.032
	20.000		-684.417
10.000	20.000	15.000	-285.355
10.000	15.000	12.500	18.786
12.500	13.750	13.125	-66.496
12.500	13.125	12.813	-24.794
12.500	12.813	12.657	-3.298
12.500	12.657	12.579	7.616
12.579	12.657	12.618	2.145
12.618	12.657	12.638	-0.650
12.618	12.638	12.628	0.746
12.628	12.638	12.633	0.049
12.633	12.638	12.636	-0.371
12.633	12.636	12.635	-0.231
12.633	12.635	12.634	-0.092

Na última linha Tabela 4.11, chegou-se a um resultado do VAL perto de zero. O resultado é arredondado para  $i = 12,63\%$  (sendo este arredondado por defeito, de forma a tornar o resultado mais conservador).

Este valor da TIR significa que o projeto funciona como se os capitais investidos fossem remunerados à TIR de 12,63%.

Ao comparar o valor do custo de oportunidade ( $i=10\%$ ) com o da TIR, podemos constatar que são valores que possuem uma distância pequena (2,63%) entre si. Isto significa que o projeto possui alguma robustez e pode avançar.

Relativamente ao terceiro e último método de avaliação, o PRI, vamos utilizar a Equação (3.4) e Equação (3.5) para obter o número de anos necessário para recuperar o investimento e a renda.

$$R = \left( (298,99 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 \times 1,1^{31,7}}) - (50 * \frac{1,1^{31,7} - 1}{0,1 \times 1,1^{31,7}}) \right) + 0 + 0 * \frac{0,1 * 1,1^{31,7}}{1,1^{31,7} - 1} = 248,99 \text{ €}$$

$$1925,52 = 248,99 * \frac{1,1^n - 1}{0,1 \times 1,1^n} = 15,57 \text{ anos}$$

Como pode ser observado acima, a renda é de 248,99 € e o tempo de recuperação do investimento é de aproximadamente 15 anos e meio. Deste modo é gerado uma economia de consumo de cerca de 15 anos após estar pago o investimento. Isto significa 3734,85 € de economia de consumo total.

No Anexo D encontra-se os resultados obtidos para as parcelas 1 e 3.

## 4.6- Análise dos Resultados Obtidos

A conclusão imediata a retirar é que as soluções para as Zonas 2.1 e 2.2 são economicamente viáveis. Os dados relevantes dos dois casos são apresentados na Tabela 4.12.

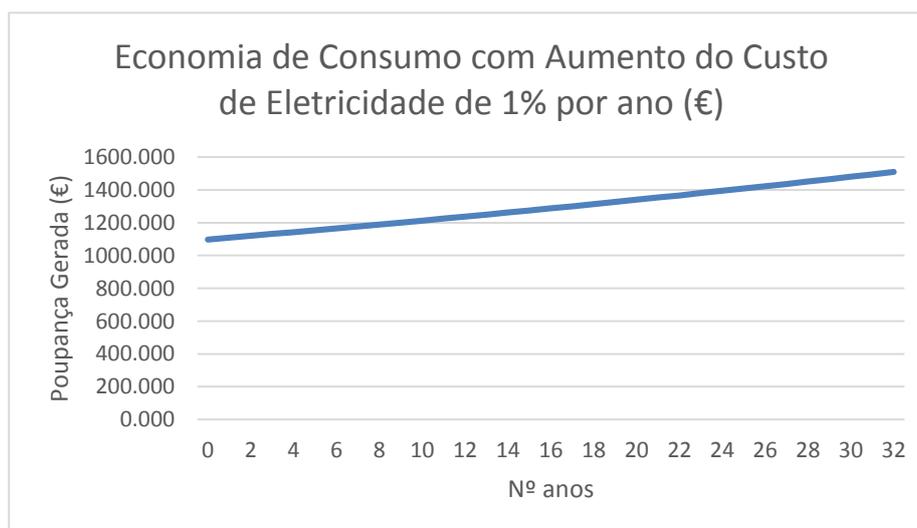
**Tabela 4.12** - Dados das propostas dos sistemas de comando para as zonas 2.1 e 2.2

Dados	Zona 2.1	Zona 2.2
Investimento (€)	2638,5	1925,52
VAL (€)	5901,28	443,03
TIR (€)	34,02	12,63
PRI (anos)	3,65	15,57
Renda (€)	897,73	248,99
Economia de Consumo Total (€)	25135,44	3734,85

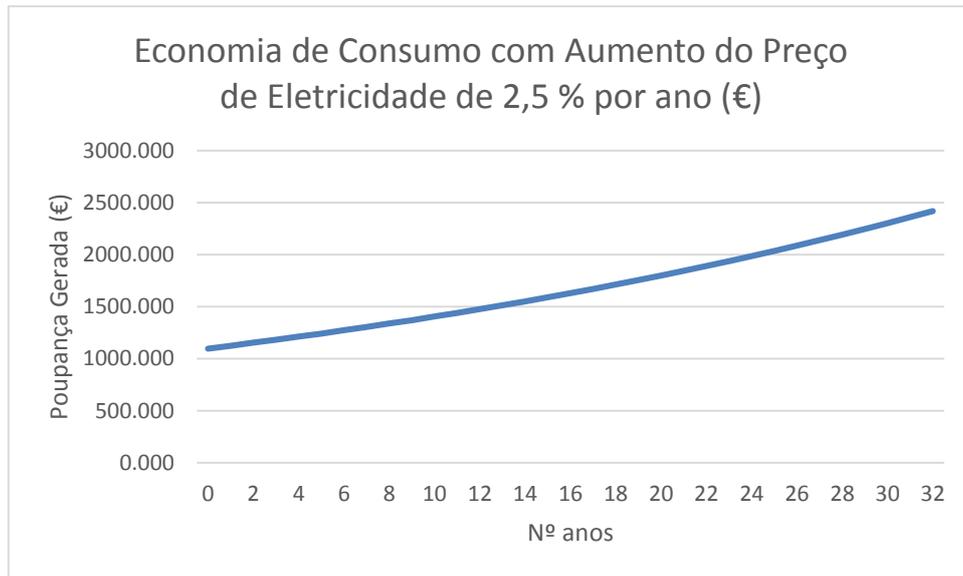
Tal como no Capítulo 3 é importante analisar os desvios dos resultados a que chegamos na análise económica, face a situações (previsíveis) de aumentos de preços de eletricidade. São considerados os mesmos 3 cenários diferenciados: 1 %, 2,5 % ou 5% por ano.

Com base naqueles valores efetuaram-se os cálculos dos desvios da economia de consumo, do VAL e do PRI para as Zonas 2.1 e 2.2 (ver Figura 4.18, Figura 4.19, Figura 4.20, Figura 4.22, Figura 4.21 e Figura 4.23 e Tabela 4.13, Tabela 4.14 e Tabela 4.15).

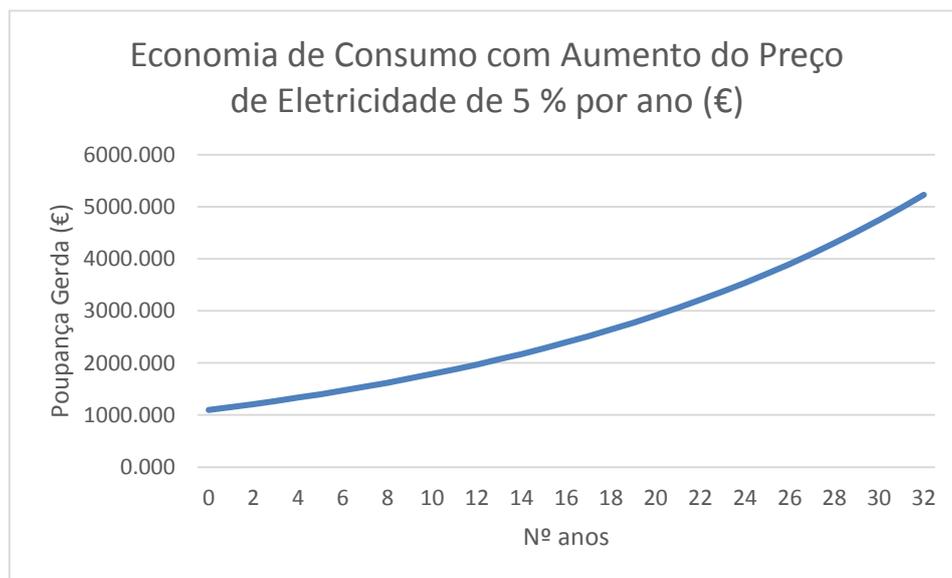
Este estudo é relevante ser realizado pois permite perceber que com o aumento do custo de eletricidade e conseqüente aumento da economia de consumo anual, ambos os projetos são economicamente mais robustos e viáveis.



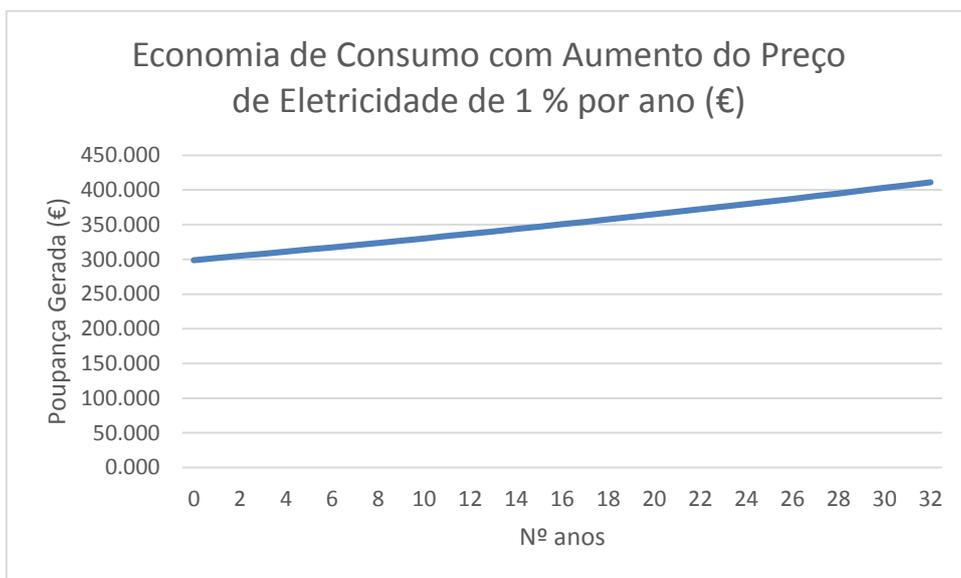
**Figura 4.18** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1 % por ano para a proposta de sistema de comando da zona 2.1



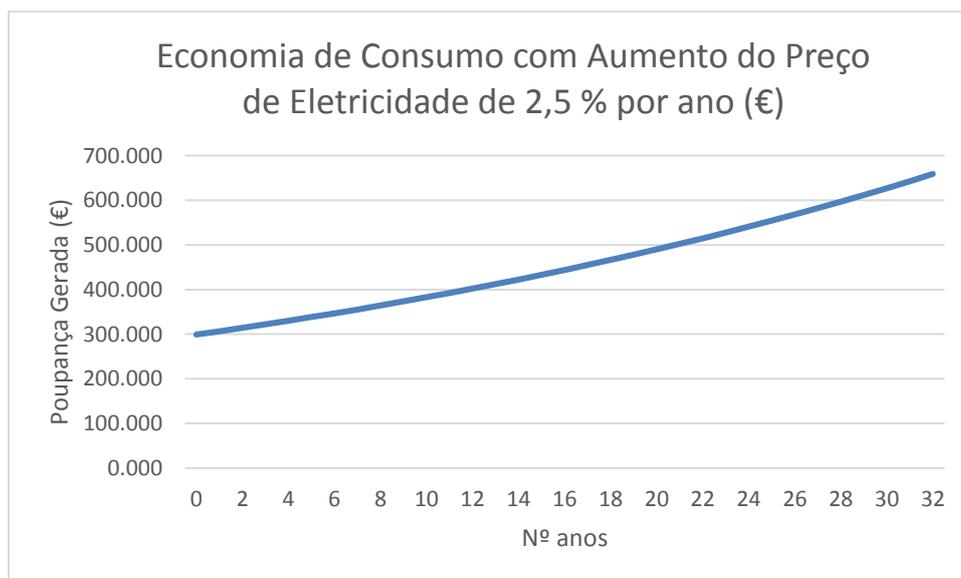
**Figura 4.20** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 5% por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.1



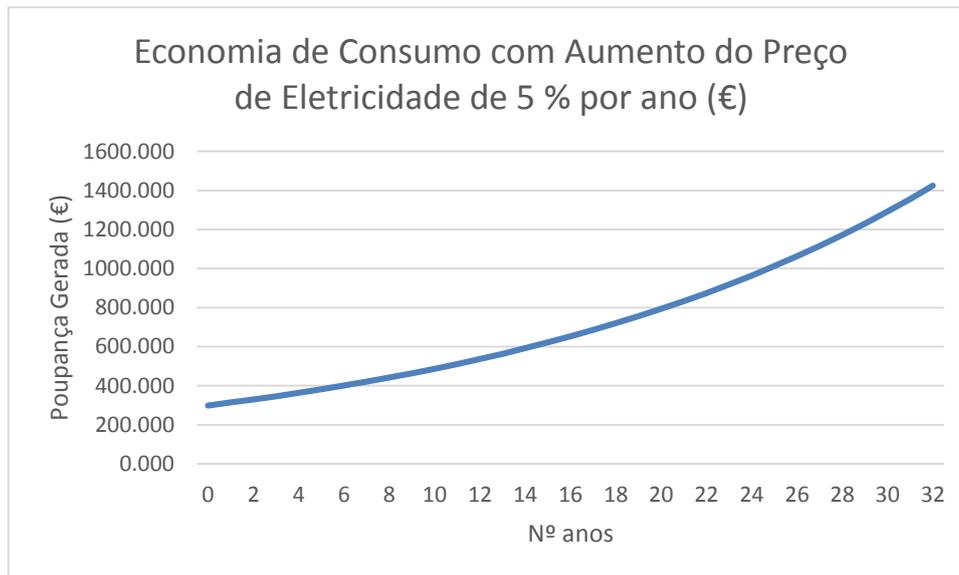
**Figura 4.19** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5% por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.1



**Figura 4.22** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 1 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2



**Figura 4.21** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 2,5 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2



**Figura 4.23** - Gráfico da economia de consumo com o aumento do preço de eletricidade em 5 % por ano para proposta de Sistema de comando da zona 2.2

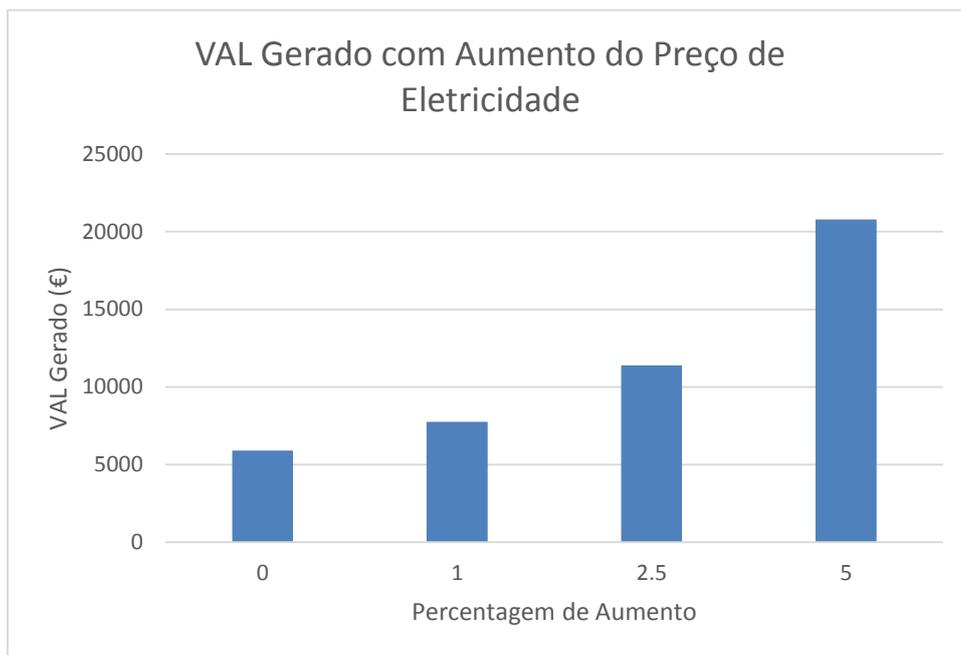
**Tabela 4.13** - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.1

Percentagem de Aumento (%)	Economia de consumo Anual (€)	Economia de Consumo Total (€)
0	1097,3	35113,6
1	1292,96	42667,68
2,5	1675	55275,13
5	2663,29	87888,4

**Tabela 4.14** - Comparação entre as diferentes economias de consumo por cada % de aumento do preço de eletricidade para a Zona 2.2

Percentagem de Aumento (%)	Economia de Consumo Média Anual (€)	Economia de c Consumo Total (€)
0	298,99	9564,8
1	352,165	11621,44
2,5	456,22	15055,35
5	725,40	23938,27

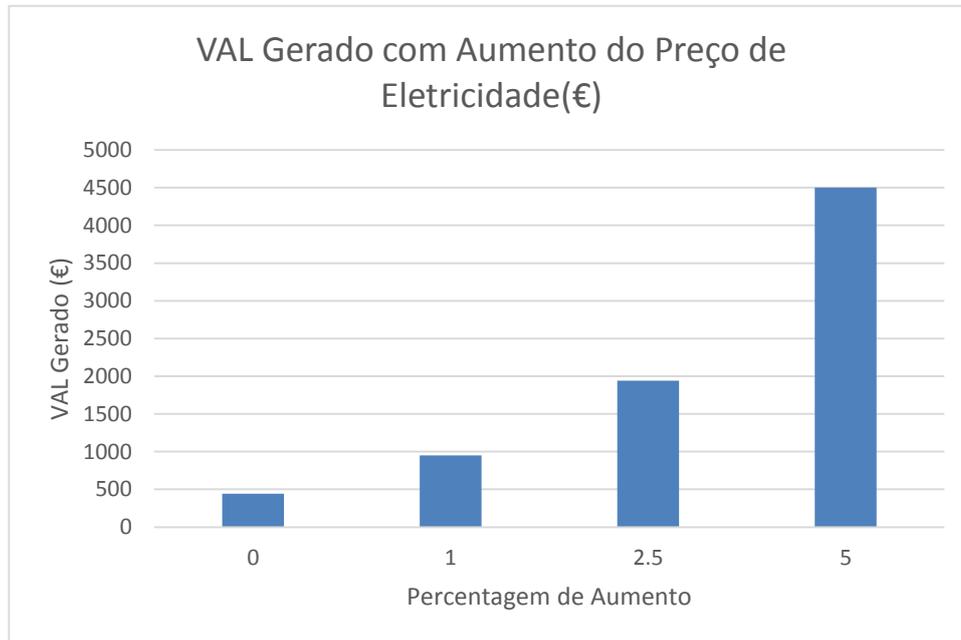
Para calcular o VAL, é utilizada a Poupança Média calculada para cada uma das percentagens escolhidas.



**Figura 4.24-** Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a proposta do sistema de comando para a Zona 2.1

**Tabela 4.15 -** Comparação entre os diferentes VAL gerados por cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.1 e 2.2

Porcentagem de Aumento (%)	VAL (€) - Zona 2.1	VAL (€) - Zona 2.2
0	5901,28	443,03
1	7758,43	948,87
2,5	11392,64	1938,7
5	20793,89	4499,32

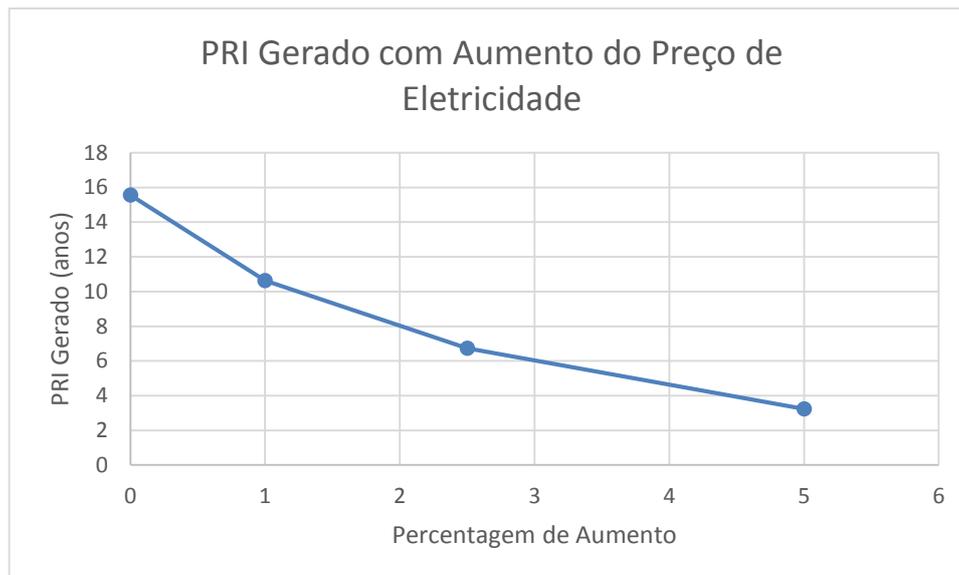


**Figura 4.25** - Gráfico do VAL gerado com o aumento do custo de eletricidade para 0, 1, 2,5 e 5 % para a proposta do sistema de comando para a Zona 2.2

Podemos observar que o VAL aumenta (tanto para a Zona 2.1 como para a Zona 2.2) quase exponencialmente com o aumento do preço da eletricidade, o que significa que o projeto fica mais robusto e sólido (ver Figura 4.24 e Figura 4.25 e Tabela 4.15). Como pode ser observado nas Figura 4.18, Figura 4.19 e Figura 4.20 o crescimento da economia de consumo para o sistema de comando na Zona 2.1 não é significativo o suficiente para que existam mudanças notórias no PRI, não havendo necessidade de o calcular novamente, pois o seu valor iria manter-se, aproximadamente, nos 4 anos.

Relativamente ao sistema de comando da Zona 2.2, devido a este ter um tempo de retorno superior (15,57 anos) e devido à economia de consumo subir exponencialmente (como pode ser observado nas Figura 4.22, Figura 4.21 e Figura 4.23), o PRI reduz drasticamente, como pode ser observado na Figura 4.27 e Tabela 4.16. De referir que para calcular o PRI para cada caso, foi utilizado a economia de consumo média anual.

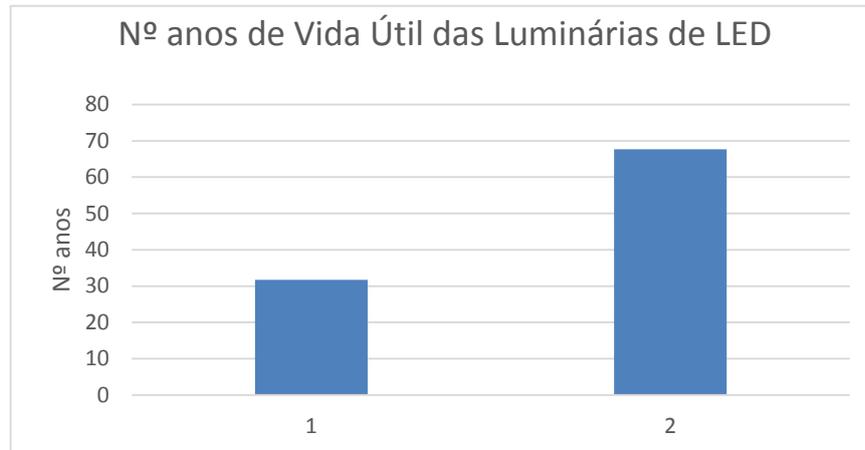
Voltando ao Capítulo 3, com a utilização do sistema de comando na Zona 2.1, os anos de vida útil das luminárias de LED vão aumentar drasticamente como pode ser visto na Figura 4.27. Deste modo podemos chegar à conclusão que a junção dos dois sistemas torna os dois projetos mais economicamente aliciantes e vantajosos. Para realizar os cálculos são utilizados os seguintes dados: vida útil das luminárias (ver Tabela 3.10) e tempo ligado sem e com sistema de comando (Capítulo 2 e Tabela 4.4, respetivamente).



**Figura 4.26** - Gráfico do PRI gerado com o aumento do custo de eletricidade para 1, 2.5 e 5 % para o sistema de comando para a Zona 2.2

**Tabela 4.16** - PRI Gerado para cada % de aumento do preço de eletricidade para a zona 2.2

Percentagem de Aumento (%)	PRI (anos) - Zona 2.2
0	15,57
1	10,64
2,5	6,74
5	3,24



**Figura 4.27** - Gráfico dos anos de vida útil das luminárias de LED sem (1) e com sistema de comando (2)

Em síntese pode ser afirmado que as soluções para a Zona 2.1 e Zona 2.2 são projetos economicamente viáveis. Embora o projeto do sistema de comando para a Zona 2.1 seja mais robusto e o investimento seja recuperado mais rapidamente, com o aumento do custo da eletricidade (e aumento da economia de consumo anual), o impacto desta subida no sistema de comando para a Zona 2.2 leva a que a amortização seja efetuada mais rapidamente.

O sistema de comando da Zona 2.1 permite o aproveitamento da iluminação natural e reduz os tempos de ligação do sistema de iluminação para o estritamente necessário de forma a ser compensatório. Relativamente ao sistema de comando da Zona 2.2, este tem como função ligar o sistema de iluminação em cada espaço o tempo adequado e produzir o nível de iluminância requerido.



## Capítulo 5

# Conclusões e previsões de trabalho futuro

Esta dissertação teve como objetivo a exploração de algumas temáticas relacionadas com a reabilitação de grandes edifícios, nomeadamente os sistemas de iluminação.

Para o efeito foi usado um caso real de um edifício (unidade fabril) a necessitar de reabilitação.

A metodologia seguida, que pode ser transposta para outras situações semelhantes, passou numa primeira fase por caracterizar os vários espaços da instalação fabril como a área, destino, estrutura construtiva (altura de tetos, janelas, portas, etc.), tipos de luminárias presentes, horários de utilização, níveis de iluminância (com confrontação com níveis de referência), consumos afetos à iluminação, estado de conservação de equipamentos.

Com base nesta análise, constatou-se a necessidade de substituir as luminárias (luz mista de 250 W) presentes no Armazém 2, bem como a substituição das lâmpadas fluorescentes danificadas nos restantes espaços.

Face aos tipos de lâmpadas existentes atualmente no mercado e, tendo presentes as características específicas do espaço a reabilitar, foram identificadas as lâmpadas que poderiam ser interessantes para o nosso caso: Lâmpadas T5 e Lâmpadas de LEDS. A utilização do *software* Dialux permitiu estimar o número de lâmpadas necessárias, em cada um dos casos, abrindo caminho para o cálculo de encargos de investimento (aquisição de lâmpadas) e de exploração (encargos com energia elétrica afetos à iluminação). A análise económica realizada (Índices VAL, TIR e PRI), permitiu constatar a vantagem das lâmpadas de Leds face às lâmpadas T5.

Foi ainda abordado nesta Dissertação um aspeto, muitas vezes subvalorizado, e que tem a ver, por um lado, com a combinação entre iluminação natural e iluminação artificial e, por outro, com a adaptação da iluminação ao perfil de utilização de cada espaço. O recurso a equipamentos automáticos de comando (permitindo uma gestão inteligente das necessidades de iluminação requeridas pela atividade específica de cada espaço), responde perfeitamente àqueles requisitos. Na análise económica realizada, considerando equipamentos específicos

daquele tipo, devidamente selecionados, permitiu constatar a vantagem da sua instalação, em certos espaços do edifício a reabilitar.

A continuidade futura deste trabalho passará, naturalmente, por uma análise mais exhaustiva da parcela do edifício analisada e, também, por estender a análise a outras parcelas (que não foi possível analisar na totalidade, por manifesta falta de tempo), usando dados tão fiáveis quanto possível sobre a utilização prevista para as mesmas.

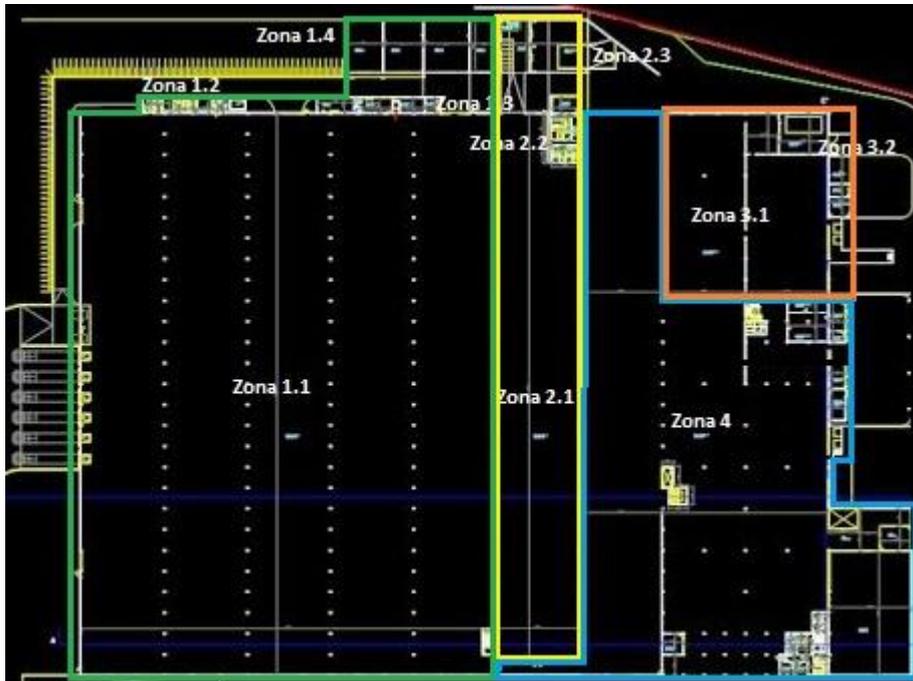
A redução de consumo de energia elétrica passa também por outras soluções de energia elétrica, nomeadamente a utilização de termoacumuladores para os balneários utilizados e também a instalação de painéis solares de forma a não ser necessário o pagamento de energia à rede.



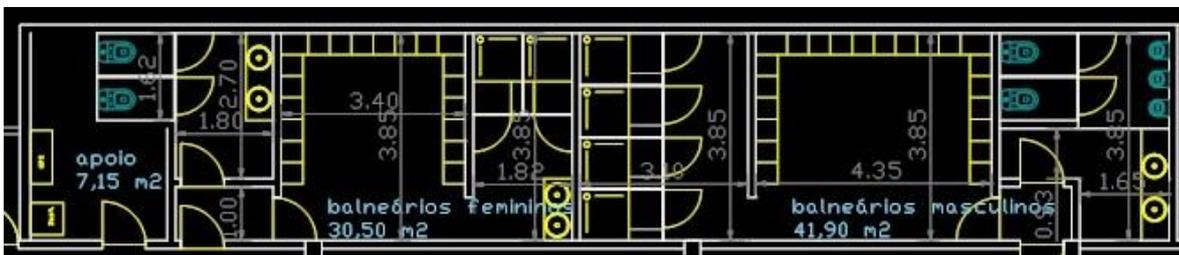
## Anexo A

Como no Capítulo 2 já esta pormenorizado a Parcela 2, neste Anexo só se contra a planta geral e das parcelas 1 e 3.

-Planta Geral da Instalação Fabril



-Zona 1.2



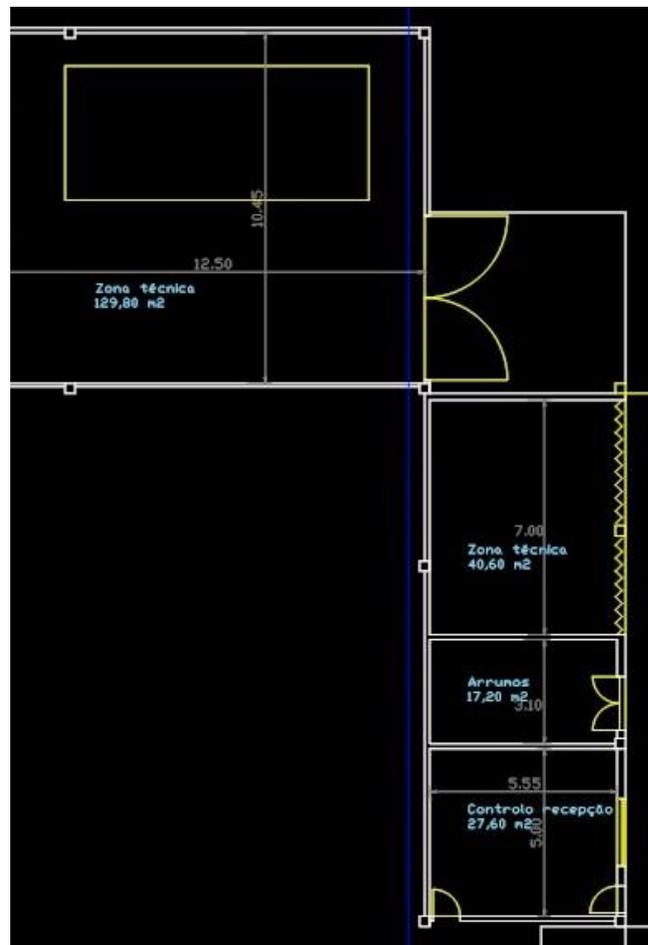
-Zona 1.3



-Zona 1.4



-  
Zona 3.2



## Anexo B

-Consumo das parcelas 1,2 e 3

Sistema atual Parcela 1											
Parcela	Espaço	Tipo lâmpada	Nº Lâmpadas	Potência lâmpadas (W)	Energia consumida mês (kWh/mês)	Energia consumida mês com balastro magnético (kWh/mês)	Energia consumida ano com balastro magnético (kWh/ano)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo mensal kWh/mês (€)	Custo anual (€)
Garlãn	Armazém1	Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	427	250	19642.000	23570.400	282844.800	0.3029	0.152	4249.596	50995.150
	Balneários Femininos	Fluorescente compacta 18W	9	18	29.808	35.770	429.235	0.3029	0.152	6.449	77.388
	Balneários Masculinos	Fluorescente compacta 18W	13	18	43.056	51.667	620.006	0.3029	0.152	9.315	111.783
	Apoio	Fluorescente compacta 18W	3	18	9.936	11.923	143.078	0.3029	0.152	2.150	25.796
	Cantina	Fluorescente compacta 18W	11	18	36.432	43.718	524.621	0.3029	0.152	7.882	94.586
	WC	Fluorescente compacta 18W	1	18	3.312	3.974	47.693	0.3029	0.152	0.717	8.599
	WC 2	Fluorescente compacta 18W	1	18	3.312	3.974	47.693	0.3029	0.152	0.717	8.599
	Sala de reuniões	Fluorescente compacta 18W	9	18	29.808	35.770	429.235	0.3029	0.152	6.449	77.388
	Sala de fumar	Fluorescente compacta 18W	4	18	13.248	15.898	190.771	0.3029	0.152	2.866	34.395
	Anexo1	Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	19.872	23.846	286.157	0.3029	0.152	4.299	51.592
	Anexo2	Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	19.872	23.846	286.157	0.3029	0.152	4.299	51.592
	Anexo3	Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	3	36	19.872	23.846	286.157	0.3029	0.152	4.299	51.592
	Anexo 4	Osram Lâmpada fluorescente 36 W T8	2	36	13.248	15.898	190.771	0.3029	0.152	2.8662379	34.394855
Total	-	-	489	538	19883.776	238605.312	286326.374	-	-	4301.905	51622.856

Sistema atual Parcela 2

Parcela	Espaço	Tipo lâmpada	NºLâmpadas	Potência lâmpadas (W)	Energia consumida mês (kWh/mês)	Energia consumida mês com balastro (kWh/mês)	Energia consumida ano com balastro (kWh/ano)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo mensal kWh/mês (€)	Custo anual (€)	
Grilo	Armazém2	Oscram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	80	250	3680.000	4416.000	52992	0.3029	0.152	796.54	9554.126	
	Showroom	Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	12	18	39.744	47.693	572.314	0.3029	0.152	8.599	103.185	
	Receção	Lâmpada Fluorescente compacta 18 W	5	18	22.08	26.496						
		Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	2	15								
	Banheiro Masculino	Lâmpada Fluorescente compacta 18W	1	18	17.112	20.534						
		Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	5	15								
	Banheiro Feminino	Lâmpada Fluorescente compacta 15 W	1	15	22.632	27.158						
		Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6	18								
	Refeitório	Lâmpada Fluorescente compacta 18W	6	18	19.872	23.846	286.157	0.3029	0.152	4.299	51.592	
	WC	Lâmpada Fluorescente compacta 15W	1	15	2.760	3.312	39.744	0.3029	0.152	0.597	7.166	
	Corredor	Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	18	6.624	7.949	95.386	0.3029	0.152	1.433	17.197	
	Corredor 2	Lâmpada Fluorescente compacta 18W	2	18	6.624	7.949	95.386	0.3029	0.152	1.433	17.197	
	Armazém	Lâmpada fluorescente 36 W T8	2	36	13.248	15.898	190.771	0.3029	0.152	2.866	34.395	
	Zona de Passagem	Lâmpada fluorescente 36 W T8	4	36	26.496	31.795	381.542	0.3029	0.152	5.732	68.790	
	Sala	Lâmpada fluorescente 36W T8	1	36	6.624	7.949	95.386	0.3029	0.152	1.433	17.197	
	WC 2	Lâmpada fluorescente 36W T8	1	36	6.624	7.949	95.386	0.3029	0.152	1.433	17.197	
	Zona de Descarga	-	-	-	-	-	-	-	0.3029	0.152	-	-
Total	-	-	131	-	3870.44	4644.528	55734.336	-	-	837.76	10053.08	

Sistema atual Parcela 3

Parcela	Divisão	Tipo lâmpada	NºLâmpadas	Potência lâmpadas (W)	Potência consumida mês (kWh/mês)	Potência consumida mês com balastro (kWh/mês)	Potência consumida ano com balastro (kWh/ano)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo mensal kWh/mês (€)	Custo anual (€)
Pampilar	Armazém 3	Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	52	250	2392	2870.4	34444.8	0.3029	0.152	431.46	5177.48
	Zona Técnica1	Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	2	250	92	110.4	1324.8	0.3029	0.152	16.59	199.13
	Arrumos	Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	2	250	92	110.4	1324.8	0.3029	0.152	16.59	199.13
	Controlo receção	Fluorescente compacta 18W	18	18	59.616	71.5392	858.4704	0.3029	0.152	10.75	129.04
	Zona Técnica 2	Osram Lâmpada de luz mista 250 W 235 V E40	4	250	184	220.8	2649.6	0.3029	0.152	33.19	398.27
Total	-	-	78	1018	2819.616	3383.5392	4060.24704	-	-	508.588236	6103.058832

## Anexo C

### -Implementação da solução escolhida no Capítulo 3

Parcela	Espaço	Luminária	Nº Luminárias	Iluminância (lux)	Potência (W)	Energia Consumida por mês (kWh/mês)	Energia Consumida por ano (kWh/ano)	Custo Energia mês (€) - ponta	Custo Energia mês (€) - cheia	Custo Energia Consumida por mês (€)	Custo Energia Consumida por ano (€)	Economia de Consumo Anual (€)	Preço Luminária de LED Gentle Space (€)	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
1	Armazém 1	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	152	215	200	5593.6	67123.2	0.3029	0.152	1008.947	12107.347	38887.803	973.68	4560	152559.36
2	Armazém 2	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	28	202	200	1030.4	12364.8	0.3029	0.152	185.858	2230.301	7323.825		840	28103.04
3	Armazém 3	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	19	215	200	699.2	8390.4	0.3029	0.152	126.118	1513.418	4696.764		660	22080.96
3	Zona Técnica 1	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	1	213	200	36.8	441.6	0.3029	0.152	6.638	79.654	119.476			
3	Zona Técnica 2	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	1	240	200	36.8	441.6	0.3029	0.152	6.638	79.654	318.616			
3	Arrumos	BY471P LED250S/840 PSD HRO GC SI	1	539	200	36.8	441.6	0.3029	0.152	6.639	79.654	119.476			

## Anexo D

### -Implementação dos sistemas de comando das parcelas 1,2 e 3

Parcela 1 - Zona 1.1																			
Espaço	Energia consumida ano prevista com LED's (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia consumida ano prevista com LED e sistema de comando (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com LED's (kWh/ano)	Custo com LED e sistema comando (kWh/ano)	Economia de Consumo Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Equipamentos Dynalite (€)	Nº Sensores	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Armazém 1 - 1	16,780.80	-	-	-	23	38	200	10,488.00	38%	0.3029	0.152	3,026.84	1,891.77	1,135.06	95	423.5	16	1085	1520
Armazém 1 - 2	50,342.40	15	15	0.25	23	114	200	23,598.00	53%	0.3029	0.152	9,080.51	4,256.49	4,824.02	95	-	76	-	7220
Total	67,123.20	-	-	-	-	152	-	34,086.00	45%	-	-	12,107.35	6,148.26	5,959.08	-	-	92	-	10249

Parcela 1 - Zona 1.2																			
Espaço	Energia consumida ano c/balastro (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia Consumida com sistema de comando e c/balastro (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com balastro (kWh/ano)	Custo com sistema comando (kWh/ano)	Economia de Consumo Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Equipamentos Dynalite (€)	Nº Sensores	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Banheiro Masculino	429.2352	30	1	0.50	23	9	18	26.8272	94%	0.303	0.152	77.42	4.84	72.58	-	-	1	-	115
Banheiro Feminino	620.0064	30	1	0.50	23	13	18	38.7504	94%	0.303	0.152	111.83	6.99	104.84	-	(Ligado ao da Zona 1.3)	1	(Custos incluídos na Zona 1.3)	115
Apoio	143.0784	3	20	0.05	23	3	18	17.8848	88%	0.303	0.152	25.81	3.23	22.58	115	-	1	-	115
Total	1,192.32	-	-	-	-	25	-	83.4624	93%	-	-	215.06	15.05	200.01	-	-	3	-	345

Parcela 1- Zona 1.3																			
Espaço	Energia consumida ano c/balastro (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia Consumida c/balastro (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com balastro ano (kWh/ano)	Custo com sistema comando (kWh/ano)	Economia de Consumo Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Equipamentos Dynalite (€)	Nº Sensores	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Cantina	524.621	25	5	0.42	23	11	18	136.62	74%	0.3029	0.152	94.63	24.64	69.99	115	-	1	-	115
WC	47.693	3	20	0.05	23	1	18	5.9616	88%	0.3029	0.152	8.60	1.08	7.53	115	-	1	-	115
WC 2	47.693	3	20	0.05	23	1	18	5.9616	88%	0.3029	0.152	8.60	1.08	7.53	115	-	1	-	115
Open space	429.235	5	5	0.08	23	9	18	22.356	95%	0.3029	0.152	77.42	4.03	73.39	115	-	1	-	115
Sala de Reuniões	190.771	10	30	0.17	23	4	18	119.232	38%	0.3029	0.152	34.41	21.51	12.90	115	825,52	1	225	115
Sala de fumar	286.157	5	30	0.08	23	3	36	89.424	69%	0.3029	0.152	51.62	16.13	35.49	115	-	1	-	115
Total	2,098.48	-	-	-	-	35	-	498.7872	76%	-	-	378.51	89.97	288.55	-	-	6	-	1740,52

Parcela 2 - Zona 2.1

Espaço	Energia consumida ano prevista com LED's (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia consumida com LED e sistema de comando (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com LED's (kWh/ano)	Custo com LED e sistema comando (kWh/ano)	Poupança Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Controlo DALI (€)	Nº Sensores	Nº Controlo DALI	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Armazém 2 - 1	3,091.20	-	-	-	23	7	200	1,932.00	38%	0.3029	0.152	557.58	348.48	209.09	95	423	3	1	600	285
Armazém 2 - 2	9,273.60	15	15	0.25	23	21	200	4,347.00	53%	0.3029	0.152	1,672.73	784.09	888.64	95	-	14	-	-	1330
Total	12,364.80	-	-	-	-	28	-	6,279.00	45%	-	-	2,230.30	1,132.57	1,097.73	-	-	17	-	-	2638

Parcela 2 - Zona 2.2

Espaço	Energia consumida ano c/balastro (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia Consumida c/balastro e sistema de comando (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com balastro (kWh/ano)	Custo com sistema comando (kWh/ano)	Poupança Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Equipamentos Dynalite (€)	Nº Sensores	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Showroom	572.31	5	10	0.08	23	12	18	59.616	90%	0.3029	0.152	103.23	10.75	92.48	115	805.52	1	-	115
Receção	317.952	10	15	0.17	23	5	18	99.36	69%	0.3029	0.152	57.35	17.92	39.43			1	-	115
					23	2	15												
Balneário Masculino	246.413	15	1	0.25	23	1	18	26.3304	89%	0.3029	0.152	44.45	4.75	39.70			1	-	115
					23	5	15												
Balneário Feminino	325.901	15	1	0.25	23	1	15	37.0116	89%	0.3029	0.152	58.78	6.68	52.11			1	-	115
					23	6	18												
Refeitório	286.157	25	5	0.42	23	6	18	74.52	74%	0.3029	0.152	51.62	13.44	38.17			-	-	1
WC	39.744	3	20	0.05	23	1	15	4.968	88%	0.3029	0.152	7.17	0.90	6.27	-	-	1	115	
Corredor	95.386	1	50	0.02	23	2	18	9.936	90%	0.3029	0.152	17.21	1.79	15.42	-	-	1	115	
Corredor 2	95.386	1	50	0.02	23	2	18	9.936	90%	0.3029	0.152	17.21	1.79	15.42	-	-	1	115	
Total	1,979.25	-	-	-	-	43	-	321.678	84%	-	-	357.01	58.02	298.99	-	-	8	-	1925,52

Parcela 3 - Zona 3.1

Espaço	Energia consumida ano prevista com LED's (kWh/ano)	Tempo Ligado (minutos)	Nºidas/dia	Tempo Ligado (horas)	Nºdias	Nº Lâmpadas	Potência (W)	Energia consumida com LED e sistema de comando (kWh/ano)	Redução (%)	Custo energia kWh/mês (€) - ponta	Custo energia kWh/mês (€) - cheia	Custo com LED's (kWh/ano)	Custo com LED e sistema comando (kWh/ano)	Economia de Consumo Anual (€)	Preço Sensores (€)	Preço Controlo DALI (€)	Nº Sensores	NºControlos DALI	Outros Custos (€)	Preço Total (€)
Armazém 3	8390.4	15	15	0.25	23	19	200	5,244.00	38%	0.3029	0.152	1,513.42	945.89	567.53	95	423.5	4	1	400	1203.5
Total	8,390.40	-	-	-	-	19	-	5,244.00	38%	-	-	1,513.42	945.89	567.53	-	-	-	-	-	1,203.50

## Anexo E

O programa fornece os dados sobre qual a energia reativa média necessária e qual a bateria de condensadores que se enquadra nesses valores para cada tipo de compensação (setorial, cabendo depois ao utilizador decidir qual a solução que prefere.

Interface do programa com utilizador

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a data entry table and three control panels. The table has columns for Regime 1-10, with sub-columns for Carga, N°Horas, and cos(φ). Below the table are three panels: 'Compensação Local 1', 'Compensação Global', and 'Compensação Local 2'. Each panel contains buttons like 'Executar' and 'Edit', along with input fields for Qc (kvarh) and Bateria (kvar).

Potência 1 (kW)										Potência 2 (kW)																													
Quantidade					N°dias/mês					Uc (kV)					Quantidade					N°dias/mês					Uc (kV)														
4					10					23					0.4					0.75					20					23					0.4				
Regime 1	Regime 2	Regime 3	Regime 4	Regime 5	Regime 6	Regime 7	Regime 8	Regime 9	Regime 10	Regime 1	Regime 2	Regime 3	Regime 4	Regime 5	Regime 6	Regime 7	Regime 8	Regime 9	Regime 10																				
Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga																				
1	0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	0																				
N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas	N°Horas																				
4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0																				
cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)	cos(φ)																				
0.86	0.81	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0.72	0.62	0.48	0	0	0	0	0	0	0																				
η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η	η																				
0.84	0.83	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0.68	0.68	0.64	0	0	0	0	0	0	0																				

Explicação do funcionamento do programa

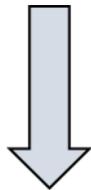
Utilizador insere os dados para cada regime:

- Potência (kW)
- Quantidade
- N°dias/mês
- N° horas/dia
- Tensão Composta (kV)
- $\cos(\varphi)$
- $\eta$ (rendimento)



Dados previamente guardados de baterias de condensadores da Schneider Electric (em kvar):

- Bat1=6
- Bat2=9,25
- Bat3=12,25
- ....
- Bat33=1000
- Bat34=1150



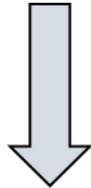
Dados inseridos são guardados:

- Pt1=Potência
- R11=carga(regime 1)
- Uc1=Tensão Composta
- Hora11=Nº horas/dia (regime 1)
- Cos11=cos( $\varphi$ ) (regime 1)
- $\eta$ 11=  $\eta$ (regime 1)

.....

$$\sum_i^{10} n$$

- Ptn=Potência
- R1n=carga(regime n)
- Uc1=Tensão Composta
- Hora1n=Nº horas/dia (regime n)
- Cos1n=cos( $\varphi$ ) (regime n)
- $\eta$ 1n=  $\eta$ (regime n)



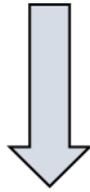
Calcula para cada regime:

- P11 = Potência ativa (regime 1)
- I11 = Corrente (regime 1)
- Sen11 = sen( $\varphi$ ) (regime 1)
- Q11 = potência reativa (regime 1)
- Wp11 = potência ativa consumida/hora (regime 1)
- Wq11 = potência reativa consumida/hora (regime 1)
- Tg11 = tg( $\varphi$ ) (regime1)
- Qc11 = potência reativa necessária/hora (regime 1)

.....

$$\sum_i^{10} m$$

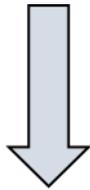
- P1m = Potência ativa (regime m)
- I1m = Corrente (regime m)
- Sen1m = sen( $\varphi$ ) (regime m)
- Q1m = potência reativa (regime m)
- Wp1m = potência ativa consumida/hora (regime m)
- Wq1m = potência reativa consumida/hora (regime m)
- Tg1m = tg( $\varphi$ ) (regime m)
- Qc1m = potência reativa necessária/hora (regime m)



Calculo para escolha bateria de condensadores:

```
If(qct1) <= bat1 then  
Saida1=bat1  
Else  
If (qct1>bat1) and (qct1<=bat2)  
Saida1=bat2  
Else  
.....  

$$\sum_t^{34} k$$
  
If(qct1) <= bat(k) then  
Saida1=bat(k)  
Else  
If (qct1>bat(k)) and (qct1<=bat(k+1))  
Saida1=bat(k+1)  
Else
```



Saída de dados :

- Qct1 (Potência reativa necessária/hora)
- Saida1(Bateria de condensadores escolhida)

## Exemplo de Código para Motor 2

```
//dado pelo utilizador Motor 2
```

```
//dado pelo utilizador Motor 2 (setorial)
```

```
pt2:=Strtfloat(Edit45.text);
qtd2:=Strtfloat(Edit46.text);
ndias2:=Strtfloat(Edit47.text);
uc2:=Strtfloat(Edit48.text);
r21:=Strtfloat(Edit52.text);
r22:=Strtfloat(Edit53.text);
r23:=Strtfloat(Edit54.text);
r24:=Strtfloat(Edit197.text);
r25:=Strtfloat(Edit198.text);
r26:=Strtfloat(Edit199.text);
r27:=Strtfloat(Edit200.text);
r28:=Strtfloat(Edit201.text);
r29:=Strtfloat(Edit202.text);
r210:=Strtfloat(Edit203.text);
hora21:=Strtfloat(Edit58.text);
hora22:=Strtfloat(Edit59.text);
hora23:=Strtfloat(Edit60.text);
hora24:=Strtfloat(Edit204.text);
hora25:=Strtfloat(Edit205.text);
hora26:=Strtfloat(Edit206.text);
hora27:=Strtfloat(Edit207.text);
hora28:=Strtfloat(Edit208.text);
hora29:=Strtfloat(Edit209.text);
hora210:=Strtfloat(Edit210.text);
cos21:=Strtfloat(Edit64.text);
cos22:=Strtfloat(Edit65.text);
cos23:=Strtfloat(Edit66.text);
cos24:=Strtfloat(Edit211.text);
cos25:=Strtfloat(Edit212.text);
cos26:=Strtfloat(Edit213.text);
cos27:=Strtfloat(Edit214.text);
cos28:=Strtfloat(Edit215.text);
cos29:=Strtfloat(Edit216.text);
cos210:=Strtfloat(Edit217.text);
n21:=Strtfloat(Edit70.text);
n22:=Strtfloat(Edit71.text);
n23:=Strtfloat(Edit72.text);
n24:=Strtfloat(Edit218.text);
n25:=Strtfloat(Edit219.text);
n26:=Strtfloat(Edit220.text);
n27:=Strtfloat(Edit221.text);
n28:=Strtfloat(Edit222.text);
n29:=Strtfloat(Edit223.text);
n210:=Strtfloat(Edit224.text);
//dado pelo utilizador Motor 2

//potencia ativa regimes Motor 2
if(r21=0)then
p21:=0
else
```

```
p21:=(pt2*r21*hora21*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r22=0)then  
        p22:=0  
    else
```

```
p22:=(pt2*r22*hora22*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r23=0)then  
        p23:=0  
    else
```

```
p23:=(pt2*r23*hora23*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r24=0)then  
        p24:=0  
    else
```

```
p24:=(pt2*r24*hora24*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r25=0)then  
        p25:=0  
    else
```

```
p25:=(pt2*r25*hora25*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r26=0)then  
        p26:=0  
    else
```

```
p26:=(pt2*r26*hora26*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r27=0)then  
        p27:=0  
    else
```

```
p27:=(pt2*r27*hora27*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r28=0)then  
        p28:=0  
    else
```

```
p28:=(pt2*r28*hora28*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r29=0)then  
        p29:=0  
    else
```

```
p29:=(pt2*r29*hora29*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora28+h  
ora29+hora210);  
    if(r210=0)then  
        p210:=0  
    else
```

```
p210:=(pt2*r210*hora210*qtd2)/(hora21+hora22+hora23+hora24+hora25+hora26+hora27+hora2  
8+hora29+hora210);  
    //
```

```
    //
```

```

//Corrente
  if(r21=0)then
i21:=0
  else
i21:=(pt2*r21)/(sqrt(3)*n21*cos21*uc2);
  if(r22=0)then
i22:=0
  else
i22:=(pt2*r22)/(sqrt(3)*n22*cos22*uc2);
  if(r23=0)then
i23:=0
  else
  i23:=(pt2*r23)/(sqrt(3)*n23*cos23*uc2);
  if(r24=0)then
i24:=0
  else
i24:=(pt2*r24)/(sqrt(3)*n24*cos24*uc2);

  if(r25=0)then
i25:=0
  else
i25:=(pt2*r25)/(sqrt(3)*n25*cos25*uc2);
  if(r26=0)then
i26:=0
  else
i26:=(pt2*r26)/(sqrt(3)*n26*cos26*uc2);
  if(r27=0)then
i27:=0
  else
  i27:=(pt2*r27)/(sqrt(3)*n27*cos27*uc2);
  if(r28=0)then
i28:=0
  else
  i28:=(pt2*r28)/(sqrt(3)*n28*cos28*uc2);
  if(r29=0)then
i29:=0
  else
  i29:=(pt2*r29)/(sqrt(3)*n29*cos29*uc2);
  if(r210=0)then
i210:=0
  else
  i210:=(pt2*r210)/(sqrt(3)*n210*cos210*uc2);

//sen regimes Motor 2
sen21:=sqrt(1-(cos21*cos21));
sen22:=sqrt(1-(cos22*cos22));
sen23:=sqrt(1-(cos23*cos23));
sen24:=sqrt(1-(cos24*cos24));
sen25:=sqrt(1-(cos25*cos25));
sen26:=sqrt(1-(cos26*cos26));
sen27:=sqrt(1-(cos27*cos27));
sen28:=sqrt(1-(cos28*cos28));
sen29:=sqrt(1-(cos29*cos29));
sen210:=sqrt(1-(cos210*cos210));

//potencia reativa regimes Motor 2

```

```

q21:=sqrt(3)*i21*sen21*uc2;
q22:=sqrt(3)*i22*sen22*uc2;
q23:=sqrt(3)*i23*sen23*uc2;
q24:=sqrt(3)*i24*sen24*uc2;
q25:=sqrt(3)*i25*sen25*uc2;
q26:=sqrt(3)*i26*sen26*uc2;
q27:=sqrt(3)*i27*sen27*uc2;
q28:=sqrt(3)*i28*sen28*uc2;
q29:=sqrt(3)*i29*sen29*uc2;
q210:=sqrt(3)*i210*sen210*uc2;

//

//Wp Motor 2
wp21:=(pt2*r21*hora21*qtd2*ndias2);
wp22:=(pt2*r22*hora22*qtd2*ndias2);
wp23:=(pt2*r23*hora23*qtd2*ndias2);
wp24:=(pt2*r24*hora24*qtd2*ndias2);
wp25:=(pt2*r25*hora25*qtd2*ndias2);
wp26:=(pt2*r26*hora26*qtd2*ndias2);
wp27:=(pt2*r27*hora27*qtd2*ndias2);
wp28:=(pt2*r28*hora28*qtd2*ndias2);
wp29:=(pt2*r29*hora29*qtd2*ndias2);
wp210:=(pt2*r210*hora210*qtd2*ndias2);
wpt2:=wp21+wp22+wp23+wp24+wp25+wp26+wp27+wp28+wp29+wp210;
//

//Wq Motor 2

wq21:=q21*hora21*qtd2*ndias2;
wq22:=q22*hora22*qtd2*ndias2;
wq23:=q23*hora23*qtd2*ndias2;
wq24:=q24*hora24*qtd2*ndias2;
wq25:=q25*hora25*qtd2*ndias2;
wq26:=q26*hora26*qtd2*ndias2;
wq27:=q27*hora27*qtd2*ndias2;
wq28:=q28*hora28*qtd2*ndias2;
wq29:=q29*hora29*qtd2*ndias2;
wq210:=q210*hora210*qtd2*ndias2;
wqt2:=wq21+wq22+wq23+wq24+wq25+wq26+wq27+wq28+wq29+wq210;

//

//calculo tangente Motor 2

if(r21=0)then
tg21:=0
else
tg21:=wq21/wp21;
if(r22=0)then
tg22:=0
else
tg22:=wq22/wp22;
if(r23=0)then
tg23:=0
else
tg23:=wq23/wp23;
if(r24=0)then
tg24:=0
else

```

```

tg24:=wq24/wp24;
if(r25=0)then
tg25:=0
else
tg25:=wq25/wp25;
if(r26=0)then
tg26:=0
else
tg26:=wq26/wp26;
if(r27=0)then
tg27:=0
else
tg27:=wq27/wp27;
if(r28=0)then
tg28:=0
else
tg28:=wq28/wp28;
if(r29=0)then
tg29:=0
else
tg29:=wq29/wp29;
if(r210=0)then
tg210:=0
else
tg210:=wq210/wp210;
if(wpt2=0)then
tgt2:=0
else
tgt2:=wqt2/wpt2;
//

```

```

//calculo Qc Local Regime 1,2,3 Motor 2
qc21:=(pt2*r21*qtd2)*(tg21-0.3);
qc22:=(pt2*r22*qtd2)*(tg22-0.3);
qc23:=(pt2*r23*qtd2)*(tg23-0.3);
qc24:=(pt2*r24*qtd2)*(tg24-0.3);
qc25:=(pt2*r25*qtd2)*(tg25-0.3);
qc26:=(pt2*r26*qtd2)*(tg26-0.3);
qc27:=(pt2*r27*qtd2)*(tg27-0.3);
qc28:=(pt2*r28*qtd2)*(tg28-0.3);
qc29:=(pt2*r29*qtd2)*(tg29-0.3);
qc210:=(pt2*r210*qtd2)*(tg210-0.3);
//

```

```

//calculo Ptotal Motor 2
pt21:=p21+p22+p23+p24+p25+p26+p27+p28+p29+p210;
//

```

```

//calculo Qc Total Motor 2
qct2:=pt21*(tgt2-0.3);

```

```

//Motor 2

```

```

//Compensação Global
wpt:=wpt1+wpt2;
wqt:=wqt1+wqt2;
tgt:=wqt/wpt;
pt:=pt1+pt2;
qct:=pt*(tgt-0.3);
Edit83.Caption :=floattostr(qct);

if(qct<=bat1)then
  Edit258.Caption :=floattostr(bat1)
else
  if(qct>bat1)and (qct<=bat2)then
    Edit258.Caption :=floattostr(bat2)
  else
    if(qct>bat2)and (qct<=bat3)then
      Edit258.Caption :=floattostr(bat3)
    else
      if(qct>bat3)and (qct<=bat4)then
        Edit258.Caption :=floattostr(bat4)
      else
        if(qct>bat4)and (qct<=bat5)then
          Edit258.Caption :=floattostr(bat5)
        else
          if(qct>bat5)and (qct<=bat6)then
            Edit258.Caption :=floattostr(bat6)
          else
            if(qct>bat6)and (qct<=bat7)then
              Edit258.Caption :=floattostr(bat7)
            else
              if(qct>bat7)and (qct<=bat8)then
                Edit258.Caption :=floattostr(bat8)
              else
                if(qct>bat8)and (qct<=bat9)then
                  Edit258.Caption :=floattostr(bat9)
                else
                  if(qct>bat9)and (qct<=bat10)then
                    Edit258.Caption :=floattostr(bat10)
                  else
                    if(qct>bat10)and (qct<=bat11)then
                      Edit258.Caption :=floattostr(bat2)
                    else
                      if(qct>bat11)and (qct<=bat12)then
                        Edit258.Caption :=floattostr(bat12)
                      else
                        if(qct>bat12)and (qct<=bat13)then
                          Edit258.Caption :=floattostr(bat13)
                        else
                          if(qct>bat13)and (qct<=bat14)then
                            Edit258.Caption :=floattostr(bat14)
                          else
                            if(qct>bat14)and (qct<=bat15)then
                              Edit258.Caption :=floattostr(bat15)
                            else
                              if(qct>bat15)and (qct<=bat16)then
                                Edit258.Caption :=floattostr(bat16)
                              else
                                if(qct>bat16)and (qct<=bat17)then
                                  Edit258.Caption :=floattostr(bat17)
                                else
                                  if(qct>bat17)and (qct<=bat18)then

```

```
Edit258.Caption :=floattostr(bat18)
else
if(qct>bat18)and (qct<=bat19)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat19)
else
if(qct>bat19)and (qct<=bat20)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat20)
else
if(qct>bat19)and (qct<=bat20)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat20)
else
if(qct>bat20)and (qct<=bat21)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat21)
else
if(qct>bat21)and (qct<=bat22)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat22)
else
if(qct>bat22)and (qct<=bat23)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat23)
else
if(qct>bat23)and (qct<=bat24)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat24)
else
if(qct>bat24)and (qct<=bat25)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat25)
else
if(qct>bat25)and (qct<=bat26)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat26)
else
if(qct>bat26)and (qct<=bat27)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat27)
else
if(qct>bat27)and (qct<=bat28)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat28)
else
if(qct>bat28)and (qct<=bat29)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat29)
else
if(qct>bat29)and (qct<=bat30)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat30)
else
if(qct>bat30)and (qct<=bat31)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat31)
else
if(qct>bat31)and (qct<=bat32)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat32)
else
if(qct>bat32)and (qct<=bat33)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat33)
else
if(qct>bat33)and (qct<=bat34)then
Edit258.Caption :=floattostr(bat34)
else
```

end;



# Referências

- [1] Vladimiro Miranda, “Iluminação”. Disponível em [https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos\\_service.conteudos\\_cont?pct\\_id=139127&pv\\_cod=11as9NaxATfa](https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=139127&pv_cod=11as9NaxATfa). Acesso em Novembro/2014.
- [2] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Iluminamento>. Acesso em Novembro/2014.
- [3] CEN, “EN 12464-1”. Acesso em Abril/2015.
- [4] Carlos Silva Augusto Souto, “Contribuições para a Eficiência e Sustentabilidade Energéticas em Grandes Edifícios, recorrendo a Soluções Tecnológicas Recentes”. Acesso em Novembro/2014
- [5] TECI, “Tipos de lâmpadas”. Acesso em Novembro.
- [6] <http://www.lustressantaisabel.com.br/?a=detalheProduto&id=506>. Acesso em Novembro/2014
- [7] [http://www.osram.pt/osram\\_pt/noticias-e-conhecimento/lampadas-fluorescentes-compactas/index.jsp](http://www.osram.pt/osram_pt/noticias-e-conhecimento/lampadas-fluorescentes-compactas/index.jsp). Acesso em Novembro/2014
- [8] Philips, “Tabela de Iluminação Profissional, Março 2015”. Acesso em Abril/2015
- [9] ETAP, “Opções e Acessórios Eléctricos”. Acesso em Abril/2015
- [10] Vladimiro Miranda, “Tópicos de Matemática Financeira para Aplicação em Gestão de Energia”. Acesso em Maio /2014
- [11] ERSE, “Tarifas e preços para energia elétrica e outros serviços em 2015”. Acesso em Maio/2015
- [12] Nelson Ramos Louçano, “Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação”. Acesso em Novembro/2014
- [13] <http://www.magazineluiza.com.br/sensor-infravermelho-passivo-rcg-60007/p/2036277/fs/fsac/>. Acesso em Novembro/2014
- [14] [https://www.google.pt/search?q=sensor+ultrasonico&espv=2&biw=1280&bih=699&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMlstW4geXxxgIVg20UCh3v3AFb#imgsrc=ExoxLomUZqDMAM%3A](https://www.google.pt/search?q=sensor+ultrasonico&espv=2&biw=1280&bih=699&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMlstW4geXxxgIVg20UCh3v3AFb#imgsrc=ExoxLomUZqDMAM%3A). Acesso em Novembro/2014