



**Bruno Aparício Ferreira Luís**

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores

## **Optimização em projecto de instalações eléctricas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Electrotécnica e de Computadores

Orientador: João Francisco Alves Martins, Prof. Doutor, FCT/UNL  
Co-orientador: Pedro Miguel Ribeiro Pereira, Assistente, FCT/UNL

Composição do Júri:

Presidente: Doutor João Miguel Murta Pina, FCT/UNL

Arguente: Doutor Yves Philippe Rybarczyk, FCT/UNL

Vogais: Doutor João Francisco Alves Martins, FCT/UNL

Mestre Pedro Miguel Ribeiro Pereira, FCT/UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2013**

## **Optimização em projectos de instalações eléctricas**

Copyright © Bruno Aparício Ferreira Luís, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Este documento não foi escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer aos dois professores que me orientaram ao longo deste projecto, Professor João Francisco Alves Martins e Professor Pedro Miguel Ribeiro Pereira. Pela disponibilidade demonstrada desde o início, por me terem criado uma tese neste âmbito, a meu pedido, e por incansavelmente me terem assistido em todas as fases desta dissertação, desde a sua concepção até à sua finalização, pelas ideias, sugestões, indicações e correcções.

Quero agradecer à minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, pela ajuda e apoios constantes, que começaram desde cedo e que vão para além do meu percurso académico, pelas orientações, pela compreensão, pela paciência e pelos bons conselhos.

Agradeço também à minha namorada, Alexandra Peres, pelo carinho, apoio e força constantes, nos melhores e piores momentos, e amigos mais próximos, Vasco Pereira, José Dias, Gonçalo Almeida, António Moreira, João Grilo e João Nunes, pela amizade e confiança, pela ajuda e suporte, que não são só de agora.



## Resumo

Nos anos que correm, deve-se fazer uma utilização ponderada e controlada dos recursos que o nosso planeta tem para oferecer. Principalmente, quando o bem em causa é energia.

A presente dissertação aborda a importância que a energia eléctrica tem na vida do ser humano, assim como os mecanismos que lhe permitem melhor compreender como lhe dar um uso prático e inteligente, quando explorada através de instalações eléctricas. Ao criarem-se estudos que permitem otimizar e melhor aproveitar o que o meio ambiente tem para dar à humanidade, conseguem-se avanços do ponto de vista tecnológico.

Mas, a viabilidade das instalações eléctricas não passa apenas pela capacidade em fazer-se uma gestão eficaz da electricidade. Existe todo um meio económico que tem de ser satisfeito, de modo a que os edifícios ou as infraestruturas possam ser criados. Torna-se urgente a realização deste tipo de estudos, que analisam as duas vertentes do problema, a eficiência energética e os custos associados, em par com a sua conjugação ideal.

Nesta dissertação, é feita uma apresentação do que é e da importância que, hoje em dia, tem a conjugação óptima do binómio eficiência energética/custos de instalação. Na componente prática, estudam-se algumas das principais instalações luminotécnicas projectadas na actualidade, em função de algumas variáveis importantes, que influenciam a determinação das mais adequadas. Limita-se o estudo desenvolvido à luminotecnica por ser uma das componentes onde melhor se podem analisar os efeitos do binómio.

Como resultado, apresenta-se um conjunto de cenários otimizados, resultantes da conjugação óptima do estudo em torno da eficiência energética e dos custos associados, de modo a indicar qual o melhor projecto a ser desenvolvido. Desenvolveu-se, ainda, uma aplicação informática de fácil interacção com o utilizador, onde se podem consultar as instalações mais proveitosas, em termos de viabilidade energética e económica.

Termos-chave: Eficiência energética, custos, instalações eléctricas, viabilidade, optimização



## **Abstract**

Currently, we should use carefully all the resources the planet has to offer, especially when the resource is energy.

The present dissertation addresses the special importance that electric energy has in the life of a human being, as the mechanisms that allow him to better understand how to put it in practice in an intelligent way, when explored through electric facilities. One of the major concerns is the safekeeping of the environment and, by creating studies that optimize and harness all that the environment has to offer, we accomplish several breakthroughs in the technology point of view.

Electric facilities viability isn't only about the capability of doing a correct management of electricity. There's a whole economic aspect that has to be satisfied, in order for all buildings and infrastructures to be created. It is urgent to perform this type of study, that examine the two main components of the problem, energetic efficiency and the related costs, in pair with the ideal conjugation of both.

In this dissertation, a presentation is made about what it is and the importance that it has, nowadays, the optimum conjugation of the binomial energy efficiency/installation costs. Regarding the practical component, studies are made on some of the major electrical project installations that currently exist, in function of some important variables, which influence the determination of suitable installations. The developed study is limited to the lighting technique for being one of the best components which can analyze the effects of the binomial.

As result, a group of optimized scenarios is presented, where the study of energetic efficiency and associated costs merge, in order to indicate what is the best project to be developed. A computer application for easy user interaction has been developed, where one can consult the more profitable installations, in terms of energetic and economic viability.

Key-words: Energetic efficiency, costs, electric facilities, viability, optimization



# Índice de matérias

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
1.4	Resultados expectáveis.....	3
<b>2</b>	<b>Fundamentos teóricos.....</b>	<b>5</b>
2.1	Binómio eficiência energética/custos de instalação .....	5
2.2	Enquadramento.....	6
2.3	Eficiência energética aplicada às instalações eléctricas .....	7
2.4	Contextualização teórica dos elementos necessários ao estudo do binómio .....	11
<b>3</b>	<b>Modelização.....</b>	<b>15</b>
3.1	Dimensionamento.....	15
3.1.1	Criação da sala.....	16
3.1.2	Simulação de um ambiente com luz natural.....	16
3.1.3	Criação de um módulo com valores calculados de luz.....	17
3.1.4	Criação das diferentes instalações, execução dos cálculos luminotécnicos e recolha dos dados	18
3.1.5	Programação dos diferentes tipo de controlo em estudo .....	21
3.1.6	Cálculo da potência, das perdas e dos consumos energéticos nos circuitos .....	28
3.1.7	Análise comparativa entre os valores de energia consumida nos diferentes tipos de controlo	30
3.1.8	Cálculo dos custos de exploração, instalação e manutenção para os diferentes casos	31
3.2	Extensão do dimensionamento.....	34
3.2.1	Extensão do método em função da área .....	35
3.2.2	Extensão do método em função da quantidade de luz natural.....	35

3.3	Dimensionamento da aplicação e análise dos resultados .....	35
<b>4</b>	<b>Descrição e implementação do modelo prático .....</b>	<b>37</b>
4.1	Implementação da metodologia.....	37
4.1.1	Tecnologia adoptada no desenvolvimento do modelo prático .....	37
4.1.2	Criação da sala.....	38
4.1.3	Simulação de um ambiente com luz natural .....	39
4.1.4	Criação de um módulo com valores calculados de luz.....	41
4.1.5	Criação das diferentes instalações, execução dos cálculos luminotécnicos e recolha dos dados	44
4.1.6	Programação dos diferentes tipo de controlo em estudo .....	45
4.1.7	Cálculo da potência, das perdas e dos consumos energéticos nos circuitos .....	47
4.1.8	Análise comparativa ente os valores de energia consumida nos diferentes tipos de controlo	50
4.1.9	Cálculo dos custos de exploração, instalação e manutenção para os diferentes casos	52
	➤ Custos de instalação .....	52
	➤ Custos de manutenção .....	55
	➤ Custos de exploração.....	57
4.2	Implementação da extensão.....	61
4.2.1	Implementação da extensão do método em função da área.....	62
4.2.2	Implementação da extensão do método em função da quantidade de luz natural .....	83
4.3	Aplicação final e análise dos resultados .....	93
4.3.1	Tecnologia adoptada no desenvolvimento da aplicação final .....	93
4.3.2	Análise ao funcionamento e conteúdo da aplicação .....	94
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>105</b>
5.1	Sugestão de trabalhos futuros .....	106
	<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>107</b>

## Índice de figuras

Figura 1 – Níveis de insolação em Portugal (GeoModel Solar, 2011).....	12
Figura 2 – Níveis de insolação na Europa (Meteonorm, 2000).....	12
Figura 3 - Fluxograma da adição de uma janela .....	16
Figura 4 - Fluxograma da simulação de luz natural .....	17
Figura 5 - Fluxograma da criação dos módulos com valores calculados de luz .....	18
Figura 6 - Fluxograma da execução do estudo luminotécnico .....	19
Figura 7 - Fluxograma do tratamento de dados respeitantes ao estudo luminotécnico .....	21
Figura 8 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 4x1 .....	23
Figura 9 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 2x2 .....	24
Figura 10 - Fluxograma do funcionamento do interruptor da instalação 1x4 .....	25
Figura 11 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação PI.....	25
Figura 12 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação BREG.....	26
Figura 13 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 4x1 2L.....	27
Figura 14 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 1x4 2L.....	28
Figura 15 - Fluxograma do cálculo das potências.....	29
Figura 16 - Fluxograma do cálculo das perdas.....	30
Figura 17 - Fluxograma do cálculo da energia consumida .....	30
Figura 18 - Fluxograma do tratamento de dados relativo ao consumo energético.....	31
Figura 19 - Fluxograma do cálculo dos custos de instalação .....	32
Figura 20 - Fluxograma do cálculo dos custos de manutenção.....	33
Figura 21 - Fluxograma do cálculo dos custos de exploração.....	34
Figura 22 - Fluxograma do funcionamento da aplicação .....	36
Figura 23 - Modelo de uma das salas criadas.....	38
Figura 24 - Exemplo de uma planta da sala com as isoluxes detectadas, em Julho, com esquemática das diferentes zonas existentes.....	39
Figura 25 - Exemplo de um cenário com as isoluxes detectadas numa das salas, em Dezembro....	40
Figura 26 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses.....	51
Figura 27 - Gráfico dos custos de instalação dos diferentes controlos na sala 5.....	55
Figura 28 - Gráfico dos preços do kWh em Portugal, nos últimos anos .....	59
Figura 29 - Gráfico dos preços estimados do kWh em Portugal, nos próximos anos .....	60
Figura 30 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 1 .....	73
Figura 31 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 2.....	73
Figura 32 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 3.....	74

Figura 33 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 4 .....	74
Figura 34 - Gráfico dos custos de instalação dos diferentes controlos em função da área .....	75
Figura 35 - Gráfico dos custos de manutenção a médio prazo em função da área.....	76
Figura 36 - Gráfico dos custos de manutenção a longo prazo em função da área.....	77
Figura 37 - Gráfico dos custos de exploração a curto prazo em função da área .....	78
Figura 38 - Gráfico dos custos de exploração a médio prazo em função da área .....	78
Figura 39 - Gráfico dos custos de exploração a longo prazo em função da área .....	79
Figura 40 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a curto prazo em função da área .....	81
Figura 41 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a médio prazo em função da área ....	82
Figura 42 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a longo prazo em função da área .....	82
Figura 43 - Gráfico dos custos de manutenção a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	84
Figura 44 - Gráfico dos custos de manutenção a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	85
Figura 45 - Gráfico dos custos de exploração a curto prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	86
Figura 46 - Gráfico dos custos de exploração a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	87
Figura 47 - Gráfico dos custos de exploração a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	87
Figura 48 - Gráfico dos custos totais a curto prazo em função dos diferentes cenários de luz.....	90
Figura 49 - Gráfico dos custos totais a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz .....	90
Figura 50 - Gráfico dos custos totais a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz .....	91
Figura 51 - Gráfico das quotas dos custos de instalação ao longo do tempo num cenário com muita luz disponível .....	92
Figura 52 - Gráfico das quotas dos custos de instalação ao longo do tempo num cenário com pouca luz disponível .....	92
Figura 53 – 1º Bloco da aplicação desenvolvida.....	95
Figura 54 – 2º Bloco da aplicação desenvolvida.....	95
Figura 55 – 3º Bloco da aplicação desenvolvida.....	96
Figura 56 – 4º Bloco da aplicação desenvolvida.....	96
Figura 57 – 5º Bloco da aplicação desenvolvida.....	97
Figura 58 - 6º Bloco da aplicação desenvolvida .....	98
Figura 59 - 7º Bloco da aplicação desenvolvida .....	99
Figura 60 - Exemplo de um relatório fornecido pela aplicação concebida .....	103

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Tabela das diferentes fases do processamento e distribuição da energia (INEE, 2001)...	1
Tabela 2 – Tabela dos valores de luz detectados no mês de Julho.....	39
Tabela 3 - Tabela dos valores de luz detectados no mês de Dezembro .....	40
Tabela 4 – Tabela do factor de crescimento.....	41
Tabela 5 - Tabela do factor de decrescimento.....	42
Tabela 6 - Tabela dos valores de luz calculados para o mês de Agosto.....	43
Tabela 7 – Tabela de registo dos dados relativos ao cálculo luminotécnico.....	44
Tabela 8 – Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 5.	49
Tabela 9 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 5 (continuação).....	50
Tabela 10 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 5.....	51
Tabela 11 – Tabela dos custos de instalação dos diferentes controlos na sala 5.....	52
Tabela 12 – Tabela de registo dos valores associados ao modelo de cálculo dos custos de manutenção na sala 5.....	57
Tabela 13 – Tabela dos custos de manutenção dos diferentes controlos na sala 5.....	57
Tabela 14 – Tabela de registo dos preços do kWh em Portugal, nos últimos anos.....	58
Tabela 15 – Tabela de registo dos preços estimados do kWh em Portugal, nos próximos anos.....	59
Tabela 16 – Tabela de registo dos valores associados ao cálculo dos custos de exploração .....	60
Tabela 17 - Tabela de registo dos dados relativos ao cálculo luminotécnico das restantes salas ....	64
Tabela 18 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 1	65
Tabela 19 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 1 (continuação).....	65
Tabela 20 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 2	66
Tabela 21 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 2 (continuação).....	67
Tabela 22 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 3	67
Tabela 23 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 3 (continuação).....	68
Tabela 24 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 4	69
Tabela 25 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 4 (continuação).....	70
Tabela 26 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 1.....	70
Tabela 27 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 2.....	71

Tabela 28 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 3.....	71
Tabela 29 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 4.....	72
Tabela 30 - Tabela dos custos de instalação dos diferentes controlos nas várias salas .....	75
Tabela 31 - Tabela dos custos de manutenção a médio prazo para todas as salas .....	76
Tabela 32 - Tabela dos custos de manutenção a longo prazo para todas as salas .....	76
Tabela 33 - Tabela dos custos de exploração a curto prazo para todas as salas.....	77
Tabela 34 - Tabela dos custos de exploração a médio prazo para todas as salas .....	77
Tabela 35 - Tabela dos custos de exploração a longo prazo para todas as salas .....	78
Tabela 36 – Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 1 .....	79
Tabela 37 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 2 .....	80
Tabela 38 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 3 .....	80
Tabela 39 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 4 .....	81
Tabela 40 – Tabela de registo dos gastos energéticos para os diferentes cenários de luz.....	83
Tabela 41 - Tabela dos custos de manutenção a médio prazo para os diferentes cenários de luz....	83
Tabela 42 - Tabela dos custos de manutenção a longo prazo para os diferentes cenários de luz ....	84
Tabela 43 – Tabela dos custos de exploração relativos ao primeiro cenário de luz.....	85
Tabela 44 - Tabela dos custos de exploração relativos ao segundo cenário de luz.....	85
Tabela 45 - Tabela dos custos de exploração relativos ao terceiro cenário de luz .....	85
Tabela 46 - Tabela dos custos de exploração relativos ao quarto cenário de luz .....	86
Tabela 47 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao segundo cenário de luz.....	88
Tabela 48 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao terceiro cenário de luz.....	88
Tabela 49 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao terceiro cenário de luz.....	89
Tabela 50 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao quarto cenário de luz.....	89
Tabela 51 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao quinto cenário de luz.....	89
Tabela 52 – Tabela esquemática das diferentes soluções possíveis de se obterem através da aplicação.....	94

## Simbologia

	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>
A	Área	m <sup>2</sup>
c	Comprimento	m
l	Largura	m
Pe	Potência específica	W.m <sup>-2</sup>
P	Potência	W
I	Corrente	A
S	Potência aparente	VA
U	Tensão nominal	V
η	Rendimento dos receptores	%
R	Resistência	Ω
Pcons	Potência consumida	W
Comp	Comportamento do interruptor	Adim
Plum	Potência da luminária instalada	W
Nlum	Número de luminárias instaladas	Adim
Pconsh	Potência consumida por hora	Wh
P1	Potência no circuito 1	W
P2	Potência no circuito 2	W
P3	Potência no circuito 3	W
P4	Potência no circuito 4	W
Pr	Perdas eléctricas	W
Cc	Comprimento do cabo	m
Consth	Consumos totais por hora	Wh
Prh	Perdas eléctricas por hora	Wh
ocup	Ocupação	Adim
lzn	Luz natural	lux
Vul	Vida útil das lâmpadas	h
Tcl	Tempo consumido das lâmpadas	h
Nlamp	Número de lâmpadas por luminária	Adim
Long	Longevidade de uma lâmpada	h
Hfunca	Horas de funcionamento das lâmpadas por ano	h
Nanos	Número de anos	Adim
Hfuncm	Horas de funcionamento das lâmpadas por mês	h
Ptconsm	Potência total consumida por mês	Wh

## Notações

	<b>Descrição</b>
UE	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
EDP	Energias de Portugal
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
PI	Instalação Par/Ímpar
BREG	Instalação com Balastro Regulável
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
NUT	Unidade Territorial Estatística
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade

# 1 Introdução

Neste capítulo introdutório, é feita uma breve contextualização do tema no panorama actual. Discutem-se eficiência energética e viabilidade de custos a nível de instalação e exploração. São apresentados os objectivos da dissertação, assim como uma breve descrição da estrutura da mesma.

## 1.1 Motivação

Para que a energia chegue às devidas populações, são necessárias uma série de transformações, desde um estado primitivo, em que ela é encontrada na natureza (energia primária), até a energia útil, onde pode assumir diferentes formas, sejam luz, calor ou movimento (Gomes, 2003). As diferentes fases do processo de criação e distribuição de energia abrangem os diferentes sectores económicos, como se pode visualizar na tabela 1 (INEE, 2001).

**Tabela 1 – Tabela das diferentes fases do processamento e distribuição da energia (INEE, 2001)**

Energia primária	Sector energético	Energia secundária	Sistema de uso final	Serviço de energia		
<b>Não fósseis:</b>	Geradores; Redes de EE; Refinarias; Destilarias de álcool; Transporte de combustível.	Gasolina; Electricidade; Diesel; Álcool.	<b>Processos:</b>	Calor; Frio; Movimento; Luz.	Sociedade	
Quedas de água; Vento; Sol; Biomassa.			Co-geradores; Motores; Caldeira.			
<b>Fósseis:</b>			<b>Individuais:</b>			
Carvão; Petróleo.			Automóveis; Iluminação; Arcas frigoríficas.			
Fonte de energia					Distribuição de energia	

As instalações eléctricas permitem ao ser humano aproveitar essa forma de energia secundária – a electricidade - em todos os sectores. A importância das instalações, assim como o progresso das mesmas, é cada vez maior, tanto ao nível das vantagens técnicas como económicas, pois conjuga uma harmonia entre eficiência tecnológica e protecção do meio ambiente.

Até 2050, a procura de energia pode duplicar ou triplicar, à medida que a população aumenta e os países desenvolvidos expandem a sua actividade (EDP - Energias de Portugal, 2013), urgindo a necessidade de se criarem habitações e edifícios cada vez mais confortáveis. Nestes mesmos países, a iluminação canaliza grande parte da energia eléctrica gerada. Sendo assim, procura-se, dentro do campo da optimização de instalações eléctricas, aprimorar as técnicas de desenvolvimento das instalações luminotécnicas, para se retirar um maior proveito das mesmas, através de maiores rendimentos energéticos e menores custos na facturação da energia.

Cada vez mais, não existe lugar para o imprevisto e nas instalações eléctricas, assim como nas suas ramificações, passa-se o mesmo, todos os detalhes devem ser calculados e ponderados, porque o objectivo consiste em criar o edifício ou a infraestrutura como uma unidade, tecnologicamente e economicamente viável.

Relativamente a novos conceitos, associados a instalações eléctricas e, ainda mais, à luminotecnica, fala-se em eficiência energética. Apesar da popularidade do termo, o seu conceito ainda não está totalmente esclarecido e difundido. Contudo, este tornou-se fundamental em todos os sectores económicos.

## **1.2 Objectivos**

O estudo desenvolvido, no âmbito desta dissertação, teve como principal objectivo encontrar mecanismos que permitam orientar a escolha do melhor tipo de instalação luminotécnica a desenvolver, em termos de eficácia a nível energético, funcionalidade a nível de controlo e viabilidade a nível económico.

## **1.3 Estrutura da dissertação**

O primeiro capítulo, da introdução, enquadra os pontos essenciais que constituem esta tese, uma breve descrição dos mesmos dentro do panorama actual e os objectivos propostos.

No segundo capítulo, abordam-se a essência da dissertação, que trata o binómio eficiência energética/custos de instalação, a relação entre estes dois elementos, o enquadramento do tema eficiência energética, juntamente com a apresentação de alguns projectos desenvolvidos nessa área, e a contextualização de elementos teóricos necessários ao desenvolvimento da componente prática.

O capítulo seguinte, da modelização, descreve todo o mecanismo a implementar que serve de base à componente prática da tese. É criada a proposta de desenvolvimento dessa componente, de forma assistida, através de breves explicações e diagramas exemplificativos.

O quarto capítulo apresenta todos os resultados relevantes obtidos, as considerações feitas acerca dos mesmos e a aplicação final desenvolvida, complemento dos objectivos inicialmente propostos.

No último capítulo, são apresentadas as conclusões finais, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

## **1.4 Resultados expectáveis**

O resultado expectável será a criação e o aperfeiçoamento do algoritmo de optimização, testado e validado através de ambientes simulados, semelhantes a situações reais, para que os resultados provem que existe a possibilidade de uma conjugação óptima na relação entre eficiência energética e custos de instalação.



## **2 Fundamentos teóricos**

### **2.1 Binómio eficiência energética/custos de instalação**

Um binómio trata a expressão algébrica entre dois membros que, neste caso, são a eficiência energética e os custos de instalação. Para que estes sejam relacionados, há que fazer-se um levantamento de elementos comuns e estabelecerem-se mecanismos de análise/comparação, dado que estas duas grandezas são avaliadas de forma diferente. A avaliação de um sistema eficiente passa pela realização de cálculos energéticos, enquanto a avaliação dos custos de instalação passa pelo levantamento dos gastos monetários necessários.

Para se atingir um nível de eficácia, num qualquer ponto ou meio que consome energia, nomeadamente eléctrica, é preciso que estejam criadas um conjunto de condições para esse mesmo efeito. E para serem criadas essas condições, a nível prático, é preciso equipamento adequado, de modo a que o controlo sobre determinado gasto energético seja rigoroso e preciso. Ou seja, existe a permissa de que uma maior eficiência deriva de um maior controlo, que por sua vez tem origem num maior investimento a nível de equipamento.

Entende-se que, para se atingir um nível óptimo no binómio eficiência energética/custos de instalação, é preciso, em primeiro lugar, contabilizar o retorno conseguido através da gestão eficiente da energia eléctrica. Esse retorno traduz-se em custos de exploração e custos de manutenção. Estes dois elementos são difíceis de se prever. Os custos de exploração dependem de preços futuros sobre a energia, que na maioria das vezes ainda não foram determinados. Já os custos de manutenção representam todos os gastos com elementos da instalação que tenham de ser substituídos, reparados ou alterados. Apesar da dificuldade em se precisar estas duas componentes, para efeitos de um estudo de optimização, ambas podem ser pesadas e tidas em conta, de acordo com a exigência necessária.

O segundo passo exige que seja determinada a relação entre os elementos mencionados anteriormente, custos de exploração e custos de manutenção, com os custos de instalação. Os custos de instalação derivam de um estudo luminotécnico associado à criação de uma nova instalação eléctrica. Abrangem os custos do material, a mão-de-obra necessária para a realização da obra, assim como as margens de lucro da empresa instaladora. De um ponto de vista económico, a relação óptima é conseguida quando o somatório destas despesas (custos de exploração, manutenção e instalação) se traduz num negócio vantajoso para o consumidor final, aquele que encomenda a instalação e que suporta todos os custos derivados da mesma.

Os cenários nos quais tem origem a otimização do binómio podem ser vários. Tendo em conta o prazo de investimento determinado, esta pode ser conseguida através de um aumento dos custos de instalação iniciais para obtenção de custos de exploração mais reduzidos, ou através da criação de uma instalação economicamente mais viável, mas com gastos energéticos mais elevados, entre outras situações. A análise da optimização de um binómio como este não devolve um resultado ideal, em que todos os factores apontam para uma só solução. As variáveis que se têm de contabilizar são imensas e quantas mais estas forem, mais precisos serão os resultados obtidos.

Estas variáveis resultam de elementos externos e internos à instalação eléctrica em desenvolvimento. Podem ser elas a presença de luz natural no local, as necessidades de consumo eléctrico, as dimensões da instalação ou do local onde será feita a instalação, o prazo para o qual se dimensiona o investimento da obra, o tipo de local onde será colocada a instalação, o país onde se realiza a obra, a orientação do local, entre outras. Determinar um algoritmo matemático que tenha em consideração todos estes elementos e possivelmente mais alguns, é uma tarefa quase impossível, não só pelo número de variáveis consideradas, mas também pelos conjuntos de dados e valores derivados das mesmas. Contudo, é possível a realização de um estudo em torno deste binómio e da sua optimização, através de um algoritmo baseado em análises e ponderações em torno das mesmas variáveis referidas.

## **2.2 Enquadramento**

Eficiência energética é um conceito generalizado para referir as medidas a implementar (ou implementadas) bem como os resultados alcançados na redução do crescimento da procura de energia ou, mais genericamente, na melhor utilização da energia (Ferreira J. J., 1993). Também pode passar por substituir determinada forma de energia por outra, no uso das energias primárias.

Foi efectuado um estudo pelo American Council for an Energy-Efficient Economy, onde se analisaram 12 das principais economias mundiais e se estabeleceu um ranking acerca dos países líderes em eficiência energética, através da análise de 27 parâmetros de avaliação. Em primeiro lugar, com 67 pontos, vigorou o Reino Unido, seguido pela Alemanha (66 pontos), Itália (63 pontos), Japão (62 pontos), França (60 pontos), restante União Europeia (56 pontos), Austrália (56 pontos), China (66 pontos), Estados Unidos (47 pontos), Brasil (41 pontos), Canadá (37 pontos) e Rússia (36 pontos) (ACEEE, 2012). Dada a importância do tema em si, já são muitos os países a decretar leis reguladoras que estabelecem objectivos indicativos, mecanismos, incentivos e quadros institucionais, financeiros e jurídicos necessários para eliminar actuais deficiências e obstáculos do mercado, que impedem uma utilização final eficiente da energia e cria condições para o desenvolvimento e promoção de um

mercado dos serviços energéticos e para o desenvolvimento de outras medidas de melhoria da eficiência energética destinadas aos consumidores finais.

A consciencialização para a poupança de energia e gestão eficaz da mesma, tende a abranger toda a sociedade, desde o produtor ao consumidor. Contudo, existe uma maior responsabilidade inerente aos projectistas, instaladores e engenheiros, visto serem estes os responsáveis pela idealização e criação dos sistemas energéticos. Actualmente, só a iluminação utiliza cerca de 10 a 20% do total dos consumos de electricidade dos países industrializados, pelo que deve ser um dos principais alvos da racionalização energética (T. A. Aníbal, 2005). Como já foi referido, a importância deste tópico não passa apenas pela eficácia energética e pela conservação da natureza, efectivamente, existe toda uma componente económica que se faz pesar no momento de orçar determinada instalação ou nas facturas do final do mês de consumos energéticos.

As leis referidas acima, assim como as políticas das empresas comercializadoras de energia dos diferentes países, tendem a ser benéficas do ponto de vista de eficácia, favorecendo instalações projectadas neste sentido ou medidas adoptadas posteriores à instalação. A verdade é que estas medidas, inicialmente, não tendem a ser pouco dispendiosas, porque muitas vezes o equipamento associado ou o estudo em torno da optimização são caros. Ainda assim, o que os grupos económicos, empresas e até mesmo os consumidores começam a compreender é que o retorno é bastante vantajoso, principalmente, a médio e longo prazo.

### **2.3 Eficiência energética aplicada às instalações eléctricas**

Como foi referido anteriormente, o conceito de eficiência, juntamente com o de poupança energética, ainda não se encontram totalmente difundidos. Segundo o European Council for an Energy-Efficient Economy, existem demasiadas burocracias que atrasam processos inovadores, assim como uma fraca ambição e uma dificuldade acrescida em implementar novas medidas. Associado a isto, ainda surgem também barreiras junto do mercado e do público alvos, os consumidores encontram-se mal informados, existem dificuldades em aceder-se ao capital necessário para efectuar alterações e, no final, as contas de energia tornam-se uma fracção esquecida das despesas gerais (ECEEE, 2013).

Contudo, o progresso não se deixa atrasar, e são imensos os casos que vão surgindo de projectos bem-sucedidos. Esta frente actua a vários níveis da produção e utilização da energia, mas, no âmbito desta dissertação, o foco será apontado às componentes relacionadas com instalações luminotécnicas.

A este nível, muitos dos projectos executados ou que ainda estão por implementar partem de um princípio, que uma melhor tecnologia permite um melhor funcionamento e melhores resultados, principalmente a nível de gestão energética e de conservação do ambiente. O problema encontra-se no

facto de, algumas vezes, estas serem soluções demasiado caras. No entanto, existem casos que ditam o contrário e a nível nacional, encontramos os seguintes exemplos:

- **SEMALEDS**

Projecto que visou a substituição das lâmpadas incandescentes das ópticas semafóricas por LEDs. Após a conclusão do estudo da viabilidade do projecto, por parte da AREANATEjo, esta passou à execução do mesmo em 11 municípios do norte alentejano. Com um investimento inicial aproximado de 180.000 euros, permitiu obter uma redução anual de cerca de 240.000 kWh de energia eléctrica (cerca de 85%), o que equivale a uma redução da emissão de 1.300 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Com a implementação desta tecnologia, de durabilidade superior, obtiveram-se reduções dos encargos ao nível da conta de electricidade dos semáforos em cerca de 38.000 euros, bem como cerca de 38.000 euros ao nível dos custos de manutenção. Em termos ambientais, reduziu-se a produção de cerca de 190 kg de resíduos de lâmpadas incandescentes. Em relação ao período de retorno do investimento inicial de 180000 euros, este foi de 2,5 anos (AREANATEjo, 2013);

- **PROMOEENER-A**

Trata-se de um projecto aprovado no âmbito do Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha-Portugal (2007-2013), que visa a necessidade de promoção da eficiência energética e das energias renováveis em edifícios da administração pública. O foco principal são os sistemas de refrigeração e aquecimento nos edifícios públicos. A zona afectada ao projecto é a NUT Extremadura-Centro-Alentejo, juntamente com a região da Cova da Beira. Ainda será contemplado, nos 19 edifícios com maior potencial de melhoria, um plano de acção que permita quantificar as medidas de melhoria, os custos associados, os impactos positivos e ainda a obtenção dos períodos de retorno. O projecto ainda está a decorrer e é composto por três fases distintas: fase de propostas de melhoria de eficiência e gestão energética, fase de implementação de medidas de melhoria e fase de multiplicação de medidas de melhoria e promoção do sector energético (AREANATEjo, 2013);

- **Instalação de Spotlights LED**

Projecto realizado, em 2012, pela empresa Ploran no Hotel Altis Park, onde foram instalados 114 spotlights LED na entrada do hotel, em Lisboa. A iluminação original consistia em lâmpadas de halogéneo de 45 W. Reformularam-se também todos os circuitos eléctricos, de forma a atenuar possíveis perdas energéticas. Os resultados foram a redução de consumo superior a 80% e um incremento de fluxo luminoso na ordem dos 10%, para uma solução com tempo de vida útil estimado em 5 anos (Ploran, 2013);

- **Instalação de luminárias inteligentes**

Em 2010, a Ploran iniciou um processo de implementação de luminárias inteligentes em parques de estacionamento da Fertagus. O objectivo foi o de reduzir o consumo energético, visto que as luminárias instaladas na altura eram fluorescentes T8. Foi implementado um sistema de conversão, que permitiu adaptar, às mesmas luminárias, lâmpadas T5. Conjuntamente, a instalação também foi preparada para a regulação automática de fluxo luminoso, para gerar luminosidade aquando da presença de utilizadores do parque. Converteram-se cerca de 1.000 luminárias, obtendo-se uma redução nos consumos em cerca de 60% (Ploran, 2013);

- **Aplicação de medidas eficientes no edifício sede da EDP de Coimbra**

Com este projecto, a EDP conseguiu ser distinguida pelos “GreenLight Awards 2005”, ao alcançar os melhores resultados com a instalação de tecnologias mais eficientes na área da iluminação. No edifício sede de Coimbra, procedeu à substituição das lâmpadas fluorescentes convencionais (26 mm) por lâmpadas T5 equipadas com balastro electrónico, adquiriu um sistema inteligente de gestão da iluminação e instalou lâmpadas T8 com balastro electrónico no parque de estacionamento. Depois de efectuadas algumas medições de consumo, concluiu-se que o edifício poupa 108.179 kWh/ano em consumos de electricidade relativos a iluminação e reduz a sua factura em 10.439 euros/ano (T. A. Aníbal, 2005);

- **Projecto GreenLight no Centro Colombo**

Este projecto, ao encargo da SONAE Sierra, consistiu na substituição de balastros ferromagnéticos convencionais por balastros electrónicos de alta frequência no parque de estacionamento do centro comercial Colombo. Inicialmente, o investimento cifrou-se na ordem dos 125.000 euros e levou à substituição de 8.770 balastros, durante um período de 16 semanas. Os resultados foram a obtenção de uma economia energética em 400.830 kWh/ano, uma redução de 200 toneladas CO<sub>2</sub>/ano, uma redução na factura de energia eléctrica de 23.810 euros/ano e uma TIR do projecto de 20% (T. A. Aníbal, 2005);

- **Medidas de racionalização nos CTT**

A empresa CTT – Correios de Portugal, SA, implementou várias medidas como a mudança de lâmpadas ineficientes (halogénio e incandescentes) por lâmpadas de alto rendimento (fluorescentes) e o ajustamento da quantidade de luz recomendada para cada zona de trabalho específica. Como resultado, apurou-se uma redução de consumos energéticos em cerca de 50% (T. A. Aníbal, 2005);

- **Projecto GreenLight na divisão fabril de Ovar da Salvador Caetano**

Ao candidatar-se como parceiro do GreenLight em Abril de 2004, a Salvador Caetano procedeu à substituição de balastros magnéticos por electrónicos e das lâmpadas de descarga de 400 W por 4 fluorescentes de 80 W com balastro electrónico. O tempo de amortização que tinha sido previsto para 5,1 anos, viu-se reduzido graças ao aumento do custo da electricidade registado a partir de 2006, o que

diminuiu o primeiro para 4 anos. A redução nos consumos foi de 142.300 kWh/ano (T. A. Aníbal, 2005);

- **Projecto GreenLight em unidades da Jerónimo Martins**

O projecto incluiu a remodelação dos sistema de iluminação, que consistiu na substituição de balastros magnéticos por electrónicos, instalação de sensores de movimento e luminosidade. Os resultados foram os seguintes:

- Unidade do Feira Nova, Mirandela – redução em 250.510 kWh/ano, redução do consumo em 42%, realização do retorno económico em 0,9 anos e registo de melhoria da iluminação;
- Unidade do Feira Nova, Penafiel - redução em 160.761 kWh/ano, redução do consumo em 42%, realização do retorno económico em 0,7 anos e registo de melhoria da iluminação;
- Unidade do Recheio, Castelo Branco - redução em 150.631 kWh/ano, redução do consumo em 40%, realização do retorno económico em 1,9 anos e registo de melhoria da iluminação;
- Unidade do Recheio, Ermesinde - redução em 115.902 kWh/ano, redução do consumo em 42%, realização do retorno económico em 1,5 anos e registo de melhoria da iluminação;
- Unidade do Recheio, Vila do Conde - redução em 178.630 kWh/ano, redução do consumo em 43%, realização do retorno económico em 1,6 anos e registo de melhoria da iluminação;
- Unidade do Gestiretalho, Azambuja - redução em 516.310 kWh/ano, redução do consumo em 42%, realização do retorno económico em 4,2 anos e registo de melhoria da iluminação (T. A. Aníbal, 2005).

Ao analisarem-se todos estes casos, encontram-se alguns denominadores comuns. Como foi referido anteriormente, estes apoiam-se fortemente na substituição de uma tecnologia por outra mais eficiente, os projectos são concebidos para obras já existentes que apresentam fracas medidas de poupança energética e visam, principalmente, a obtenção de melhores resultados a nível de gestão energética através da substituição das componentes de iluminação (lâmpadas e luminárias).

Isto deriva de se ter atravessado uma fase, em que as obras eram executadas sem haver uma preocupação relativa à eficiência energética, mas também por não haver uma tecnologia melhor para integrar. Hoje em dia, o caso é diferente, com o aumento constante dos preços da electricidade, estas

medidas económicas são quase obrigatórias e quer se demonstrar, com esta dissertação, que essas mesmas soluções não têm necessariamente de ser aplicadas numa fase pós-obra ou através da simples substituição de equipamentos. Tenciona-se ainda provar que, com uma aposta num design inteligente das próprias instalações, assim como na escolha ponderada da instalação mais adequada, face aos factores externos também inerentes à própria obra, é possível aumentar os ganhos finais em todas as vertentes, económica, energética e ambiental. A proposta ainda passa por realizar estes passos numa fase de projecção e concepção do projecto de instalações eléctricas, para garantir um ganho máximo, desde o início.

## **2.4 Contextualização teórica dos elementos necessários ao estudo do binómio**

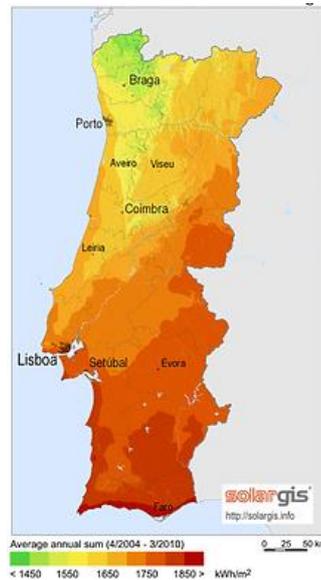
Para se criar um mecanismo de optimização que favoreça a relação do binómio eficiência energética/custos de instalação, é necessário fazer um levantamento dos vários elementos que vão ajudar à criação do modelo de trabalho, juntamente com uma breve descrição dos mesmos.

### **➤ Aproveitamento da luz natural disponível**

Há que se ter noção e fazer-se um máximo aproveitamento da quantidade de luz natural da qual se pode dispôr, em determinado local, onde se vai instalar um foco de luz. Tendo em conta isso, pode-se implementar um controlo mais inteligente, tanto do ponto de vista da eficiência como da economia. Para tal, têm de ser feitas certas considerações, como o tipo de aproveitamento que se quer dessa área, assim como determinar o período no qual existe luz natural.

O sol emite energia na forma de radiação e devido à grande distância à Terra, apenas uma pequena parte dessa mesma radiação atinge a superfície terrestre: cerca de  $1\text{kW/m}^2$  (Greenpro, 2004). No caso de Portugal, trata-se de um país com elevada quantidade de luz natural disponível, logo, há que se fazer um uso capaz da mesma, de modo a poupar energia ao utilizar-se iluminação artificial. Portugal tem um nível médio mensal de  $4.410\text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ , sendo um dos países europeus com mais radiação (K. Scharmer, 2000).

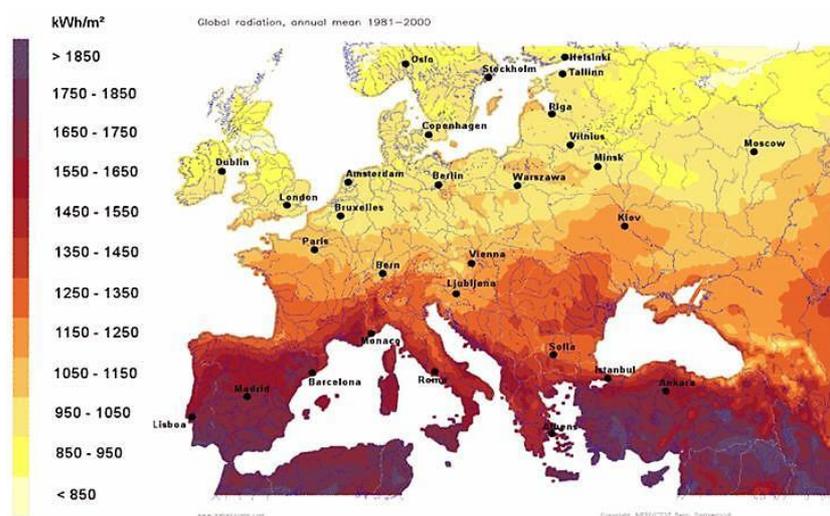
Através da Figura 1, pode-se verificar que os níveis de insolação, em Portugal, são elevados. Possui aproximadamente 2200 a 3100 horas/ano de sol (K. Scharmer, 2000).



**Figura 1 – Níveis de insolação em Portugal (GeoModel Solar, 2011)**

Já em outros países da Europa, estes níveis são mais baixos, urgindo assim uma maior necessidade em se executar um controlo mais inteligente sobre a energia eléctrica utilizada, mas aproveitando sempre ao máximo a luz natural disponível. Relativamente à radiação diária, alguns exemplos desses casos são a Roménia com 3.710 Wh/m<sup>2</sup>/dia, a Alemanha com 2.670 Wh/m<sup>2</sup>/dia, a Itália com 4.030 Wh/m<sup>2</sup>/dia, a Noruega com 2.360 Wh/m<sup>2</sup>/dia e a Dinamarca com 2.650 Wh/m<sup>2</sup>/dia (K. Scharmer, 2000).

Na figura seguinte, Figura 2, verificam-se as diferenças nos níveis de insolação europeus.



**Figura 2 – Níveis de insolação na Europa (Meteonorm, 2000)**

### ➤ **Metodologia da projecção de uma instalação eléctrica**

Como foi dito anteriormente, o projectista de uma instalação eléctrica assume um papel importante no desenvolvimento da mesma e, através dele, podem ser tomadas as medidas que transformam uma simples instalação, numa outra com boa poupança energética, retorno financeiro favorável através de gastos menores e controlo inteligente. Na actualidade, existem três factores principais que permitem ao projectista determinar o melhor método para criar a sua instalação eléctrica.

Primeiramente, deve-se regular pelas regras e normas das instalações. Por vezes, não se trata de se ter poder de escolha, mas existirem regras e legislação que ditam métodos, equipamentos e valores específicos, que não podem ser alterados ou ignorados.

Seguidamente, o projectista é limitado pela tecnologia que se encontra disponível, pelas capacidades dos equipamentos, pelas suas funções e pelas suas limitações. E obviamente, também pelos custos dos mesmos, visto que um equipamento standard e amplamente difundido não terá o mesmo preço que um equipamento de ponta, não menosprezando o primeiro, que poderá ser bem suficiente para as funções a implementar.

Finalmente, o projectista tem a sua experiência como profissional e, hoje em dia, toda uma quantidade de informação disponível de estudos associados à área, que lhe permitam discernir entre os melhores métodos de instalação face às propostas dos empregadores ou limitações da própria obra.

Conjugando estes três factores com levantamentos de consumos energéticos, orçamentos de projecto e facturas de energia, é possível criar-se uma metodologia otimizada, para o dimensionamento dos circuitos e respectivo controlo dos mesmos.

### ➤ **Metodologia da orçamentação de uma instalação eléctrica**

Para se criar um orçamento de uma instalação eléctrica, há que seguir um conjunto de passos, em que todos os elementos envolvidos devem ser tidos em consideração. A proposta de um orçamento é realizada pela empresa instaladora que pretende executar a obra e, para isso, apresenta ao consumidor o primeiro calculado em detalhe.

Se este estiver de acordo, é realizado o contrato, onde a empresa instaladora passa a ser responsável pela execução da mesma. Existe um orçamento inicial, baseado no projecto da instalação, mas que pode eventualmente ser alterado no decorrer da obra, com base em imprevistos e modificações que tenham de ser feitas ao projecto inicial.

Um orçamento apresenta uma estrutura comum. Essencialmente, é constituído por uma lista de material requerido para o projecto, pela quantidade do mesmo material, pelo seu preço unitário e total e pelo custo final. A lista de material contém todo o material necessário para a realização da obra e a respectiva identificação. Alguns dos elementos, que podem ser mencionados nessa identificação, são:

nome, marca, tipo, cor e características únicas. A quantidade do material corresponde ao número de itens de determinada componente ou a um valor de medida.

O preço unitário é resultado de um cálculo feito com base em alguns elementos, sendo estes o custo unitário por unidade de material, a margem de lucro da empresa instaladora sobre o material e a margem de lucro e encargos sobre o pessoal. Exemplificando, faz-se a análise do preço unitário de um Tubo VD 20 Embebido. Primeiramente, identificam-se os elementos associados ao tubo e quantificam-se em unidades:

- Tubo VD 20 (1 metro);
- Uniões para Tubo VD 20 (0,3 unidades);
- Mão de obra (2,5 minutos).

Em segundo lugar, consultam-se os custos unitários de cada um dos elementos, obtendo-se respectivamente:

- 0,22 €/ metro;
- 0,07 €/ unidade;
- 0,16 €/ minuto.

Em seguida, calculam-se os custos totais unitários sobre o material e sobre a mão de obra e aplicam-se as margens de lucro:

- $(1 \cdot 0,22 + 0,3 \cdot 0,07) \cdot 1,2 \approx 0,29$  (onde 1,2 representa uma margem de lucro de 20% sobre o material para a empresa);
- $(2,5 \cdot 0,16) \cdot 1,4 = 0,56$  (onde 1,4 representa uma margem de lucro e encargos de 40% sobre a mão de obra).

Finalmente, determina-se o preço unitário, que resulta da soma dos dois valores obtidos acima, ou seja, 0,85€/ unidade.

O preço total resulta da multiplicação do preço unitário pela quantidade requerida de material. Somadas todas as parcelas do preço total, ao longo da lista de material, obtém-se o custo global da instalação eléctrica sem IVA. Para se determinar o custo final, calcula-se o valor do IVA à taxa em vigor e, depois, soma-se esse mesmo valor ao custo global.

Os orçamentos não são todos iguais para a mesma obra, dependem essencialmente do algoritmo de cálculo utilizado pelas empresas instaladoras e, principalmente, das margens aplicadas sobre os valores unitários. Existem também elementos exteriores que podem reduzir ou aumentar o orçamento, como acordos com fornecedores sobre descontos no material ou impostos extraordinários como custos alfandegários.

## 3 Modelização

No seguinte capítulo, é descrito o modelo criado para poder otimizar o binómio eficiência energética e custos de instalação e manutenção. Este passa pela criação das salas a estudar, pela simulação da luz natural existente nas mesmas salas, pelo dimensionamento da instalação luminotécnica, pela programação dos diferentes tipos de controlo, pela obtenção das potência e perdas nos circuitos e pelas análises dos resultados obtidos, relativamente a valores energéticos e monetários.

### 3.1 Dimensionamento

Para se dimensionar um projecto que analise os gastos energéticos de determinada instalação, assim como o seu custo de instalação, manutenção e exploração, há que considerar uma série de variáveis. Estas são todas obtidas nas diferentes fases do método seguido. O projecto a desenvolver será dividido nas seguintes tarefas:

- Criação de uma sala capaz de suportar as diferentes instalações luminotécnicas;
- Simulação de um ambiente com luz natural;
- Criação de um módulo com valores calculados de luz para os diferentes meses de um ano;
- Criação das diferentes instalações, execução dos cálculos luminotécnicos e recolha dos dados;
- Programação dos diferentes tipos de controlo em estudo;
- Cálculo da potência, das perdas e dos consumos energéticos nos circuitos;
- Análise comparativa entre os valores de energia consumida, obtidos através dos diferentes tipos de controlo;
- Cálculo dos custos de exploração, instalação e manutenção para os diferentes casos;
- Análise e interpretação da relação entre custos de exploração, de instalação e de manutenção;
- Repetição do exercício com alteração de algumas variáveis influentes.

### 3.1.1 Criação da sala

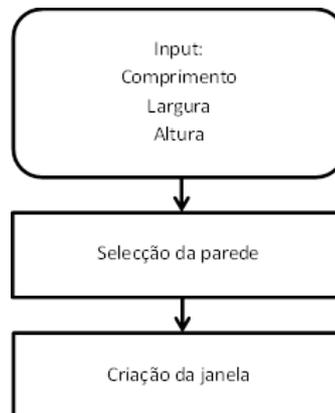
Dimensionar-se-á uma sala , tendo em consideração os seguintes factores:

- Comprimento;
- Largura;
- Altura.

As suas dimensões serão pensadas de modo a que a sala, em estudo, se assemelhe a uma sala de escritório, para melhor se adaptar ao plano previsto.

### 3.1.2 Simulação de um ambiente com luz natural

Trabalhando na sala a criar no ponto anterior, adicionar-se-á a uma das paredes maiores uma janela, cujo tamanho coincidirá com toda a área da parede. O fluxograma seguinte, Figura 3, exemplifica este processo.

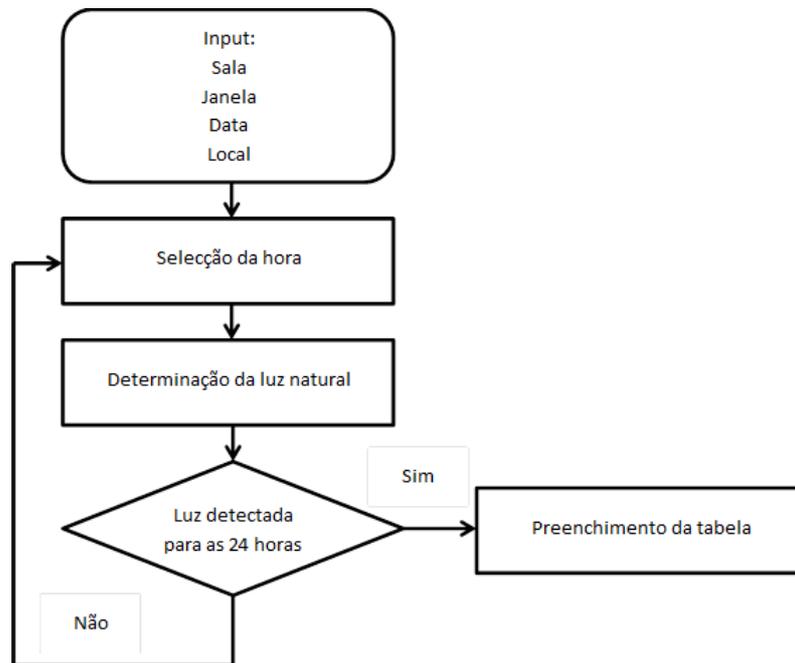


**Figura 3 - Fluxograma da adição de uma janela**

Depois de inserida a janela, simular-se-ão os cenários com luz natural para aquela sala. As simulações ficarão registadas em dois blocos, uma para o mês com mais luz disponível e outra para o mês com maior escassez de luz. O processo de simulação passará por indicar, relativamente à sala dimensionada, as isoluxs com os respectivos valores, em determinada hora.

Os resultados serão interpretados e inseridos numa tabela, para as diferentes horas de um dia daquele mês.

Em seguida, surge o fluxograma representado na Figura 4 da simulação de um ambiente com luz natural.



**Figura 4 - Fluxograma da simulação de luz natural**

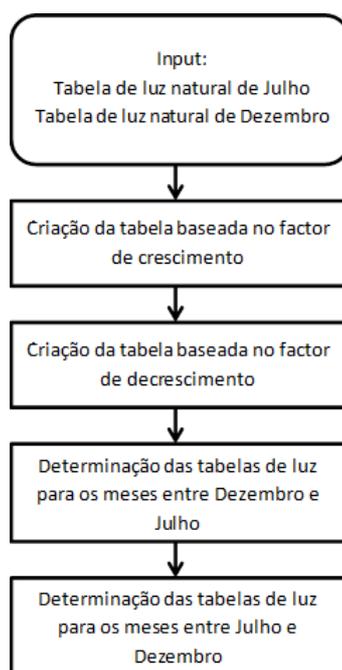
### 3.1.3 Criação de um módulo com valores calculados de luz

Neste ponto, desenvolver-se-á um mecanismo que forneça com rigor e de forma rápida, uma quantidade elevada de valores de luz natural para uma determinada sala, para que sejam utilizados para o estudo e análise dos diferentes tipos de controlo. O conceito será o de criar as tabelas, em falta, com valores de luz calculados, para os restantes meses do ano, a partir das simulações primárias. Para tal, desenvolver-se-ão outras duas tabelas, uma baseada num factor de crescimento e outra num factor de decrescimento.

Aos valores do mês com maior quantidade de luz disponível, será aplicado o factor de decrescimento, de modo a conseguir obter as tabelas de valores calculados de luz para os meses seguintes. Por outro lado, ao segundo conjunto de valores de luz registados, será aplicado o factor de crescimento, para se obterem as tabelas em falta, relativas aos meses remanescentes.

Nesta fase, ter-se-á concluída a construção das tabelas de valores de luz natural que, apesar de serem para um dia de cada mês, serão representativas da luz existente no mês inteiro, como se de valores médios se tratassem, ficando aqui registada essa aproximação. Isto porque, se não fosse assim, seriam precisas imensas simulações para se criar um registo mensal.

O próximo fluxograma, Figura 5, é respeitante ao processo descrito acima.



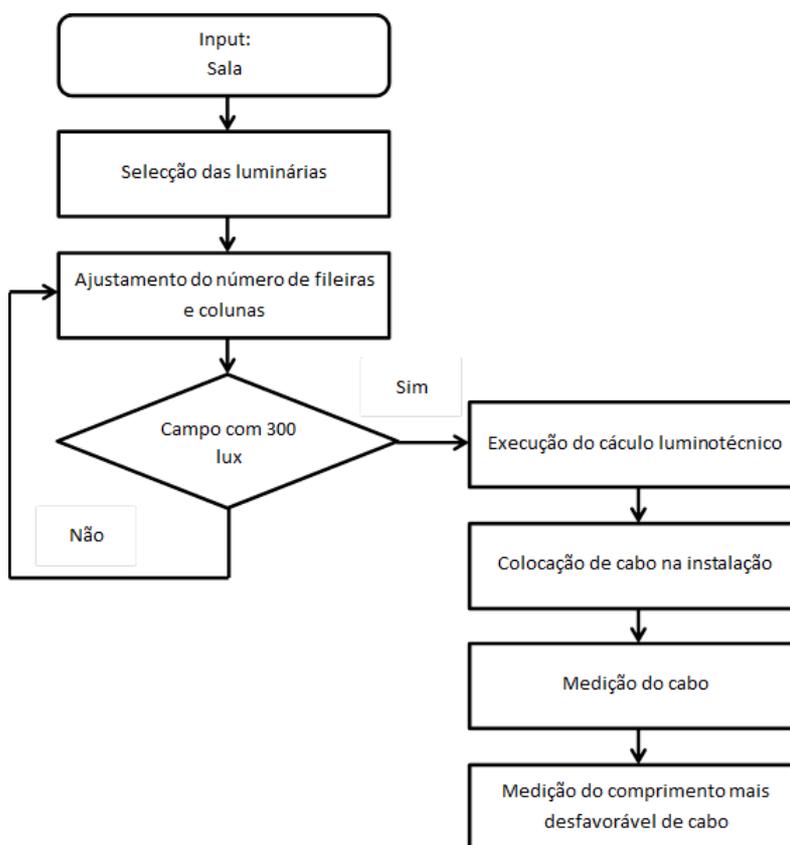
**Figura 5 - Fluxograma da criação dos módulos com valores calculados de luz**

### **3.1.4 Criação das diferentes instalações, execução dos cálculos luminotécnicos e recolha dos dados**

Depois da sala ser criada, serão escolhidas as luminárias adequadas para se criar um campo de 300 lux, que se trata do valor habitualmente estipulado para escritórios.

O modelo da instalação deverá apresentar sempre o mesmo aspecto, para que as comparações entre tipos de controlo não apresentem discrepâncias acentuadas. Sendo assim, optar-se-á por uma solução em que se mantenham sempre  $x$  luminárias por 4 fileiras. Existirão duas instalações tipo, a que tem luminárias de uma lâmpada apenas e a que tem de duas lâmpadas. Ao finalizar-se a criação das instalações modelo, serão colocados os cabos condutores. Depois, os mesmos serão medidos.

O processo descrito é representado no seguinte fluxograma, Figura 6.



**Figura 6 - Fluxograma da execução do estudo luminotécnico**

Os dados, relativos a cada uma das instalações, serão colocados numa tabela. Nessa tabela, poderão consultar os valores dos seguintes parâmetros:

- Comprimento;
- Largura;
- Área;
- Potência;
- Potência Específica;
- Comprimento de cabo;
- Corrente no cabo;
- Comprimento mais desfavorável;
- Secção;
- Secção efectiva;
- N° de luminárias.

O comprimento e largura da sala serão definidos no processo da criação da sala. A sua área é calculada através de (1).

$$A = c \cdot l \quad (1)$$

A potência será retirada do resumo fornecido pelo programa de cálculo luminotécnico, no final da execução do mesmo, e corresponde à potência instalada na sala. A potência específica será o resultado de (2) e corresponde à distribuição da potência pela área.

$$P_e = \frac{P}{A} \quad (2)$$

O comprimento de cabo será resultado das medições feitas num programa utilizado para esse fim. A corrente no cabo é calculada através de (3).

$$I = \frac{S}{U} \quad (3)$$

Em Portugal, a tensão nominal da rede de distribuição normalizada é de 230V e corresponde ao U. O S representa a potência aparente absorvida pelos receptores e é obtida através de (4), onde P representa a potência útil, directamente explorada pelo receptor,  $\cos \varphi$  corresponde ao factor de potência, que é assumido como 0,85, e  $\eta$  trata o rendimento do receptor, que é considerado 100%, visto considerar-se que toda a potência fornecida à luminária é aproveitada.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi \cdot \frac{\eta}{100}} \quad (4)$$

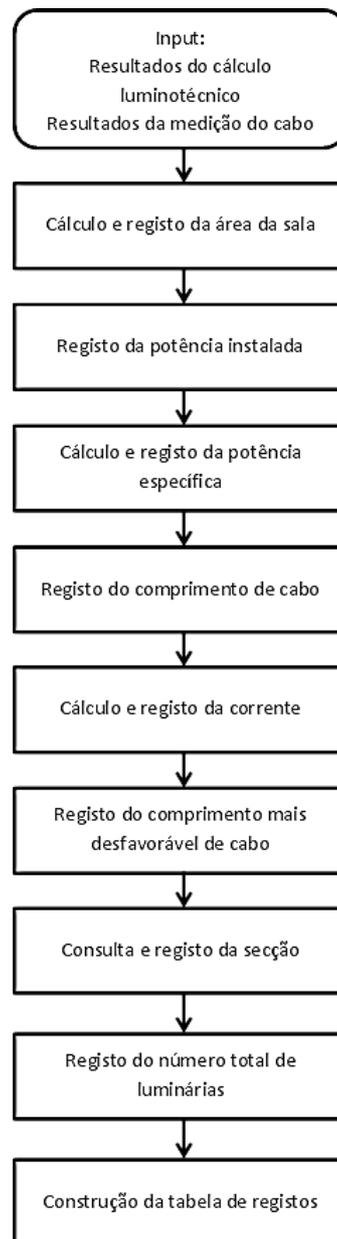
O comprimento mais desfavorável trata a medida de cabo que vai do ponto comum de alimentação ao ponto mais afastado, na instalação. A sua determinação será necessária de modo a que a queda de tensão admissível no circuito não seja ultrapassada, neste caso, 3% para um circuito de iluminação.

A escolha da secção do cabo a instalar resultará da consulta de uma tabela própria<sup>1</sup> para determinação de secção em cabos de baixa tensão. O número de luminárias será também retirado do resumo final do cálculo luminotécnico.

---

<sup>1</sup> (IST - Instituto Superior Técnico, 2013)

O fluxograma seguinte, Figura 7, demonstra os passos necessários à criação da tabela acima referida.



**Figura 7 - Fluxograma do tratamento de dados respeitantes ao estudo luminotécnico**

### **3.1.5 Programação dos diferentes tipo de controlo em estudo**

No âmbito de se estudarem e fazer um levantamento das despesas energéticas, de determinados tipos de instalações, seleccionar-se-ão alguns controlos típicos implementados, hoje em dia, em projectos de instalações eléctricas.

Os tipos diferentes de instalações a avaliar, neste projecto, surgem em seguida:

- 4 circuitos controlados um a um (4x1);

- 4 circuitos controlados dois a dois (2x2);
- 1 circuito de controlo (1x4);
- 4 circuitos controlados um a um, com possibilidade de activação só das luminárias pares ou ímpares (PI);
- 1 circuito de controlo, com luminárias com balastro regulável e sensores (BREG);
- 4 circuitos controlados um a um, com luminárias de duas lâmpadas (4x1 2L);
- 1 circuito de controlo, com luminárias de duas lâmpadas (1x4 2L).

O primeiro permite o controlo dos 4 circuitos existentes na sala, de forma independente uns dos outros. Com um interruptor para cada circuito, tendo em conta a necessidade de luz, em determinado local da sala, será possível activar as luminárias apenas nesse local, para iluminar o respectivo espaço.

O segundo assemelha-se ao primeiro, mas o controlo dos circuitos é agrupado dois a dois. O circuito 1 (mais próximo da janela) partilha o interruptor com o circuito 2. Já o circuito 3 e 4 partilham entre si o controlo. Exemplificando, ao iluminar-se a zona 1, também ficará activa a iluminação concebida para a área 2.

O terceiro também é semelhante aos anteriores no seu funcionamento, contudo, o agrupamento dos circuitos é total; todos partilham um interruptor, sendo que, há mínima necessidade de luz na sala, a solução passará por accionar todas as luminárias existentes no espaço.

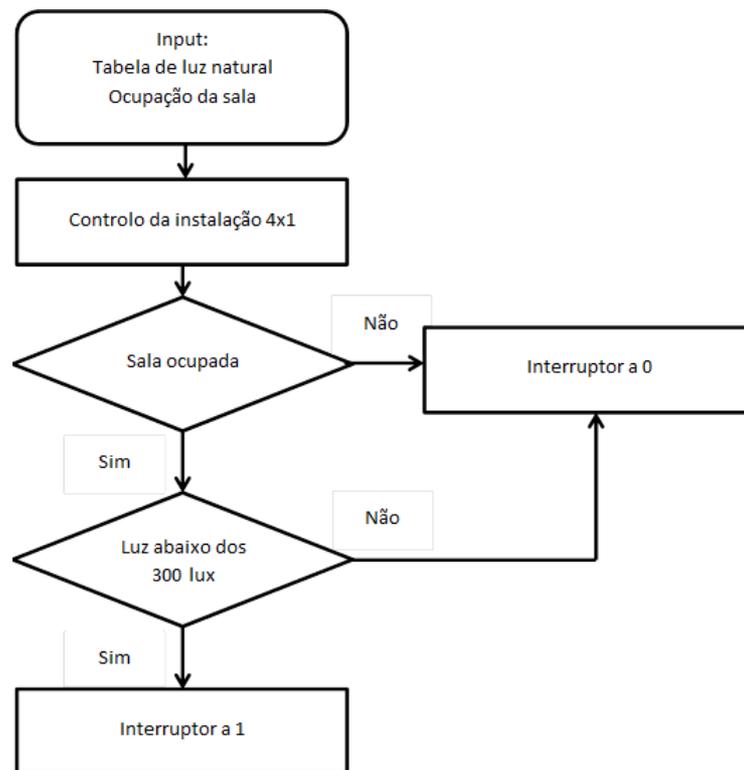
O controlo denominado Par/Ímpar trata uma instalação que permite ligar apenas um conjunto de luminárias de circuito para circuito, de forma independente entre eles, à semelhança do primeiro caso descrito. A diferença encontra-se no facto de se poder optar por ligar apenas metade das luminárias existentes em cada circuito, de forma alternada entre elas, ou seja, ligando só a primeira, a terceira, a quinta e por aí em diante, ou ligando a segunda, a quarta e a sexta, conforme o número de luminárias existentes em cada circuito; daí a designação Par/Ímpar.

A quinta sugestão proposta passa pela instalação de luminárias com balastro regulável, juntamente com os respectivos sensores para funcionamento dos primeiros. Nesta instalação, existirá apenas um interruptor que irá controlar todo o circuito, permitindo a sua activação ou desactivação. Já as luminárias, munidas de balastro regulável, irão fornecer a luz estritamente necessária ao local, conforme a detecção feita pelo sensor. O objectivo deste tipo de balastro é o de regular a luz emitida pela lâmpada, em intervalos distintos, compensando com mais ou menos luz.

As duas últimas instalações são semelhantes à primeira e terceira, no que toca ao modo como os circuitos se encontram agrupados para controlo. A diferença reside no facto de existirem comutadores de lustre para cada circuito, permitindo 3 diferentes accionamentos, activar todas as luminárias, activar

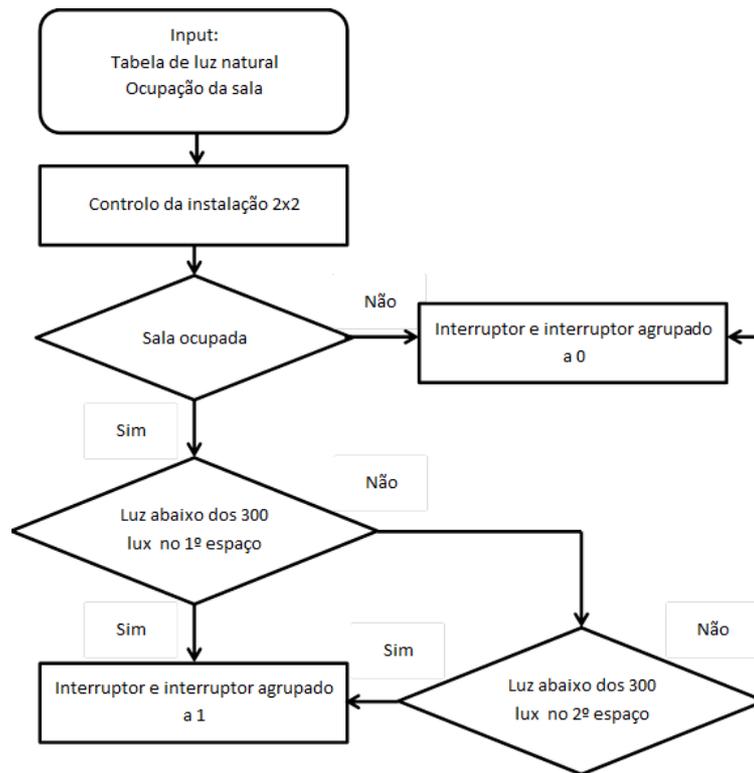
apenas metade das lâmpadas ou desligá-las. Isto só será possível porque as luminárias, em questão, serão de duas lâmpadas.

Para se controlar o funcionamento das luminárias, para os testes energéticos, os interruptores terão de ser programados, em função da luz natural disponível. O objectivo será automatizar o comportamento destes para que, lidos os valores de luz na respectiva tabela, seja devolvido na tabela dos interruptores o resultado do seu comportamento. Também será tido em conta o funcionamento da sala a nível de ocupação, ou seja, considerar-se-á um horário laboral semelhante ao de um escritório, das 8 h 00 min até às 20 h 00 min. O fluxograma seguinte, Figura 8, demonstra o funcionamento do interruptor a preparar para a instalação 4x1.



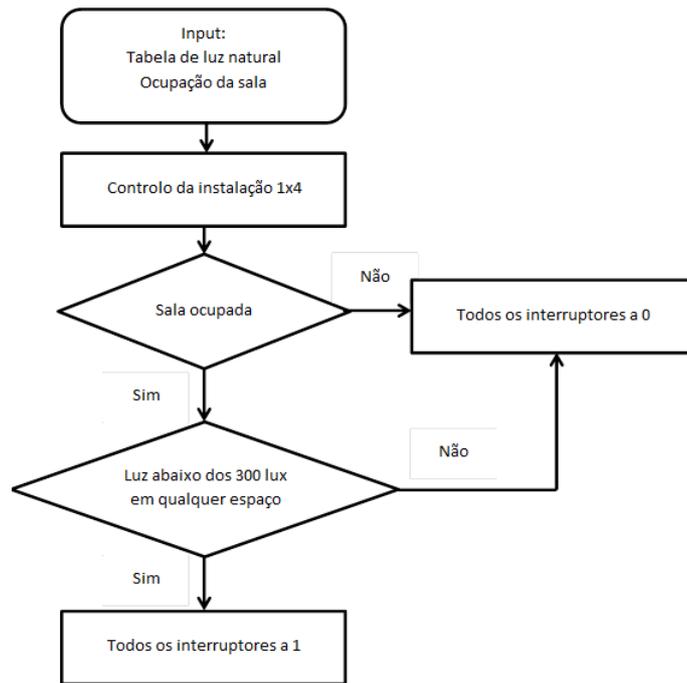
**Figura 8 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 4x1**

O fluxograma dos interruptores da instalação 2x2 é apresentado a seguir, na Figura 9.



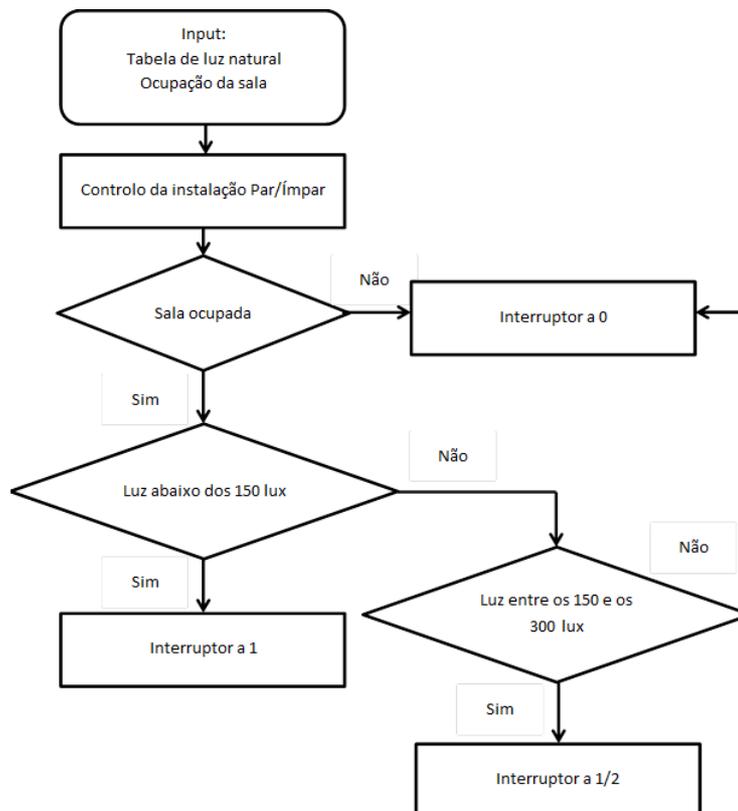
**Figura 9 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 2x2**

Seguidamente, apresenta-se o fluxograma dos interruptores que controlarão a instalação 1x4, na Figura 10.



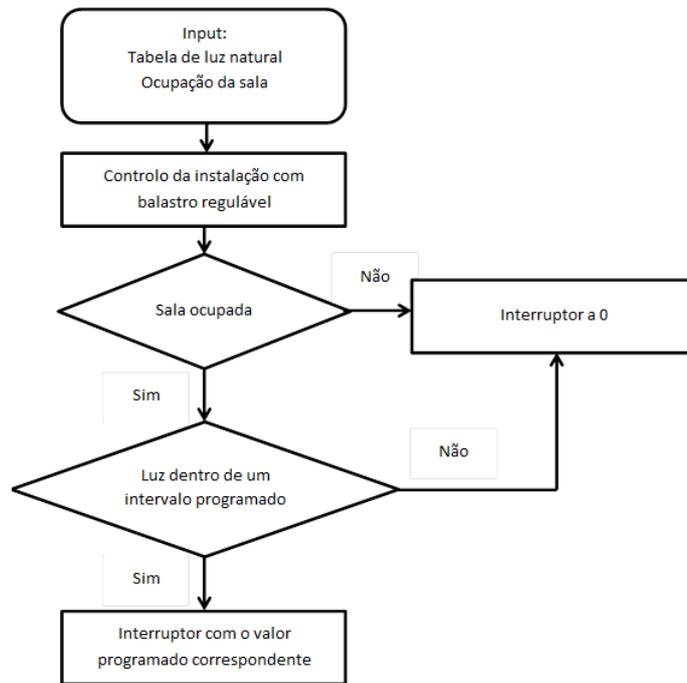
**Figura 10 - Fluxograma do funcionamento do interruptor da instalação 1x4**

Representa-se, na Figura 11, o fluxograma do controlo aplicado à instalação Par/Ímpar.



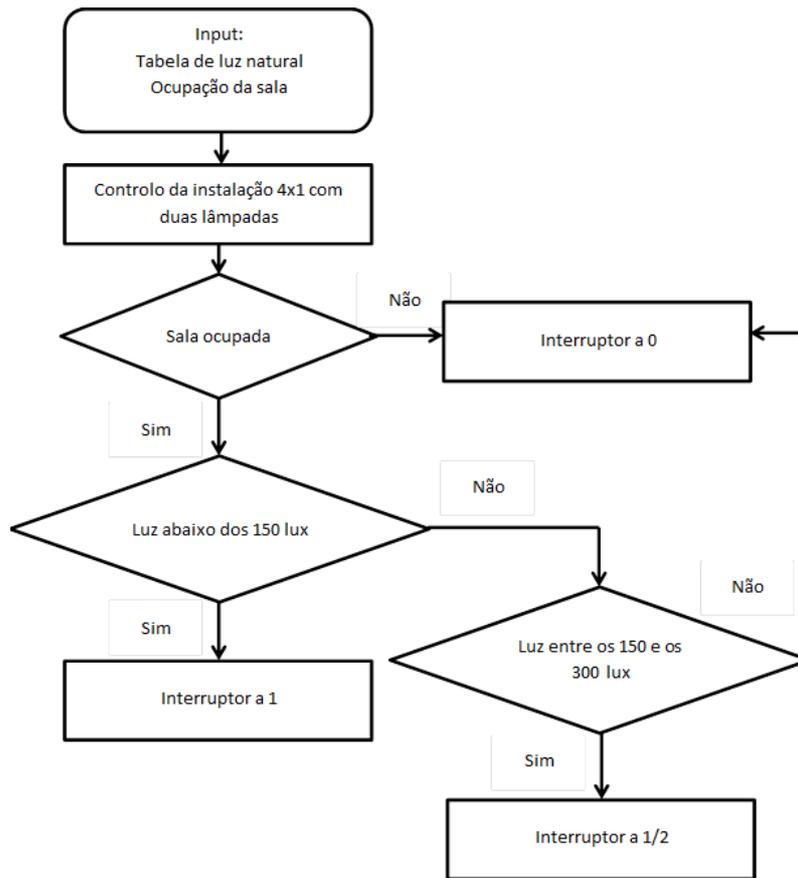
**Figura 11 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação PI**

A Figura 12 ilustra o fluxograma do controlo com balastro regulável.



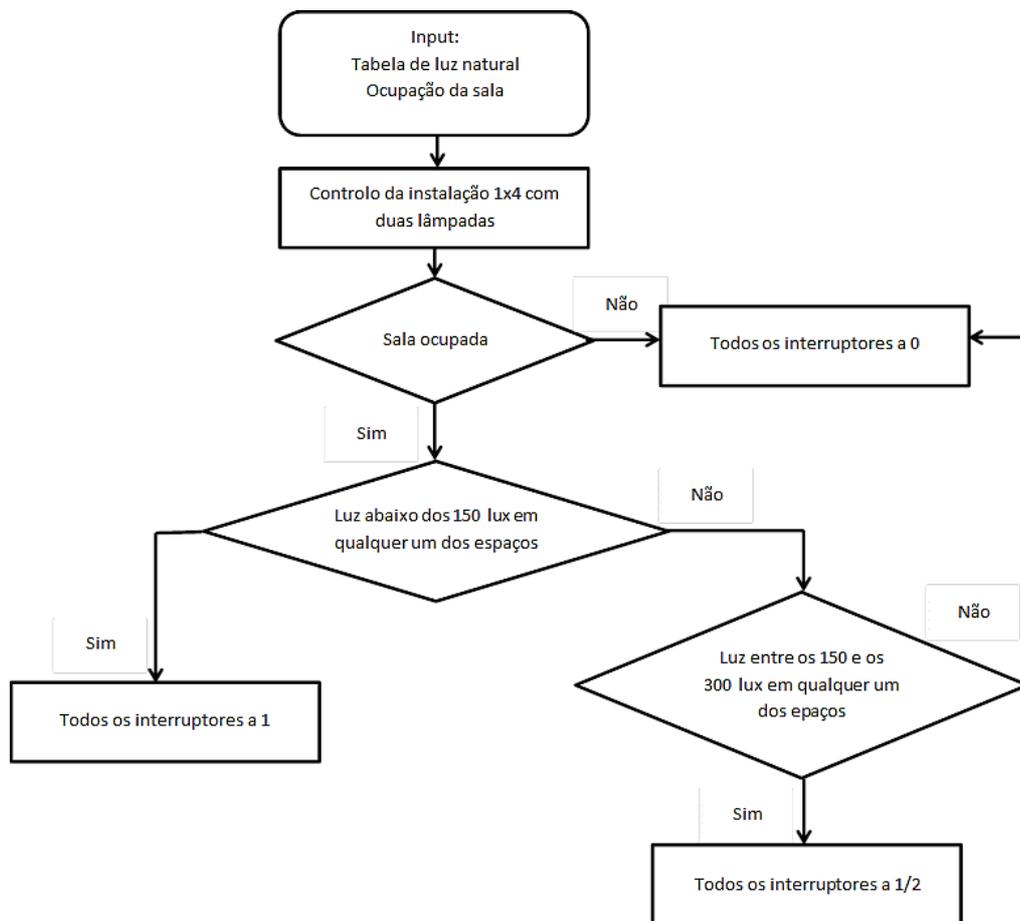
**Figura 12 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação BREG**

A próxima figura, Figura 13, corresponde ao fluxograma do controlo da instalação 4x1 com duas lâmpadas.



**Figura 13 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 4x1 2L**

O fluxograma seguinte, representado na Figura 14, demonstra o funcionamento dos interruptores para a última instalação tipo.



**Figura 14 - Fluxograma do funcionamento dos interruptores da instalação 1x4 2L**

### 3.1.6 Cálculo da potência, das perdas e dos consumos energéticos nos circuitos

Depois de se criarem as tabelas do comportamento dos interruptores, para cada hora de um dia, serão desenvolvidas as tabelas que façam os cálculos dos consumos energéticos diferenciados e totais. A primeira corresponderá à tabela da potência eléctrica na instalação. Para cada hora, serão obtidos os valores da potência consumida em cada circuito existente. Utilizar-se-á (5).

$$P_{cons} = Comp \cdot Plum \cdot Nlum \quad (5)$$

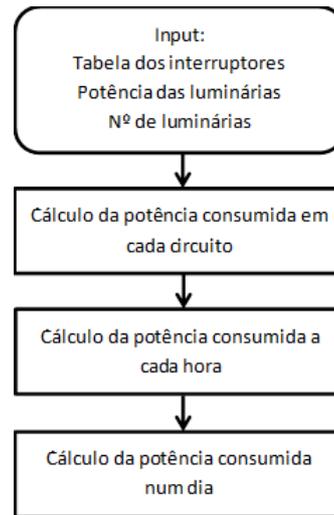
Compreende-se desta equação que a potência eléctrica é igual ao factor multiplicativo, resultado do comportamento do interruptor (que por norma será 1 para um circuito activo por completo, 0 para inactivo ou não inteiro para um circuito cujas lâmpadas ou luminárias funcionem parcialmente), multiplicado pela potência da luminária instalada, cujo valor será consultado no catálogo de

luminárias escolhido, e pelo número de luminárias nesse circuito, a determinar durante a criação da instalação. Para a obtenção do valor da potência consumida a cada hora, recorrer-se-á a (6).

$$P_{consh} = P1 + P2 + P3 + P4 \quad (6)$$

Trata-se de um somatório das potências registadas para uma determinada hora, em cada circuito. O valor total diário da potência consumida é obtido a partir do somatório das potências eléctricas registadas a cada hora, referentes aos quatro circuitos.

O fluxograma respectivo é ilustrado em seguida, na Figura 15.



**Figura 15 - Fluxograma do cálculo das potências**

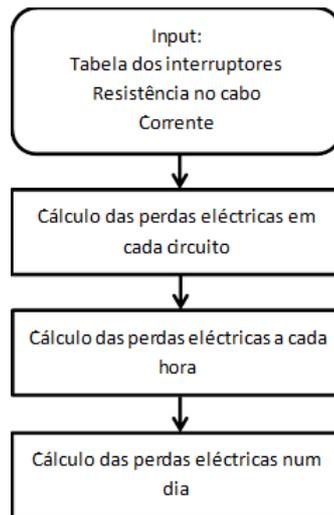
A segunda tabela, que se irá desenvolver, abrangerá os cálculos das perdas eléctricas nos circuitos. A sua expressão primária é (7).

$$Pr = Comp \cdot R \cdot I^2 \quad (7)$$

As perdas eléctricas são obtidas através da multiplicação do factor de comportamento do interruptor, pela resistência do cabo (R) e pelo quadrado da corrente ( $I^2$ ). O cálculo da resistência é obtido com (8).

$$R = \rho \cdot \left(\frac{Cc \cdot 2}{S}\right) \quad (8)$$

Entende-se que  $\rho$  é igual a  $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$  e trata a resistividade eléctrica do cobre (Griffiths, 1999), que os valores de comprimento de cabo serão obtidos aquando do levantamento dos dados relativos à instalação em análise e que a secção corresponde à secção do cabo a instalar. O resto da tabela, à semelhança da anterior, incluirá os valores das perdas hora a hora e totais diários. Ilustra-se na Figura 16 o fluxograma do processo descrito.

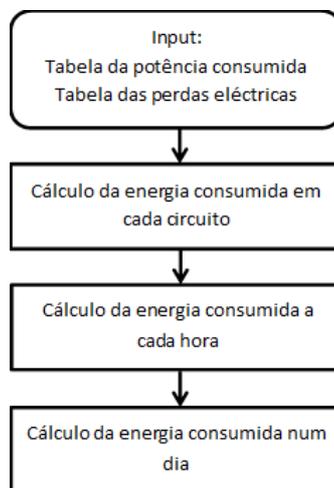


**Figura 16 - Fluxograma do cálculo das perdas**

A última tabela apresentará os valores de potência consumidos totais, calculados através das somas das potências eléctricas com as perdas, como se explica na equação seguinte.

$$Consth = Pconsh + Prh \quad (9)$$

Ainda serão incluídos, nesta tabela, os valores totais de consumo hora a hora e diários. Segue a Figura 17, com o respectivo fluxograma.



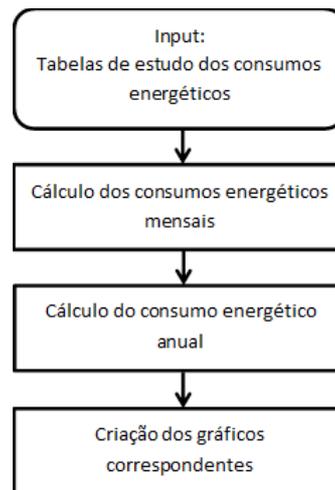
**Figura 17 - Fluxograma do cálculo da energia consumida**

### **3.1.7 Análise comparativa entre os valores de energia consumida nos diferentes tipos de controlo**

Nesta fase do projecto, será feito um levantamento dos consumos energéticos mensais e anuais, para cada tipo de controlo a estudar. Como foi referido anteriormente, os dados de luz natural simulados

serão obtidos para um dia apenas, mas será feita uma aproximação para que esses valores sejam representativos da média mensal de luz natural disponível. Ou seja, todos os consumos energéticos diários, serão multiplicados pelo número de dias do respectivo mês, para determinar o consumo energético mensal.

Obtidos estes parâmetros, os mesmos serão inseridos num gráfico em função dos diferentes meses do ano, de modo a se obterem curvas representativas dos gastos de cada tipo de controlo. As análises e conclusões, acerca destes gráficos, serão registadas no capítulo correspondente. O fluxograma ilustrado, na Figura 18, corresponde a este passo.



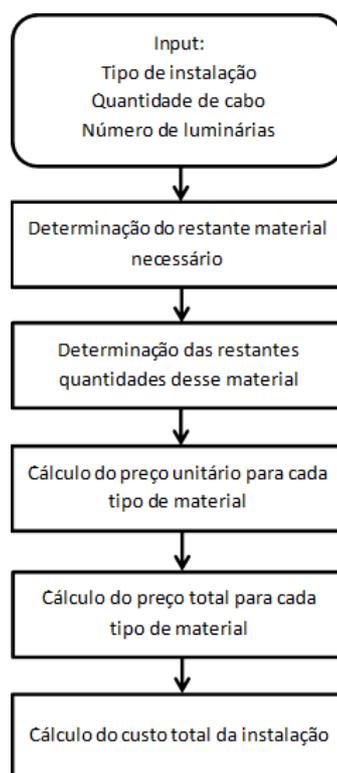
**Figura 18 - Fluxograma do tratamento de dados relativo ao consumo energético**

### **3.1.8 Cálculo dos custos de exploração, instalação e manutenção para os diferentes casos**

Os custos de instalação, para cada tipo de controlo, serão resultado da listagem de material necessário para a obra, juntamente com a mão de obra associada para que a mesma seja executada.

Para a determinação dos mesmos, o procedimento será simples. Será recolhido todo o material necessário para uma sala, juntamente com a informação do seu preço, em associação com o custo da mão de obra necessária para a instalação. Esse valor unitário será multiplicado pelas quantidades de material a instalar. Como resultado, será obtida uma tabela com a descrição de todo o material necessário, as quantidades, os preços unitários (que incluirão a mão de obra), os preços totais e o custo final da instalação, acrescido do IVA actual de 23%.

O próximo fluxograma, Figura 19, representa este processo.



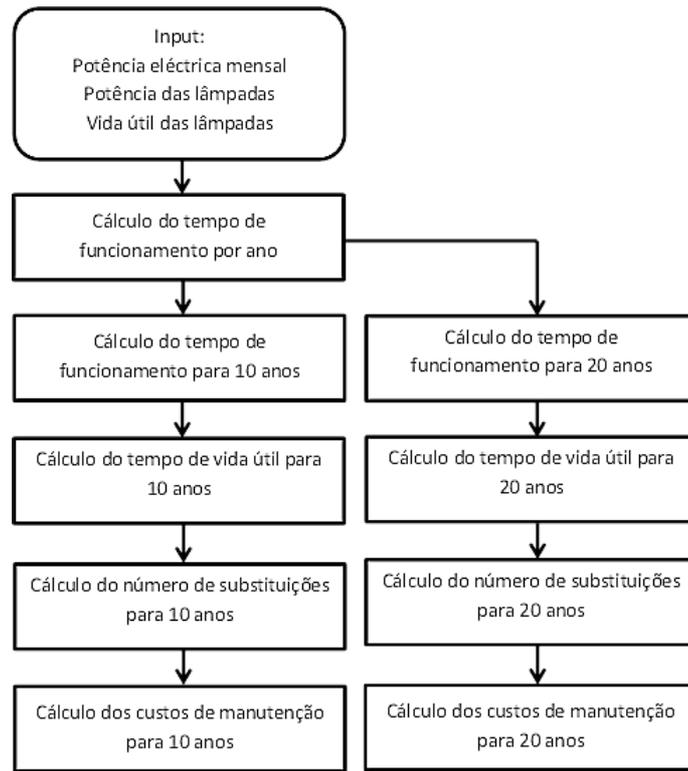
**Figura 19 - Fluxograma do cálculo dos custos de instalação**

O processo que permitirá obter os custos de manutenção será ligeiramente mais complexo. Serão incluídos nestes custos, os gastos com novas lâmpadas ao longo dos anos, mais precisamente, a curto (2 anos), médio (10 anos) e longo prazo (20 anos).

Assumir-se-á que o equipamento funcionará de acordo com a sua longevidade estipulada. Contudo, não será possível fazer um controlo extremamente rigoroso, lâmpada a lâmpada, para o estudo dos custos de manutenção. O modelo a implementar será, ainda assim, bastante próximo da realidade e permitirá fornecer dados plausíveis, relativamente aos custos em estudo.

O mecanismo passará por determinar o número de substituições de lâmpadas a fazer, durante o período de tempo considerado, em função do número de horas úteis em que estas funcionam, face ao tempo de vida que possuem. Trabalhar-se-á com valores absolutos e somatórios, onde a aproximação a considerar estará no facto de que todas as lâmpadas contribuirão de igual maneira.

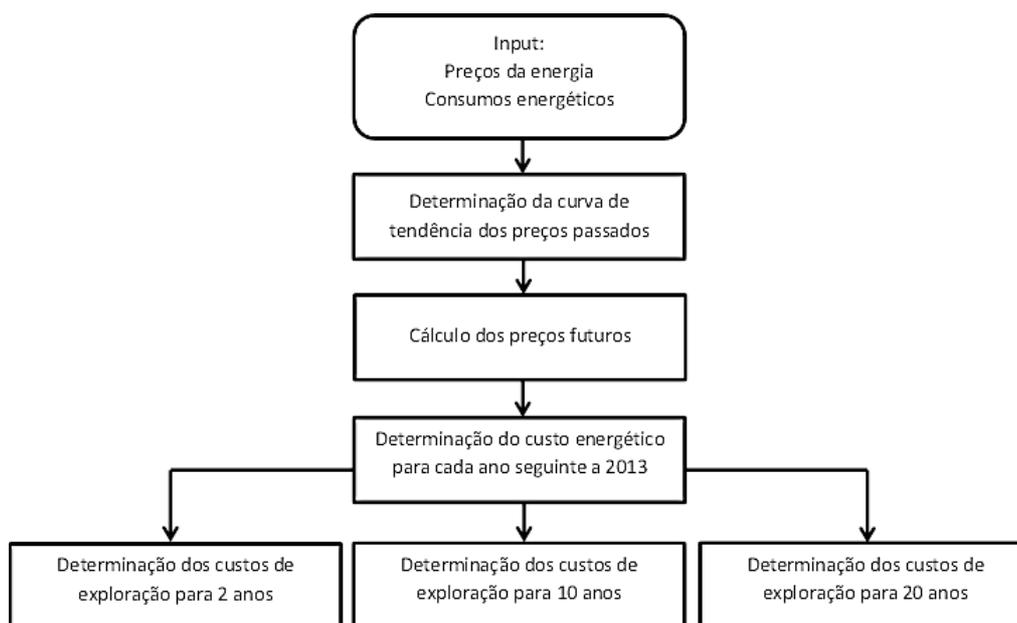
Na Figura 20, tem-se o fluxograma que ilustra o respectivo processo.



**Figura 20 - Fluxograma do cálculo dos custos de manutenção**

Para se obterem os custos de exploração, multiplicar-se-á o preço da energia pelo consumo energético anual e calcular-se-ão os valores respectivos para o curto, médio e longo prazo. Para tal, será feito um levantamento dos preços da energia em Portugal nos últimos anos e através da inserção destes valores num gráfico e da determinação da sua curva de tendência, será feita uma linearização para se determinar, aproximadamente, aqueles que serão os preços de energia futuros a utilizar neste processo. Terminada esta parte, os resultados serão inseridos nas respectivas tabelas.

O próximo fluxograma, Figura 21, representa estes passos.



**Figura 21 - Fluxograma do cálculo dos custos de exploração**

### 3.2 Extensão do dimensionamento

O dimensionamento primário, a projectar, será aplicado a um caso de estudo, a apenas uma sala. Contudo, estudando apenas uma sala, só se pode fazer uma análise entre os tipos de controlo aplicados (qual o mais e menos eficiente) e ao custo da obra (qual a mais e menos cara). Com a extensão do projecto, atingir-se-á o objectivo de se fazer uma análise completa ao binómio eficiência energética/custo de instalação. E para tal, serão manipuladas as duas variáveis que mais impacto apresentam junto do binómio:

- Tamanho da sala (Área);
- Quantidade de luz natural.

Efectivamente, é importante ter em conta a área da sala, visto que diferentes dimensões implicam diferentes instalações (em termos de disposição de luminárias, quantidade de material instalado, viabilidade dos diferentes controlos) e, consequentemente, diferentes custos de instalação. Sendo assim, ficará estipulado que todo o dimensionamento primário será repetido para um conjunto de diferentes salas. Esta extensão permitirá fornecer uma análise comparativa entre os diferentes resultados obtidos, em função da área.

O segundo ponto em foco trata a quantidade de luz natural. Qualquer que seja o projecto a conceber, as necessidades energéticas de uma instalação serão em função da luz natural presente no

local, daí a sua importância neste estudo. Este último será preparado de modo a se obterem valores de luz natural para Portugal. Contudo, é sabido que, dada a localização do país e as suas condições climáticas, Portugal possui valores de quantidade de luz natural altos. Sendo assim, será criado um modelo que permita estudar o impacto que valores inferiores de luz natural terão sobre os resultados a obter. Esses resultados irão reflectir quais as instalações mais viáveis, em função de uma maior demanda energética.

### **3.2.1 Extensão do método em função da área**

A explicação desta metodologia é a mais simples, todo este procedimento será igual ao descrito no dimensionamento, aplicado contudo a salas projectadas com diferentes áreas. A partir daí, será obtido um conjunto de resultados para cada tamanho de sala e, com os mesmos, serão criados gráficos para fácil visualização das diferenças originadas pela alteração da área. Também será feita uma análise junto dos custos de instalação, para se poder observar a influência que diferentes áreas provocam, de modo a determinar quais os tipos de controlo directamente mais afectados por estas variações.

### **3.2.2 Extensão do método em função da quantidade de luz natural**

Para se criar este método, serão repetidos alguns passos dos procedimentos acima referidos. Inicialmente, determinar-se-ão novas curvas de radiação, inferiores às primeiras (visto que essas já serão altas, para Portugal). A alteração aos valores de luz natural afectará directamente os valores de consumo energético anual.

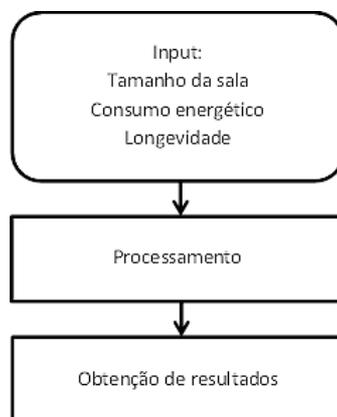
Depois de obtidos estes últimos, saber-se-ão também quais os novos custos de manutenção e de exploração, para as diferentes instalações, visto que todo o mecanismo implementado anteriormente será utilizado novamente. Neste ponto, com todos os custos analisados (visto que o custo de instalação não depende de uma maior ou menor demanda energética), será feita uma comparação entre resultados. Esses resultados irão reflectir o comportamento dos diferentes tipos de controlo, face a uma diferente necessidade energética, como se a mesma sala se encontrasse em locais diferentes, com registos de presença de luz natural diferentes.

## **3.3 Dimensionamento da aplicação e análise dos resultados**

Para se concluir o projecto, desenvolver-se-á uma pequena aplicação interactiva em que, ao manipularem-se alguns elementos disponíveis, serão devolvidos os melhores tipos de controlo aplicados a essa situação.

A análise por detrás do algoritmo, será com base em todo o estudo feito até à data. Como o estudo será feito com muitos dados assumidos e muitas especificações pré-determinadas (como valores de luz natural simulados, material específico, margens de lucro de uma determinada empresa instaladora,

entre outros), o modelo por detrás da aplicação não será com base em formulações matemáticas, mas sim, como foi dito, com base em toda a análise desenvolvida, em torno dos dados obtidos. A Figura 22 representa o respectivo fluxograma.



**Figura 22 - Fluxograma do funcionamento da aplicação**

## **4 Descrição e implementação do modelo prático**

Este capítulo aborda a concepção do modelo de estudo e o seu funcionamento, ao longo das suas diferentes fases de tratamento de dados, desde as simulações, passando pelo processamento dos resultados obtidos, até à análise destes últimos.

### **4.1 Implementação da metodologia**

#### **4.1.1 Tecnologia adoptada no desenvolvimento do modelo prático**

Para a implementação de todo o modelo concebido na fase inicial do capítulo anterior, foram utilizadas três aplicações informáticas. Recorreu-se ao Dialux, ao Excel e ao Autocad.

A opção pelo Dialux foi uma escolha simples, trata-se de um software destinado à execução de cálculos luminotécnicos, com imensas ferramentas para simulação, que permitem a construção de diversos cenários. Uma das suas capacidades é o desenvolvimento de modelos em 3D e do respectivo ambiente luminoso associado, motivo pelo qual foi escolhido para a fase inicial do projecto. Com recurso às ferramentas de estudo da iluminação interna, pôde-se realizar a primeira parte do modelo, através da criação da sala. Com as ferramentas de estudo da iluminação externa, desenvolveram-se vários campos luminosos exteriores, para a composição das tabelas de valores de luz natural.

Terminada esta fase, utilizou-se pela primeira vez o Excel, conhecido software para cálculo matemático e lógico, da Microsoft. Através da criação de uma folha de cálculo, inseriram-se os valores obtidos por simulação, no Dialux, de modo a gerar as tabelas de valores de luz natural. Complementou-se esta mesma folha de cálculo com os restantes valores de luz calculados, tendo por base os valores simulados.

Em seguida, voltou-se ao Dialux e finalizou-se o estudo luminotécnico. Para tal, foram criadas as respectivas instalações a estudar, com recurso aos catálogos disponíveis de luminárias, também existentes no próprio Dialux.

Os resultados obtidos foram novamente registados em tabelas, numa nova folha de cálculo do Excel, para serem utilizados no passo seguinte. Ainda neste ponto, recorreu-se ao Autocad, que se trata de um software bastante completo a nível de desenho assistido por computador. Foi utilizado para colocar a fiação nas instalações já criadas. Com recurso a uma pequena extensão do programa, fizeram-se as medições necessárias aos cabos previamente colocados.

As fases seguintes foram todas desenvolvidas no Excel, dada a sua forte capacidade de tratamento de dados, a nível de cálculo matemático e lógico, como foi referido anteriormente. Desenvolveram-se folhas de cálculo capazes de reflectir o comportamento dos diferentes tipos de controlo a estudar, onde se inseriu o modo como os circuitos respondem, os valores de energia que consomem e as perdas que apresentam, em função da luz natural detectada. Para se analisarem os resultados obtidos, os mesmos foram dispostos em novas tabelas, associadas a gráficos de dispersão e de barras, para melhor entendimento, num novo conjunto de folhas de cálculo.

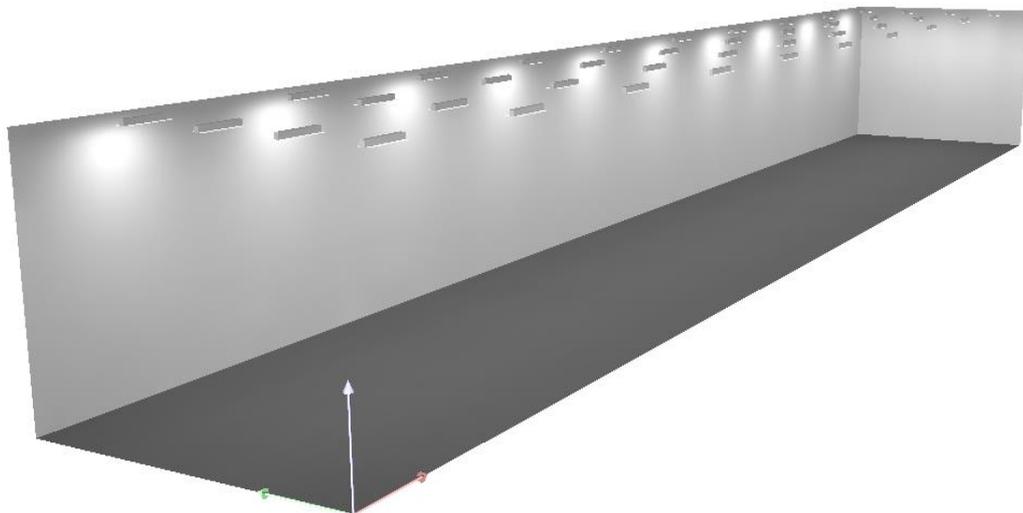
#### 4.1.2 Criação da sala

Recorrendo ao Dialux, criou-se o modelo de uma sala em 3D, denominada sala 5, através da caixa de ferramentas da iluminação interior. Utilizaram-se as seguintes medidas:

- Comprimento: 25 m;
- Largura: 4 m;
- Altura: 2,80 m.

Como foi dito antes, estas foram escolhidas para que a sala se assemelhasse a uma sala de escritório. As medidas da sala também foram pensadas para se manter um modelo de instalação tipo, composto por quatro fileiras de circuitos.

O modelo obtido é visível na Figura 23.

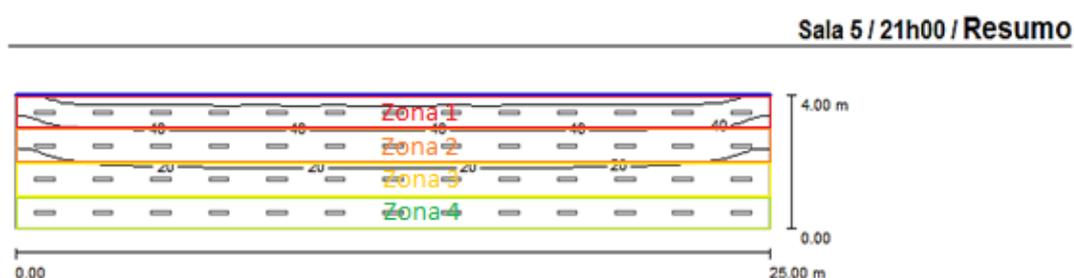


**Figura 23 - Modelo de uma das salas criadas**

### 4.1.3 Simulação de um ambiente com luz natural

Ainda no Dialux e com a sala já criada, adicionou-se uma janela cuja área perfeitamente igual ao tamanho total de uma das paredes de maior comprimento. Esse tamanho foi tido em conta, para que o resultado do estudo da iluminação exterior devolvesse isoluxes mais uniformes, para melhor interpretação.

Preparam-se cenários de luz exterior, com recurso à caixa de ferramentas da iluminação exterior, em dois blocos diferentes. Um deles foi criado para o mês com maior luz disponível, tendo sido apontado como Julho de 2012. A data escolhida para as simulações foi 07-07-2012. Os valores de luz natural não nulos foram conseguidos entre as 7:00 e as 22:00, para um período de 24 horas. A próxima figura, Figura 24, exemplifica um dos resultados e é constituída por um esquemático da sala, com as respectivas isoluxes detectadas para as zonas correspondentes.



**Figura 24 - Exemplo de uma planta da sala com as isoluxes detectadas, em Julho, com esquematização das diferentes zonas existentes**

Os restantes dados obtidos foram colocados na tabela 2.

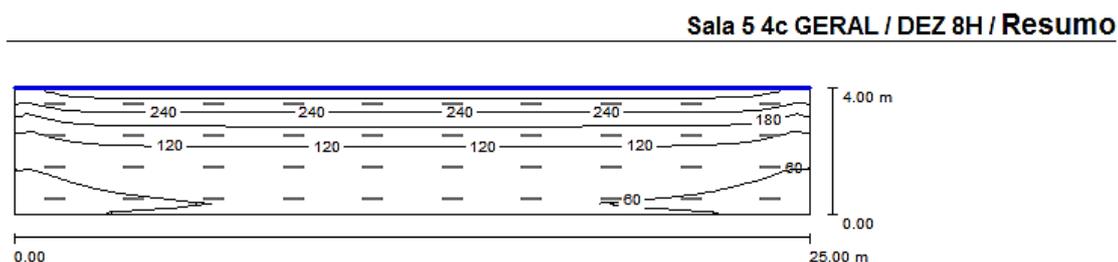
**Tabela 2 – Tabela dos valores de luz detectados no mês de Julho**

Hora	Zona 1 (lux)	Zona 2 (lux)	Zona 3 (lux)	Zona 4 (lux)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	500	275	165	110
8	1200	650	390	260
9	1870	990	675	400
10	2475	1375	825	550
11	3025	1625	1025	650
12	3375	1875	1200	750
13	3600	2000	1300	790

14	3600	2000	1300	790
15	3450	1875	1175	750
16	3150	1750	1100	690
17	2700	1500	1000	590
18	2200	1125	700	450
19	1450	750	500	270
20	740	400	260	160
21	55	32	17	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Indica-se que os valores captados para a zona 1, correspondem às isoluxes mais próximas da janela.

O segundo bloco de simulações foi conseguido para o mês com menor quantidade de luz natural detectada, Dezembro. O dia considerado para as simulações foi 07-12-2012 e os registos diferentes de zero foram retirados para o intervalo entre as 8:00 e as 18:00. Os resultados desejados vieram, novamente, no mesmo formato, como se exemplifica na Figura 25.



**Figura 25 - Exemplo de um cenário com as isoluxes detectadas numa das salas, em Dezembro**

Os restantes dados ficaram registados na tabela 3.

**Tabela 3 - Tabela dos valores de luz detectados no mês de Dezembro**

Hora	Zona 1 (lux)	Zona 2 (lux)	Zona 3 (lux)	Zona 4 (lux)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0

<b>8</b>	270	150	95	0
<b>9</b>	880	475	290	190
<b>10</b>	1400	750	460	290
<b>11</b>	1800	950	600	390
<b>12</b>	1950	1050	700	420
<b>13</b>	1900	1000	650	390
<b>14</b>	1750	950	600	370
<b>15</b>	1330	680	430	270
<b>16</b>	810	425	265	270
<b>17</b>	180	100	60	40
<b>18</b>	0	0	0	0
<b>19</b>	0	0	0	0
<b>20</b>	0	0	0	0
<b>21</b>	0	0	0	0
<b>22</b>	0	0	0	0
<b>23</b>	0	0	0	0

#### 4.1.4 Criação de um módulo com valores calculados de luz

No Excel, depois de contruídas as duas tabelas no ponto anterior, calcularam-se os factores de crescimento e decrescimento. Neste caso, entende-se por factores de crescimento e decrescimento, uma série de valores que somados a um conjunto de valores de luz, devolverá um novo conjunto, aproximado ao anterior, mas suficientemente diferente para produzir o efeito desejado – obter valores de luz natural para um mês diferente.

Para se conseguir a tabela com o factor de crescimento, calcularam-se as diferenças entre os valores simulados de Dezembro e os de Julho, sobre o intervalo de meses existentes entre os dois, neste caso, 7. A segunda tabela, do factor de decrescimento, foi resultado da diferença entre os valores de Julho e Dezembro, a dividir pelos restantes meses naquele intervalo, 5. A tabela do factor de crescimento obtida apresenta-se em seguida, na tabela 4.

**Tabela 4 – Tabela do factor de crescimento**

<b>Hora</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>1</b>	0	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0	0
<b>4</b>	0	0	0	0
<b>5</b>	0	0	0	0

6	0	0	0	0
7	-71	-39	-24	-16
8	-133	-71	-42	-37
9	-141	-74	-55	-30
10	-154	-89	-52	-37
11	-175	-96	-61	-37
12	-204	-118	-71	-47
13	-243	-143	-93	-57
14	-264	-150	-100	-60
15	-303	-171	-106	-69
16	-334	-189	-119	-60
17	-360	-200	-134	-79
18	-314	-161	-100	-64
19	-207	-107	-71	-39
20	-106	-57	-37	-23
21	-8	-5	-2	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

A segunda tabela conseguida, tabela 5, do factor de decrescimento, foi a seguinte.

**Tabela 5 - Tabela do factor de decrescimento**

Hora	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	100	55	33	22
8	186	100	59	52
9	198	103	77	42
10	215	125	73	52
11	245	135	85	52
12	285	165	100	66
13	340	200	130	80

14	370	210	140	84
15	424	239	149	96
16	468	265	167	84
17	504	280	188	110
18	440	225	140	90
19	290	150	100	54
20	148	80	52	32
21	11	6	3	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Aos valores do mês de Julho, subtraiu-se a tabela de decréscimo até 4 vezes e, em cada subtracção, registaram-se os valores calculados para o mês considerado (primeiro Agosto, depois Setembro e por aí em diante). Repetiu-se este exercício, substituindo os valores iniciais pelos de Dezembro e a matriz pela de crescimento, aumentando o número de subtracções para 6 e registando-se os valores dos restantes meses. Um exemplo de valores de luz calculados, neste caso para o mês de Agosto, é também apresentado na tabela 6.

**Tabela 6 - Tabela dos valores de luz calculados para o mês de Agosto**

Hora	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	400	220	132	88
8	1014	550	331	208
9	1672	887	598	358
10	2260	1250	752	498
11	2780	1490	940	598
12	3090	1710	1100	684
13	3260	1800	1170	710
14	3230	1790	1160	706
15	3026	1636	1026	654
16	2682	1485	933	606
17	2196	1220	812	480
18	1760	900	560	360

19	1160	600	400	216
20	592	320	208	128
21	44	25.6	13.6	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

#### 4.1.5 Criação das diferentes instalações, execução dos cálculos luminotécnicos e recolha dos dados

De volta ao Dialux, duplicou-se a primeira sala já criada e desenvolveram-se as duas instalações tipo. Utilizando as ferramentas de iluminação interna para a primeira sala, criou-se um campo de 300 lux, onde se utilizaram, do catálogo da Philips, as luminárias tipo TMS 022, com uma lâmpada de 18W e reflector GMS. Optou-se pela utilização de reflector, para que a iluminação na sala ficasse melhor distribuída e uniforme. A disposição apresentou 10 luminárias por cada fileira, entre as 4 fileiras estipuladas anteriormente.

Para a segunda sala, efectuou-se o mesmo procedimento, tendo sido utilizadas as luminárias tipo TMS 022, com duas lâmpadas de 18W e reflector GMS. O resultado foi uma disposição de 6 luminárias por cada fileira.

Com recurso às fórmulas (1), (2), (3) e (4) e procedimentos descritos na Figura 5, retiraram-se os restantes dados das instalações relevantes ao projecto e inseriram-se na tabela 7.

**Tabela 7 – Tabela de registo dos dados relativos ao cálculo luminotécnico**

Sala 300 lux	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Potência (W)	Potência específica (W/m <sup>2</sup> )	Comprimento de cabo (m)	Corrente no cabo inicial (A)	Comprimento mais desfavorável (m)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Luminárias
Sala 5	25	4	100	760	7.60	98.31	3.89	26.08	1.5	40
Sala 5 (2L)	25	4	100	912	9.12	88.42	4.66	25.92	1.5	24

Os resultados vêm de acordo com os levantamentos efectuados e os cálculos realizados. Através de uma análise singular, verifica-se que uma instalação com luminárias de duas lâmpadas apresenta uma potência instalada e corrente no cabo inicial maior, que uma instalação com luminárias de uma lâmpada, apesar do maior número destas.

#### 4.1.6 Programação dos diferentes tipo de controlo em estudo

Para se programarem os interruptores, optou-se por utilizar o Excel. Sendo a automatização uma computação lógica, o Excel foi suficiente, dadas as suas capacidades, e funcional, porque os valores com os quais se trabalhou existiam todos em tabelas.

O modo de funcionamento dos interruptores para a instalação 4x1 foi implementado com base em (10).

$$F1 = ocup \cdot (lzn(x) < 300) \quad (10)$$

Lê-se, se a sala se encontrar ocupada (assumindo que 1 significa ocupada e 0 desocupada) e a luz natural registada num determinado espaço da sala for inferior aos 300 lux necessários, então a condição será verdadeira e o interruptor será activado (terá o valor de 1). Caso contrário, se a condição for falsa, o interruptor terá o valor de 0, representativo de que estará desligado.

A expressão programada para o segundo tipo de instalação foi (11).

$$F2 = ocup \cdot (lzn(x) < 300 + lzn(y) < 300) \quad (11)$$

Nesta situação, compreende-se, se a sala se encontrar ocupada e luz natural registada num determinado espaço ou no espaço pertencente ao circuito do mesmo agrupamento for inferior a 300 lux, então a condição será verdadeira e o interruptor será ligado. Senão, ficará desligado.

Para a instalação 1x4, obteve-se (12).

$$F3 = ocup \cdot (lzn(x) < 300 + lzn(y) < 300 + lzn(z) < 300 + lzn(q) < 300) \quad (12)$$

A leitura é igual às anteriores, contudo, as zonas a considerar perfazem toda a área da sala, fazendo accionar o interruptor à mínima detecção de falta de luminosidade, ou seja, caso se encontre abaixo dos 300 lux.

Os interruptores da instalação Par/Ímpar foram controlados com base em (13) e (14).

$$F4 = \overline{ocup \cdot (150 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 300)} + 1/2 \quad (13)$$

$$F5 = ocup \cdot (lzn(x) < 150) \quad (14)$$

A complexidade é maior, pois foi preciso distinguir a quantidade de luz disponível em intervalos diferentes. Sendo assim, entende-se que, se a ocupação da sala for verdadeira e a luz natural na zona x se encontrar entre os 150 e os 300 lux, então o resultado da activação do interruptor será de ½. Se for inferior a 150 lux, então o resultado virá a 1. Estes valores foram assim considerados porque entrarão no cálculo dos gastos energéticos como factores multiplicativos, aplicados a um valor total. Ou seja, dizer que o interruptor devolveu ½, significou dizer que neste circuito, e apenas nesta instalação, somente metade das luminárias estavam activas, fossem as de número par ou ímpar.

O interruptor da instalação com balastro regulável foi o mais complexo de programar, necessitando da (15) à (32).

$$F6 = \overline{ocup \cdot (289 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 300)} + \frac{15}{100} \quad (15)$$

$$F7 = \overline{ocup \cdot (272 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 289)} + \frac{20}{100} \quad (16)$$

$$F8 = \overline{ocup \cdot (255 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 272)} + \frac{25}{100} \quad (17)$$

$$F9 = \overline{ocup \cdot (238 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 255)} + \frac{30}{100} \quad (18)$$

$$F10 = \overline{ocup \cdot (221 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 238)} + \frac{35}{100} \quad (19)$$

$$F11 = \overline{ocup \cdot (204 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 221)} + \frac{40}{100} \quad (20)$$

$$F12 = \overline{ocup \cdot (187 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 204)} + \frac{45}{100} \quad (21)$$

$$F13 = \overline{ocup \cdot (170 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 187)} + \frac{50}{100} \quad (22)$$

$$F14 = \overline{ocup \cdot (153 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 170)} + \frac{55}{100} \quad (23)$$

$$F15 = \overline{ocup \cdot (136 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 153)} + \frac{60}{100} \quad (24)$$

$$F16 = \overline{ocup \cdot (119 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 136)} + \frac{65}{100} \quad (25)$$

$$F17 = \overline{ocup \cdot (102 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 119)} + \frac{70}{100} \quad (26)$$

$$F18 = \overline{ocup \cdot (85 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 102)} + \frac{75}{100} \quad (27)$$

$$F19 = \overline{ocup \cdot (68 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 85)} + \frac{80}{100} \quad (28)$$

$$F20 = \overline{ocup \cdot (51 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 68)} + \frac{85}{100} \quad (29)$$

$$F21 = \overline{ocup \cdot (34 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 51)} + \frac{90}{100} \quad (30)$$

$$F22 = \overline{ocup \cdot (17 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 34)} + \frac{95}{100} \quad (31)$$

$$F23 = ocup \cdot (0 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 17) \quad (32)$$

Para se automatizar este tipo de interruptor, teve-se em conta o funcionamento do balastro regulável. Este actua em intervalos pequenos e, para os efeitos de simulação a executar, consideraram-se esses intervalos de 5%, à excepção do primeiro intervalo que, para os níveis mais

altos de luminosidade detectada, o balastro, fisicamente, apresenta menor sensibilidade, sendo que esse intervalo foi de 15%. A partir desta implementação, o raciocínio foi simples e lê-se das expressões, se a luminosidade registada se encontrar entre certo intervalo, o circuito funcionará com a sua capacidade limitada ao valor correspondente a esse mesmo intervalo. Apesar do balastro actuar de luminária para luminária, para efeitos de simulação, considerou-se uma aproximação matemática com recurso à propriedade associativa, em que o somatório dos diferentes valores percentuais dos balastros resultaram num único valor percentual, para o circuito inteiro. Mais uma vez, alguns dos resultados não foram números inteiros, o que não constituiu um problema, pois entraram para o cálculo energético como factores multiplicativos a actuar sobre um valor total.

A penúltima configuração, dos interruptores da instalação 4x1 com 2 lâmpadas, foi (33) e (34).

$$F24 = \overline{ocup \cdot (150 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 300)} + 1/2 \quad (33)$$

$$F25 = ocup \cdot (lzn(x) < 150) \quad (34)$$

A explicação deste interruptor encontra-se já feita onde se descreve o interruptor da instalação Par/Ímpar, 4 parágrafos acima. Na prática, apesar do efeito ser diferente e as instalações fornecerem diferentes luminosidades, para efeitos de consumo energético, o cálculo foi igual para as duas. Isto porque devolvem uma despesa energética por inteiro, associada à activação de todas as lâmpadas na instalação, por metade, com apenas metade das lâmpadas activas em cada luminária, ou nula, com as luminárias inactivas.

As últimas expressões criadas, (35) e (36), servem a instalação 1x4, com 2 lâmpadas, e são apresentadas em seguida.

$$F26 = ocup \cdot (lzn(x) < 150 + lzn(y) < 150 + lzn(z) < 150 + lzn(q) < 150) \quad (35)$$

$$F27 = \overline{ocup \cdot ((150 \leq lzn(x) \cdot lzn(x) < 300) + (150 \leq lzn(y) \cdot lzn(y) < 300) + (150 \leq lzn(z) \cdot lzn(z) < 300) + (150 \leq lzn(q) \cdot lzn(q) < 300))} + 1/2 \quad (36)$$

O conceito desta expressão foi semelhante ao que serviu a instalação anterior e Par/Ímpar. Se a sala estiver ocupada e em qualquer um dos pontos da sala for detectada uma luminosidade inferior a 150 lux, então todas as luminárias serão activadas. Se todos os valores de luz se encontrarem entre 150 e 300 lux ou apenas alguns se encontrarem entre estes valores e outros acima, então apenas metade das lâmpadas serão activadas. Caso contrário, os interruptores encontrar-se-ão desligados.

#### 4.1.7 Cálculo da potência, das perdas e dos consumos energéticos nos circuitos

Neste ponto, foram obtidos os resultados inerentes ao estudo dos comportamentos energéticos das diferentes instalações consideradas, para todos os meses do ano. É impossível contudo, apresentar todos os dados que foram manipulados, neste capítulo, dada a quantidade elevada dos mesmos.

Considerando que se criaram folhas de cálculo para os resultados de cada dia, que cada dia é representativo de um mês e que foram considerados todos os meses do ano, só para o estudo de um tipo de instalação a nível de potência, perdas e consumos totais, foram utilizadas 12 folhas de cálculo, cada uma constituída por 6 tabelas diferentes.

O resumo dos resultados obtidos nestas folhas de cálculo surge, em seguida, alojado nas próximas tabelas, 8 e 9.

**Tabela 8 – Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 5**

Mês	Potência 4x1 (Wh)	Perdas 4x1 (Wh)	Total 4x1 (Wh)	Potência 2x2 (Wh)	Perdas 2x2 (Wh)	Total 2x2 (Wh)	Potência 1x4 (Wh)	Perdas 1x4 (Wh)	Total 1x4 (Wh)	Potência PI (Wh)	Perdas PI (Wh)	Total PI (Wh)
<b>1</b>	2470.00	442.94	2912.94	3040.00	545.15	3585.15	3800.00	681.44	4481.44	1995.00	357.76	2352.76
<b>2</b>	1900.00	340.72	2240.72	2660.00	477.01	3137.01	3800.00	681.44	4481.44	1330.00	238.50	1568.50
<b>3</b>	1330.00	238.50	1568.50	1900.00	340.72	2240.72	3800.00	681.44	4481.44	855.00	153.32	1008.32
<b>4</b>	950.00	170.36	1120.36	1140.00	204.43	1344.43	2280.00	408.86	2688.86	570.00	102.22	672.22
<b>5</b>	380.00	68.14	448.14	760.00	136.29	896.29	1520.00	272.58	1792.58	190.00	34.07	224.07
<b>6</b>	380.00	68.14	448.14	760.00	136.29	896.29	1520.00	272.58	1792.58	190.00	34.07	224.07
<b>7</b>	380.00	68.14	448.14	760.00	136.29	896.29	1520.00	272.58	1792.58	190.00	34.07	224.07
<b>8</b>	380.00	68.14	448.14	760.00	136.29	896.29	1520.00	272.58	1792.58	190.00	34.07	224.07
<b>9</b>	760.00	136.29	896.29	1140.00	204.43	1344.43	2280.00	408.86	2688.86	380.00	68.14	448.14
<b>10</b>	1520.00	272.58	1792.58	1900.00	340.72	2240.72	3800.00	681.44	4481.44	950.00	170.36	1120.36
<b>11</b>	2470.00	442.94	2912.94	3040.00	545.15	3585.15	3800.00	681.44	4481.44	1710.00	306.65	2016.65
<b>12</b>	4180.00	749.59	4929.59	4560.00	817.73	5377.73	6080.00	1090.31	7170.31	3325.00	596.26	3921.26

A tabela 8 contém os valores que resultaram do estudo energético das instalações 4x1, 2x2, 1x4 e Par/Ímpar (PI). Estes foram obtidos de acordo com (5), (6), (7), (8) e (9). São visíveis valores mais elevados nos meses com menor disponibilidade de luz natural.

**Tabela 9 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 5 (continuação)**

Mês	Potência BREG (Wh)	Perdas BREG (Wh)	Total BREG (Wh)	Potência 4x1 2L (Wh)	Perdas 4x1 2L (Wh)	Total 4x1 2L (Wh)	Potência 1x4 2L (Wh)	Perdas 1x4 2L (Wh)	Total 1x4 2L (Wh)
1	1586.50	284.50	1871.00	2394.00	463.33	2857.33	4104.00	794.28	4898.28
2	969.00	173.77	1142.77	1596.00	308.89	1904.89	3648.00	706.02	4354.02
3	570.00	102.22	672.22	1026.00	198.57	1224.57	3192.00	617.77	3809.77
4	351.50	63.03	414.53	684.00	132.38	816.38	1824.00	353.01	2177.01
5	180.50	32.37	212.87	228.00	44.13	272.13	912.00	176.51	1088.51
6	133.00	23.85	156.85	228.00	44.13	272.13	912.00	176.51	1088.51
7	95.00	17.04	112.04	228.00	44.13	272.13	912.00	176.51	1088.51
8	152.00	27.26	179.26	228.00	44.13	272.13	912.00	176.51	1088.51
9	294.50	52.81	347.31	456.00	88.25	544.25	1368.00	264.76	1632.76
10	646.00	115.85	761.85	1140.00	220.63	1360.63	3192.00	617.77	3809.77
11	1330.00	238.50	1568.50	2052.00	397.14	2449.14	3648.00	706.02	4354.02
12	2869.00	514.49	3383.49	3990.00	772.21	4762.21	5472.00	1059.04	6531.04

A tabela 9 contém os restantes resultados, relativos às instalações com balastro regulável (BREG), 4x1 com duas lâmpadas e 1x4 com duas lâmpadas. As equações de cálculo foram as mesmas, (5), (6), (7), (8) e (9). A observação da tabela também detecta valores mais elevados nos meses com menor disponibilidade de luz natural.

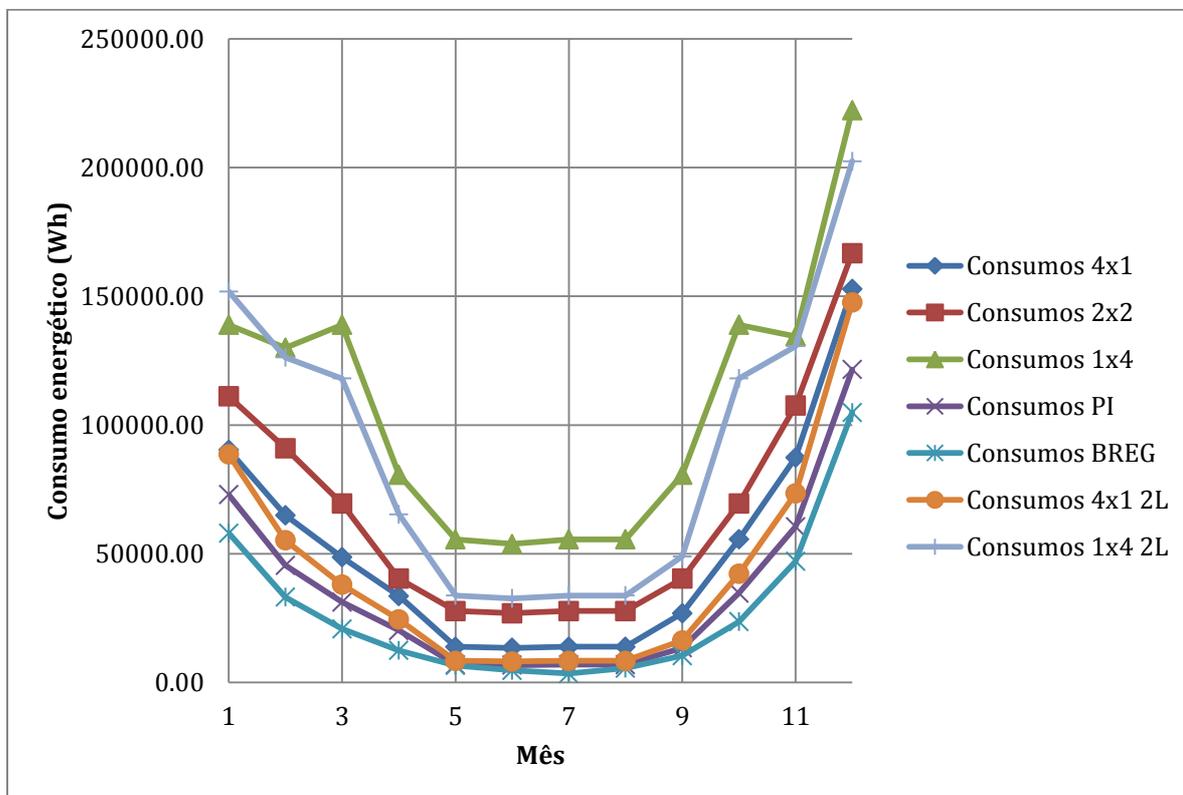
#### **4.1.8 Análise comparativa ente os valores de energia consumida nos diferentes tipos de controlo**

Através da recolha dos dados existentes, nas folhas de cálculo mencionadas anteriormente, procedeu-se à multiplicação dos valores totais diários pelo número de dias de cada mês para se efectuar um registo mensal. A tabela 10 apresenta os valores de consumo mensais, resultado do procedimento descrito acima.

**Tabela 10 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 5**

Mês	Consumos 4x1 (Wh)	Consumos 2x2 (Wh)	Consumos 1x4 (Wh)	Consumos PI (Wh)	Consumos BREG (Wh)	Consumos 4x1 2L (Wh)	Consumos 1x4 2L (Wh)
1	90301.04	111139.75	138924.68	72935.46	58001.06	88577.16	151846.57
2	64980.90	90973.26	129961.80	45486.63	33140.26	55241.67	126266.68
3	48623.64	69462.34	138924.68	31258.05	20838.70	37961.64	118102.88
4	33610.81	40332.97	80665.95	20166.49	12436.00	24491.38	65310.35
5	13892.47	27784.94	55569.87	6946.23	6598.92	8435.92	33743.68
6	13444.32	26888.65	53777.30	6722.16	4705.51	8163.79	32655.18
7	13892.47	27784.94	55569.87	6946.23	3473.12	8435.92	33743.68
8	13892.47	27784.94	55569.87	6946.23	5556.99	8435.92	33743.68
9	26888.65	40332.97	80665.95	13444.32	10419.35	16327.59	48982.76
10	55569.87	69462.34	138924.68	34731.17	23617.20	42179.60	118102.88
11	87388.11	107554.59	134443.24	60499.46	47055.14	73474.14	130620.70
12	152817.15	166709.62	222279.50	121559.10	104888.14	147628.61	202462.09

Com recurso à tabela anterior, construiu-se o gráfico seguinte, Figura 26, que representa os consumos totais (potência eléctrica somada às perdas), em função de cada mês.



**Figura 26 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses**

A partir do gráfico, é possível comparar a eficiência energética das instalações em foco. Para uma sala de tamanho médio, com uma alta disponibilidade de luz natural, observa-se que as instalações mais eficientes são a BREG, a PI e a 4x1 2L. Numa gama menos eficiente, encontram-se as instalações 4x1 e 2x2. As mais dispendiosas, do ponto de vista energético, são a 1x4 2L e a 1x4. Conclui-se que um maior controlo sobre a instalação traduz-se numa maior eficiência, como era esperado.

#### 4.1.9 Cálculo dos custos de exploração, instalação e manutenção para os diferentes casos

Para que seja de fácil interpretação o próximo sub-capítulo, dividiu-se o mesmo em três blocos, um para cada tipo de custos analisado.

##### ➤ Custos de instalação

O custo de instalação para a primeira sala concebida é visível na tabela 11, juntamente com a discriminação de todo o material necessário em quantidades, preços unitários e totais.

**Tabela 11 – Tabela dos custos de instalação dos diferentes controlos na sala 5**

Tipo de instalação	Material	Quantidade de material	Preço unitário	Preço total	Custo da Instalação (com iva a 23%)
4x1	TUBO VD 20 EMBEBIDO	98.31	0.85	83.5635	2745.53
	H1VV-R 3x1,5 ENFIADO	98.31	1.08	106.1748	
	COMUTADOR DE LUSTRE MOSAIC BRANCO	2	8.74	17.48	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	2	1.32	2.64	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 1x18W + REFLECTOR GMS	40	50.39	2015.6	
2x2	TUBO VD 20 EMBEBIDO	98.31	0.85	83.5635	2733.16
	H1VV-R 3x1,5 ENFIADO	98.31	1.08	106.1748	
	COMUTADOR DE LUSTRE MOSAIC BRANCO	1	8.74	8.74	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	1	1.32	1.32	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 1x18W + REFLECTOR GMS	40	50.39	2015.6	

<b>1x4</b>	TUBO VD 20 EMBEBIDO	98.31	0.85	83.5635	2730.57
	H1VV-R 3x1,5 ENFIADO	98.31	1.08	106.1748	
	INTERRUPTOR SIMPLES 2M 10AX MOSAIC BRANCO	1	6.64	6.64	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	1	1.32	1.32	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 1x18W + REFLECTOR GMS	40	50.39	2015.6	
<b>PI</b>	TUBO VD 20 EMBEBIDO	98.31	0.85	83.5635	2792.10
	H1VV-R 3x1,5 ENFIADO	4.9155	1.08	5.30874	
	H1VV-R 4x1,5 ENFIADO	93.3945	1.27	118.61101 5	
	COMUTADOR DE LUSTRE MOSAIC BRANCO	4	8.74	34.96	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	4	1.32	5.28	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 1x18W + REFLECTOR GMS	40	50.39	2015.6	
<b>BREG</b>	TUBO VD 20 EMBEBIDO	98.31	0.85	83.5635	4795.74
	H1VV-R 4x1,5 ENFIADO	98.31	1.27	124.8537	
	INTERRUPTOR SIMPLES 2M 10AX MOSAIC BRANCO	1	6.64	6.64	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	1	1.32	1.32	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 1x18W COM BALASTRO HF-R + REFLECTOR GMS	40	89.75	3590	
	SENSOR TRIOS (1 PARA 20 APARELHOS DE ILUMINAÇÃO)	2	42.96	85.92	
<b>4x1 2L</b>	TUBO VD 20 EMBEBIDO	88.42	0.85	75.15445	1895.93
	H1VV-R 4x1,5 ENFIADO	88.42	1.27	112.28959	
	COMUTADOR DE LUSTRE MOSAIC BRANCO	4	8.74	34.96	
	CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	4	1.32	5.28	
	CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68	
	APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 2x18W + REFLECTOR GMS	24	54.46	1307.04	
<b>1x4 2L</b>	TUBO VD 20 EMBEBIDO	88.42	0.85	75.15445	1858.81

H1VV-R 4x1,5 ENFIADO	88.42	1.27	112.28959
COMUTADOR DE LUSTRE MOSAIC BRANCO	1	8.74	8.74
CAIXA DE APARELHAGEM SIMPLES	1	1.32	1.32
CAIXA DE DERIVAÇÃO EMBEBIDA 80X80 4 ENTRADAS	1	6.68	6.68
APARELHO DE ILUMINAÇÃO TIPO TMS 022 2x18W + REFLECTOR GMS	24	54.46	1307.04

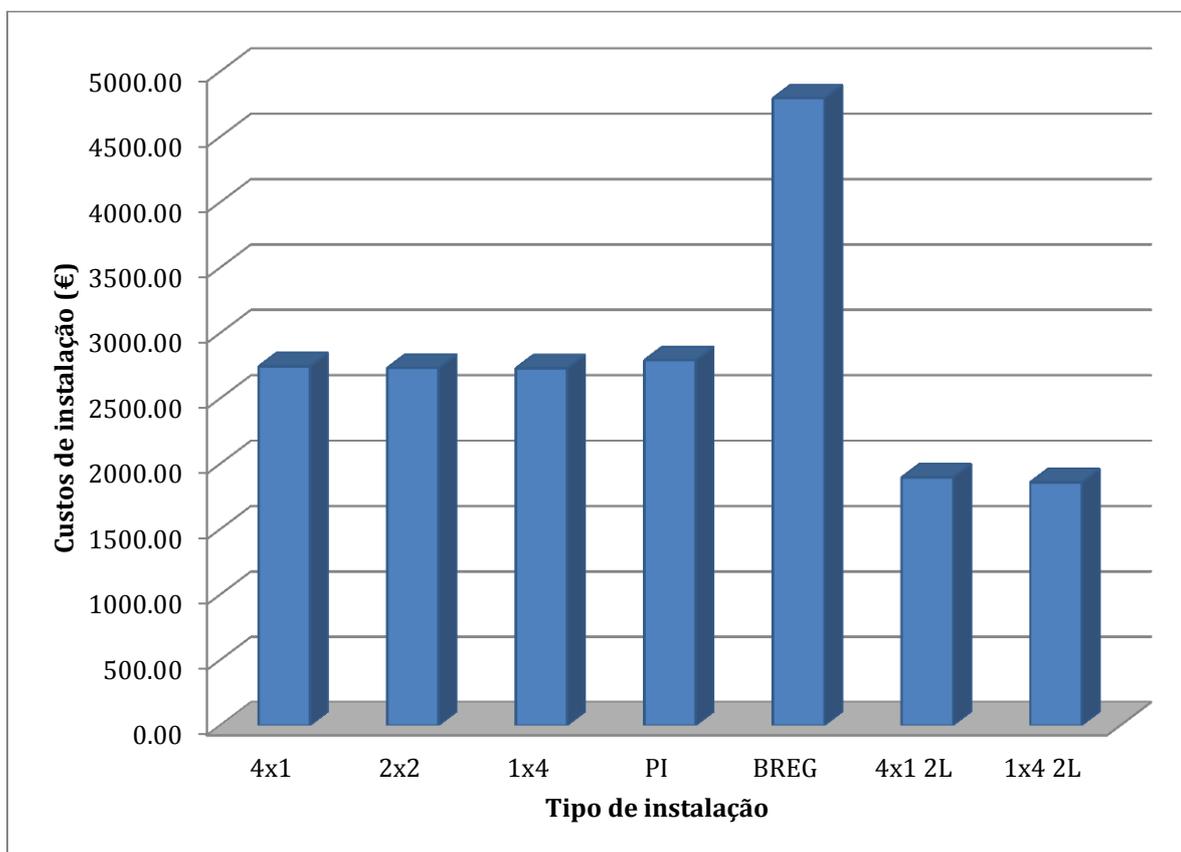
A escolha do material em questão teve por base um princípio. Como todo este estudo será útil numa fase primária de uma instalação eléctrica, na sua fase de projecção e concepção, optou-se por material embebido, visto que este projecto não se destina a uma instalação já existente. Teve-se em conta a escolha de equipamentos simples, adequados e dos catálogos mais recentes.

A opção pelo tubo Tubo VD 20 embebido justificou-se pela capacidade que tem em conter o cabo condutor. A sua quantidade é directamente proporcional à quantidade de cabo condutor existente, numa razão de 1:1. Os dois tipos de cabo existentes na lista (H1VV-R 3x1,5 enfiado e H1VV-R 4x1,5 enfiado) são harmonizados, tanto o seu isolamento, como a bainha, são de policloreto de vinil e diferem apenas no número de condutores suportados.

Os interruptores escolhidos foram o comutador de lustre Mosaic branco e o interruptor simples 2M 10AX Mosaic branco e, mais uma vez, são dos mais simples e correntes que se podem encontrar e justificam-se pelo tipo de controlo que servem. A caixa de aparelhagem simples foi necessária para colocar o interruptor na parede. A caixa de derivação embebida 80X80 de 4 entradas foi também necessária dado o esquema da instalação projectado em Autocad.

A escolha das luminárias tipo TMS 022 1x18W e TMS 022 2x18W foi pensada ainda na fase do Dialux e pertencem a uma família própria para iluminação de escritórios. A diferença das duas está no número de lâmpadas suportadas. Para a instalação com controlo por balastro regulável HF-R, adicionaram-se os mesmos às luminárias, o que aumentou o preço das mesmas. Também foram escolhidos sensores capazes e adequados, em função do número de luminárias existentes, neste caso, o sensor Trios, que serve até 20 luminárias. Optou-se por se adicionar reflector às luminárias, neste caso, um reflector GMS, para que as mesmas apresentem melhores níveis de aproveitamento da luz emitida e, assim, criar uma melhor distribuição e uniformização da luz na sala.

Associado à última tabela apresentada, criou-se um gráfico, Figura 27, que representa os custos de instalação em função de cada tipo de controlo.



**Figura 27 - Gráfico dos custos de instalação dos diferentes controlos na sala 5**

Como se pode ver, a instalação mais cara é a BREG. Justifica-se pela necessidade de mais material e de mão de obra para a instalação do mesmo, para a obtenção dos efeitos desejados – uma maior eficiência energética, através de mais controlo. Seguidamente, encontram-se as instalações 4x1, 2x2, 1x4 e PI. As diferenças entre si, em termos de material, são poucas, variando essencialmente em número de interruptores e tipos de cabos. Os custos de instalação mais baixos pertencem às instalações 4x1 2L e 1x4 2L. Como as luminárias são os elementos das instalações que maior peso têm no preço final, o facto de, nestes dois casos, o número das primeiras ser menor, implica também um custo final mais baixo.

#### ➤ Custos de manutenção

Para se realizar o estudo aos custos de manutenção, implementou-se um algoritmo que calculasse as vezes em que as lâmpadas teriam de ser substituídas, em função do seu tempo de uso nas diferentes

instalações, em contraste com o tempo de vida útil da própria lâmpada. (37), (38), (39) e (40) foram os resultados do mecanismo acima descrito.

$$F28 = \overline{(Vul - Tcl > 0)} + 0 \quad (37)$$

$$F29 = \overline{(Vul - Tcl < 0) \cdot |Vul - Tcl| < Vul} + 1 \quad (38)$$

$$F30 = \overline{(Vul - Tcl < 0) \cdot |Vul + Vul - Tcl| < Vul} + 2 \quad (39)$$

$$F31 = \overline{F28 + F29 + F30} + 3 \quad (40)$$

Das equações acima, entende-se por *vida útil das lâmpadas* o total de tempo útil que todas as lâmpadas nesse circuito podem oferecer, em horas. O cálculo foi feito através de (41).

$$Vul = Nlum \cdot Nlamp \cdot Long \quad (41)$$

O *tempo consumido das lâmpadas* corresponde ao número de horas de funcionamento das mesmas, em determinado intervalo de tempo. Obteve-se através de (42).

$$Tcl = Hfunca * Nanos \quad (42)$$

Para se calcular as *horas de funcionamento das lâmpadas por ano*, foi necessário determinar as *horas de funcionamento das lâmpadas por mês* e adicioná-las. Esse resultado foi alcançado a partir de (20).

$$Hfuncm = \frac{Ptcons m}{Plum} * Nlamp \quad (20)$$

Explicadas as variáveis nas primeiras equações, lê-se que, se a diferença entre a vida útil das lâmpadas pelo tempo consumido das mesmas for positiva, então não serão feitas substituições ((37)). Se for negativa e o módulo dessa diferença for inferior à vida útil das lâmpadas, então será feita uma substituição ((38)). Se for negativa, mas o módulo for somente negativo quando o valor da vida útil das lâmpadas for dobrado, então serão feitas duas substituições ((39)), senão, 3 ((40)). Esta foi a versão mais simples implementada, desta equação. Contudo, existem versões mais complexas, que suportam um maior número de substituições.

Para concluir este ponto, ao número de substituições foram multiplicados o número de lâmpadas por luminárias, o número de luminárias por instalação e o seu preço, completando o estudo dos custos de manutenção.

As próximas tabelas, 12 e 13, contêm todos os elementos intervenientes neste processo e apresentam ainda os resultados obtidos.

**Tabela 12 – Tabela de registo dos valores associados ao modelo de cálculo dos custos de manutenção na sala 5**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Consumo anual (kWh)</b>	615.30	806.21	1285.28	427.64	330.73	519.35	1095.58
<b>Funcionamento mensal (h)</b>	4030.00	4960	6200	3255	2588.5	3906	6696
	2900.00	4060	5800	2030	1479	2436	5568
	2170.00	3100	6200	1395	930	1674	5208
	1500.00	1800	3600	900	555	1080	2880
	620.00	1240	2480	310	294.5	372	1488
	600.00	1200	2400	300	210	360	1440
	620.00	1240	2480	310	155	372	1488
	620.00	1240	2480	310	248	372	1488
	1200.00	1800	3600	600	465	720	2160
	2480.00	3100	6200	1550	1054	1860	5208
	3900.00	4800	6000	2700	2100	3240	5760
	6820.00	7440	9920	5425	4681	6510	8928
<b>Total anual (h)</b>	27460	35980	57360	19085	14760	22902	48312
<b>Total em 10 anos (h)</b>	274600	359800	573600	190850	147600	229020	483120
<b>Vida das lâmpadas (h)</b>	400000	400000	400000	400000	400000	480000	480000
<b>Substituições</b>	0	0	1	0	0	0	1
<b>Total em 20 anos (h)</b>	549200	719600	1147200	381700	295200	458040	966240
<b>Vida das lâmpadas (h)</b>	400000	400000	400000	400000	400000	480000	480000
<b>Substituições</b>	1	1	2	0	0	0	2

**Tabela 13 – Tabela dos custos de manutenção dos diferentes controlos na sala 5**

<b>Custos de manutenção</b>	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Curto prazo (€)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Médio prazo (€)</b>	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Longo prazo (€)</b>	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	96.00

Como se pode observar, dada a longevidade das lâmpadas instaladas, o custo de manutenção a curto prazo não implica substituições. A médio prazo, já existem custos associados às instalações mais dispendiosas. A longo prazo, só as instalações mais eficientes é que conseguem apresentar custos nulos, resultados de um maior controlo sobre os elementos instalados.

### ➤ **Custos de exploração**

Para se realizar este estudo, fez-se um levantamento dos preços de energia de anos anteriores em Portugal, junto da entidade responsável, a ERSE. Através da consulta da respectiva documentação,

determinou-se a tabela 14, que inclui os preços de energia do ano actual e dos 6 anos anteriores (EDP Serviço Universal S.A., 2007) (EDP Serviço Universal S.A., 2008) (ERSE, 2009) (ERSE, 2010) (ERSE, 2011) (ERSE, 2012) (ERSE, 2013).

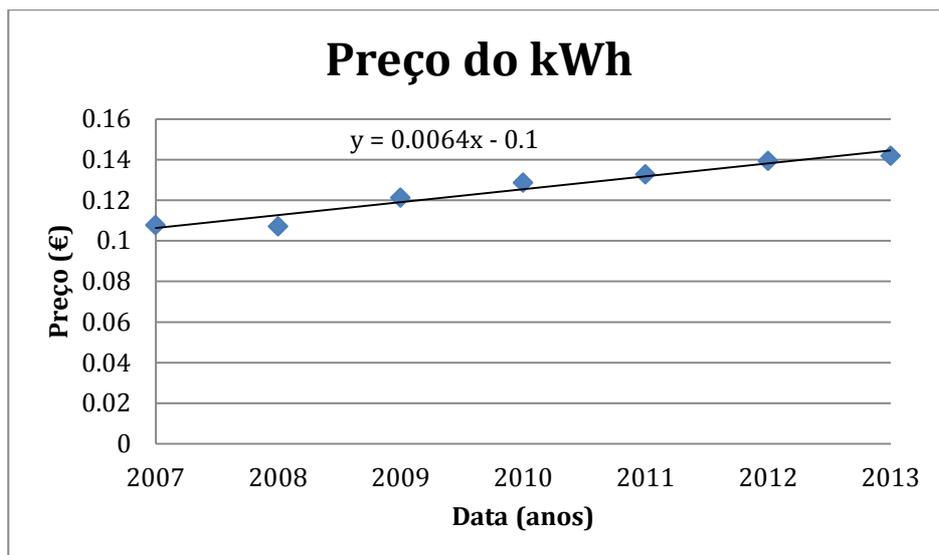
**Tabela 14 – Tabela de registo dos preços do kWh em Portugal, nos últimos anos**

<b>Data</b>	<b>Preço do kWh (€/kWh)</b>
<b>2007</b>	0.1077
<b>2008</b>	0.1071
<b>2009</b>	0.1211
<b>2010</b>	0.1285
<b>2011</b>	0.1326
<b>2012</b>	0.1393
<b>2013</b>	0.1418

Como foi explicado anteriormente na metodologia, para se efectuar uma previsão daqueles que serão os custos de exploração realistas de uma instalação, é preciso antecipar os valores que a energia terá nos próximos anos. Neste ponto, alguns especialistas, como Jorge Vasconcelos, ex-presidente da ERSE, afirmam que os preços da electricidade vão aumentar substancialmente até 2020-2030 (Ferreira L. , 2012). A opinião da União Europeia também sustenta este raciocínio, primeiro, porque o mercado da electricidade serve cerca de 500 milhões de utilizadores e não se encontra suficientemente desenvolvido, segundo, porque os preços são afixados pelos governos e, dada a crise actual, principalmente em Portugal, e as metas impostas para os próximos anos, os preços também serão inflacionados e, terceiro, porque a falta de condições favoráveis faz hesitar os investidores, que temem a entrada num mercado de quase-monopólio (União Europeia, 2013).

Sendo assim, determinou-se a curva de tendência, através de uma aproximação linear, a partir do gráfico obtido com os valores da tabela 14.

Os resultados foram o gráfico e a equação representados na Figura 28.



**Figura 28 - Gráfico dos preços do kWh em Portugal, nos últimos anos**

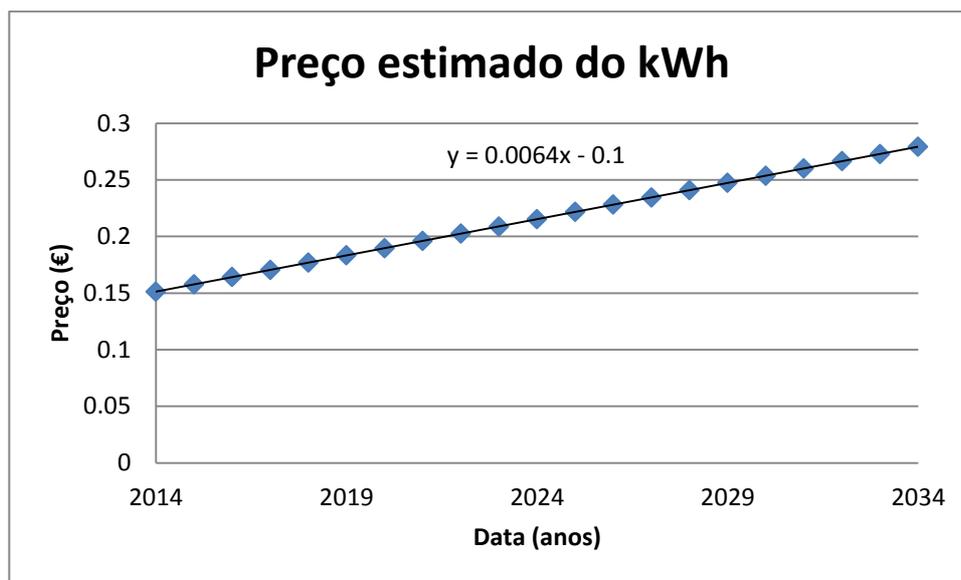
A razão pela qual se utilizou a aproximação linear e não as outras aproximações, foi por se adaptar facilmente ao estudo desejado, visto que o objectivo era obter uma recta que considerasse a evolução do preço ao longo dos anos, ou seja, que interagisse com duas variáveis apenas.

Utilizando a equação determinada, por substituição da variável das abcissas, calcularam-se os valores das ordenadas para os anos seguintes, obtendo-se assim uma nova tabela de valores de preços, juntamente com o respectivo gráfico. Apresenta-se em seguida essa tabela, tabela 15, e o gráfico, Figura 29.

**Tabela 15 – Tabela de registo dos preços estimados do kWh em Portugal, nos próximos anos**

Data	Estimativa linear do preço (€/kWh)
2014	0.1512
2015	0.1576
2016	0.164
2017	0.1704
2018	0.1768
2019	0.1832
2020	0.1896
2021	0.196
2022	0.2024
2023	0.2088
2024	0.2152
2025	0.2216
2026	0.228
2027	0.2344
2028	0.2408

<b>2029</b>	0.2472
<b>2030</b>	0.2536
<b>2031</b>	0.26
<b>2032</b>	0.2664
<b>2033</b>	0.2728
<b>2034</b>	0.2792



**Figura 29 - Gráfico dos preços estimados do kWh em Portugal, nos próximos anos**

Com os preços futuros estimados e os consumos energéticos das diferentes instalações calculados, determinaram-se os custos energéticos futuros e inseriram-se os mesmos numa nova tabela. Adicionaram-se ainda, à tabela, os valores calculados dos custos de exploração totais para os diferentes prazos estipulados. Segue a respectiva tabela, tabela 16.

**Tabela 16 – Tabela de registo dos valores associados ao cálculo dos custos de exploração**

	<b>4x1</b>	<b>2x2</b>	<b>1x4</b>	<b>PI</b>	<b>BREG</b>	<b>4x1 2L</b>	<b>1x4 2L</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	615.30	806.21	1285.28	427.64	330.73	519.35	1095.58
<b>Custo em 2014 (€)</b>	93.03	121.90	194.33	64.66	50.01	78.53	165.65
<b>Custo em 2015 (€)</b>	96.97	127.06	202.56	67.40	52.12	81.85	172.66
<b>Custo em 2016 (€)</b>	100.91	132.22	210.79	70.13	54.24	85.17	179.68
<b>Custo em 2017 (€)</b>	104.85	137.38	219.01	72.87	56.36	88.50	186.69
<b>Custo em 2018 (€)</b>	108.79	142.54	227.24	75.61	58.47	91.82	193.70
<b>Custo em 2019 (€)</b>	112.72	147.70	235.46	78.34	60.59	95.15	200.71
<b>Custo em 2020 (€)</b>	116.66	152.86	243.69	81.08	62.71	98.47	207.72
<b>Custo em 2021 (€)</b>	120.60	158.02	251.91	83.82	64.82	101.79	214.73

<b>Custo em 2022 (€)</b>	124.54	163.18	260.14	86.55	66.94	105.12	221.75
<b>Custo em 2023(€)</b>	128.48	168.34	268.37	89.29	69.06	108.44	228.76
<b>Custo em 2024 (€)</b>	132.41	173.50	276.59	92.03	71.17	111.76	235.77
<b>Custo em 2025 (€)</b>	136.35	178.66	284.82	94.77	73.29	115.09	242.78
<b>Custo em 2026 (€)</b>	140.29	183.82	293.04	97.50	75.41	118.41	249.79
<b>Custo em 2027 (€)</b>	144.23	188.98	301.27	100.24	77.52	121.74	256.80
<b>Custo em 2028 (€)</b>	148.16	194.14	309.49	102.98	79.64	125.06	263.82
<b>Custo em 2029 (€)</b>	152.10	199.30	317.72	105.71	81.76	128.38	270.83
<b>Custo em 2030 (€)</b>	156.04	204.46	325.95	108.45	83.87	131.71	277.84
<b>Custo em 2031 (€)</b>	159.98	209.61	334.17	111.19	85.99	135.03	284.85
<b>Custo em 2032 (€)</b>	163.92	214.77	342.40	113.92	88.11	138.36	291.86
<b>Custo em 2033 (€)</b>	167.85	219.93	350.62	116.66	90.22	141.68	298.87
<b>Custo em 2034 (€)</b>	171.79	225.09	358.85	119.40	92.34	145.00	305.89
<b>Custo de exploração a curto prazo (€)</b>	190.01	248.96	396.89	132.06	102.13	160.38	338.32
<b>Custo de exploração a médio prazo (€)</b>	1107.54	1451.18	2313.50	769.75	595.31	934.84	1972.05
<b>Custo de exploração a longo prazo (€)</b>	2780.67	3643.43	5808.43	1932.60	1494.64	2347.06	4951.15

O resultado foi esperado porque o cálculo dos custos de exploração resultam de uma proporcionalidade directa entre preço da energia e consumo energético. Assim, verifica-se que as instalações mais eficientes apresentam custos de exploração menores, face ao custos maiores apresentados por instalações mais gastadoras.

## 4.2 Implementação da extensão

Para se ampliar o projecto, como se pensou na sua fase de concepção, dividiu-se a extensão da metodologia em dois blocos. O primeiro serviu para analisar os diferentes resultados conseguidos em função de um conjunto de salas criadas (de diferentes medidas), de modo a se poder obter um modelo comparativo. O procedimento foi praticamente igual ao utilizado para uma sala. As diferenças principais estiveram na alteração das dimensões das salas, o que proporcionou resultados diferentes, e na quantidade de resultados obtidos, visto que se estudaram mais quatro salas, o que permitiu criar mais alguns gráficos, capazes de demonstrar numa mesma escala as variações que uma área diferente pode provocar.

O segundo bloco criado permitiu analisar o impacto que diferentes gastos energéticos provocam nos custos finais, por comparação com os valores do estudo conseguido para Portugal, onde a elevada

quantidade de luz natural causa uma demanda energética mais baixa. O raciocínio, por detrás deste método, é explicado em seguida.

A luz detectada diariamente, em condições climatéricas normais, apresenta sempre um gráfico típico, por causa do movimento da Terra em torno do Sol (da manhã para a tarde a luz tende a ser mais e da tarde para a noite menos). Como esses gráficos têm sempre essa disposição, pode-se afirmar que, a diferença entre a quantidade de luz natural de um país com mais luz para um com menos luz, pode ser determinada através de um simples factor multiplicativo. Visto que esse factor actua directamente na quantidade de luz calculada, então os resultados a nível de consumo energético serão o reflexo dessa diferença.

Ou seja, ficou aqui demonstrado que foi possível desenvolver um método eficaz, válido e prático, capaz de estender este estudo a situações com maiores demandas energéticas, que correspondem obviamente, a situações passíveis de serem detectadas em países cujos índices de luminosidade são inferiores aos de Portugal (como os países do norte da Europa, por exemplo) (K. Scharmer, 2000).

#### **4.2.1 Implementação da extensão do método em função da área**

Voltando ao Dialux, criaram-se os modelos das salas, através da caixa de ferramentas da iluminação interior. Utilizaram-se as seguintes medidas, para cada sala:

Sala 1:

- Comprimento: 10 m;
- Largura: 4 m;
- Altura: 2,80 m.

Sala 2:

- Comprimento: 15 m;
- Largura: 4 m;
- Altura: 2,80 m.

Sala 3:

- Comprimento: 20 m;
- Largura: 4 m;
- Altura: 2,80 m.

Sala 4:

- Comprimento: 35 m;
- Largura: 4 m;

- Altura: 2,80 m.

É de notar, que se manteve constante a largura da sala. Isto porque se quis manter o mais uniforme possível o formato das instalações criadas, sendo que o aumento das luminárias foi feito no número de colunas, e não de fileiras, para que as diferenças nos resultados obtidos fossem reduzidas.

Outra razão foi para que, no passo seguinte, o registo de luz natural na sala fosse igual ao registo feito anteriormente, visto que, nas simulações do Dialux, este devolve valores iguais de isoluxs se a largura se mantiver constante. Sendo assim, na fase de criação de cenários de luz natural para as diferentes salas, houve um aproveitamento dos resultados obtidos anteriormente, para a sala 5, pelas razões enunciadas acima. Em seguida, criaram-se as novas instalações eléctricas, realizaram-se os estudos luminotécnicos, para as novas salas, e registou-se o novo conjunto de dados.

No Dialux, duplicou-se cada uma das novas salas, para se criarem as duas instalações tipo. Uma com recurso às luminárias de uma lâmpada e outra com luminárias de duas lâmpadas. As luminárias foram as mesmas, utilizadas para a sala 5, com as mesmas características. As disposições ficaram assim:

Sala 1 (luminárias de uma lâmpada):

- Colunas: 5;
- Fileiras: 4.

Sala 2 (luminárias de uma lâmpada):

- Colunas: 6;
- Fileiras: 4.

Sala 3 (luminárias de uma lâmpada):

- Colunas: 8;
- Fileiras: 4.

Sala 4 (luminárias de uma lâmpada):

- Colunas: 14;
- Fileiras: 4.

Sala 1 (luminárias de duas lâmpadas):

- Colunas: 3;
- Fileiras: 4.

Sala 2 (luminárias de duas lâmpadas):

- Colunas: 4;
- Fileiras: 4.

Sala 3 (luminárias de duas lâmpadas):

- Colunas: 5;
- Fileiras: 4.

Sala 4 (luminárias de duas lâmpadas):

- Colunas: 8;
- Fileiras: 4.

Os restantes dados obtidos ficaram registados na tabela 17.

**Tabela 17 - Tabela de registo dos dados relativos ao cálculo luminotécnico das restantes salas**

Sala 300 lux	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Potência (W)	Potência específica (W/m <sup>2</sup> )	Comprimento de cabo (m)	Corrente no cabo inicial (A)	Comprimento mais desfavorável (m)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Luminárias
Sala 1	10	4	40	380	9.50	36	1.94	12	1.5	20
Sala 1 (2L)	10	4	40	456	11.40	31.33	2.33	11.33	1.5	12
Sala 2	15	4	60	456	7.60	54.25	2.33	16.75	1.5	24
Sala 2 (2L)	15	4	60	608	10.13	49.88	3.11	16.13	1.5	16
Sala 3	20	4	80	608	7.60	74.25	3.11	21.75	1.5	32
Sala 3 (2L)	20	4	80	760	9.50	69	3.89	21	1.5	20
Sala 4	35	4	140	1064	7.60	134.25	5.44	36.75	1.5	56
Sala 4 (2L)	35	4	140	1216	8.69	127.69	6.22	35.81	1.5	32

Para se determinarem as potências, as perdas e os consumos finais, para cada nova sala, criaram-se novas folhas de cálculo, iguais às desenvolvidas anteriormente, onde apenas foi necessária a alteração das variáveis principais. Terminada esta fase, e visto que a quantidade de informação obtida foi demasiada, rearranjaram-se os resultados num conjunto de tabelas mais compactas, representadas nas tabelas 18 à 25.

**Tabela 18 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 1**

Mês	Potência 4x1 (Wh)	Perdas 4x1 (Wh)	Total 4x1 (Wh)	Potência 2x2 (Wh)	Perdas 2x2 (Wh)	Total 2x2 (Wh)	Potência 1x4 (Wh)	Perdas 1x4 (Wh)	Total 1x4 (Wh)	Potência PI (Wh)	Perdas PI (Wh)	Total PI (Wh)
1	1235	40.55	1275.55	1520	49.91	1569.91	1900	62.38	1962.38	997.5	32.75	1030.25
2	950	31.19	981.19	1330	43.67	1373.67	1900	62.38	1962.38	665	21.83	686.83
3	665	21.83	686.83	950	31.19	981.19	1900	62.38	1962.38	427.5	14.04	441.54
4	475	15.60	490.60	570	18.72	588.72	1140	37.43	1177.43	285	9.36	294.36
5	190	6.24	196.24	380	12.48	392.48	760	24.95	784.95	95	3.12	98.12
6	190	6.24	196.24	380	12.48	392.48	760	24.95	784.95	95	3.12	98.12
7	190	6.24	196.24	380	12.48	392.48	760	24.95	784.95	95	3.12	98.12
8	190	6.24	196.24	380	12.48	392.48	760	24.95	784.95	95	3.12	98.12
9	380	12.48	392.48	570	18.72	588.72	1140	37.43	1177.43	190	6.24	196.24
10	760	24.95	784.95	950	31.19	981.19	1900	62.38	1962.38	475	15.60	490.60
11	1235	40.55	1275.55	1520	49.91	1569.91	1900	62.38	1962.38	855	28.07	883.07
12	2090	68.62	2158.62	2280	74.86	2354.86	3040	99.81	3139.81	1662.5	54.59	1717.09

**Tabela 19 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 1 (continuação)**

Mês	Potência BREG (Wh)	Perdas BREG (Wh)	Total BREG (Wh)	Potência 4x1 2L (Wh)	Perdas 4x1 2L (Wh)	Total 4x1 2L (Wh)	Potência 1x4 2L (Wh)	Perdas 1x4 2L (Wh)	Total 1x4 2L (Wh)
1	793.25	26.05	819.30	1197	41.04	1238.04	2052	70.36	2122.36
2	484.5	15.91	500.41	798	27.36	825.36	1824	62.54	1886.54
3	285	9.36	294.36	513	17.59	530.59	1596	54.73	1650.73
4	175.75	5.77	181.52	342	11.73	353.73	912	31.27	943.27
5	90.25	2.96	93.21	114	3.91	117.91	456	15.64	471.64
6	66.5	2.18	68.68	114	3.91	117.91	456	15.64	471.64
7	47.5	1.56	49.06	114	3.91	117.91	456	15.64	471.64
8	76	2.50	78.50	114	3.91	117.91	456	15.64	471.64
9	147.25	4.83	152.08	228	7.82	235.82	684	23.45	707.45
10	323	10.61	333.61	570	19.54	589.54	1596	54.73	1650.73
11	665	21.83	686.83	1026	35.18	1061.18	1824	62.54	1886.54
12	1434.5	47.10	1481.60	1995	68.41	2063.41	2736	93.82	2829.82

**Tabela 20 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 2**

Mês	Potência 4x1 (Wh)	Perdas 4x1 (Wh)	Total 4x1 (Wh)	Potência 2x2 (Wh)	Perdas 2x2 (Wh)	Total 2x2 (Wh)	Potência 1x4 (Wh)	Perdas 1x4 (Wh)	Total 1x4 (Wh)	Potência PI (Wh)	Perdas PI (Wh)	Total PI (Wh)
1	1482	87.99	1569.99	1824	108.30	1932.30	2280	135.37	2415.37	1197	71.07	1268.07
2	1140	67.69	1207.69	1596	94.76	1690.76	2280	135.37	2415.37	798	47.38	845.38
3	798	47.38	845.38	1140	67.69	1207.69	2280	135.37	2415.37	513	30.46	543.46
4	570	33.84	603.84	684	40.61	724.61	1368	81.22	1449.22	342	20.31	362.31
5	228	13.54	241.54	456	27.07	483.07	912	54.15	966.15	114	6.77	120.77
6	228	13.54	241.54	456	27.07	483.07	912	54.15	966.15	114	6.77	120.77
7	228	13.54	241.54	456	27.07	483.07	912	54.15	966.15	114	6.77	120.77
8	228	13.54	241.54	456	27.07	483.07	912	54.15	966.15	114	6.77	120.77
9	456	27.07	483.07	684	40.61	724.61	1368	81.22	1449.22	228	13.54	241.54
10	912	54.15	966.15	1140	67.69	1207.69	2280	135.37	2415.37	570	33.84	603.84
11	1482	87.99	1569.99	1824	108.30	1932.30	2280	135.37	2415.37	1026	60.92	1086.92
12	2508	148.91	2656.91	2736	162.45	2898.45	3648	216.60	3864.60	1995	118.45	2113.45

**Tabela 21 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 2 (continuação)**

Mês	Potência BREG (Wh)	Perdas BREG (Wh)	Total BREG (Wh)	Potência 4x1 2L (Wh)	Perdas 4x1 2L (Wh)	Total 4x1 2L (Wh)	Potência 1x4 2L (Wh)	Perdas 1x4 2L (Wh)	Total 1x4 2L (Wh)
1	951.9	56.52	1008.42	1596	116.17	1712.17	2736	199.15	2935.15
2	581.4	34.52	615.92	1064	77.45	1141.45	2432	177.02	2609.02
3	342	20.31	362.31	684	49.79	733.79	2128	154.89	2282.89
4	210.9	12.52	223.42	456	33.19	489.19	1216	88.51	1304.51
5	108.3	6.43	114.73	152	11.06	163.06	608	44.26	652.26
6	79.8	4.74	84.54	152	11.06	163.06	608	44.26	652.26
7	57	3.38	60.38	152	11.06	163.06	608	44.26	652.26
8	91.2	5.41	96.61	152	11.06	163.06	608	44.26	652.26
9	176.7	10.49	187.19	304	22.13	326.13	912	66.38	978.38
10	387.6	23.01	410.61	760	55.32	815.32	2128	154.89	2282.89
11	798	47.38	845.38	1368	99.57	1467.57	2432	177.02	2609.02
12	1721.4	102.21	1823.61	2660	193.62	2853.62	3648	265.53	3913.53

**Tabela 22 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 3**

Mês	Potência 4x1 (Wh)	Perdas 4x1 (Wh)	Total 4x1 (Wh)	Potência 2x2 (Wh)	Perdas 2x2 (Wh)	Total 2x2 (Wh)	Potência 1x4 (Wh)	Perdas 1x4 (Wh)	Total 1x4 (Wh)	Potência PI (Wh)	Perdas PI (Wh)	Total PI (Wh)
1	1976	214.10	2190.10	2432	263.51	2695.51	3040	329.39	3369.39	1596	172.93	1768.93
2	1520	164.69	1684.69	2128	230.57	2358.57	3040	329.39	3369.39	1064	115.29	1179.29
3	1064	115.29	1179.29	1520	164.69	1684.69	3040	329.39	3369.39	684	74.11	758.11
4	760	82.35	842.35	912	98.82	1010.82	1824	197.63	2021.63	456	49.41	505.41
5	304	32.94	336.94	608	65.88	673.88	1216	131.76	1347.76	152	16.47	168.47
6	304	32.94	336.94	608	65.88	673.88	1216	131.76	1347.76	152	16.47	168.47
7	304	32.94	336.94	608	65.88	673.88	1216	131.76	1347.76	152	16.47	168.47
8	304	32.94	336.94	608	65.88	673.88	1216	131.76	1347.76	152	16.47	168.47
9	608	65.88	673.88	912	98.82	1010.82	1824	197.63	2021.63	304	32.94	336.94
10	1216	131.76	1347.76	1520	164.69	1684.69	3040	329.39	3369.39	760	82.35	842.35
11	1976	214.10	2190.10	2432	263.51	2695.51	3040	329.39	3369.39	1368	148.22	1516.22
12	3344	362.33	3706.33	3648	395.27	4043.27	4864	527.02	5391.02	2660	288.21	2948.21

**Tabela 23 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 3 (continuação)**

Mês	Potência BREG (Wh)	Perdas BREG (Wh)	Total BREG (Wh)	Potência 4x1 2L (Wh)	Perdas 4x1 2L (Wh)	Total 4x1 2L (Wh)	Potência 1x4 2L (Wh)	Perdas 1x4 2L (Wh)	Total 1x4 2L (Wh)
1	1269.2	137.52	1406.72	1995	251.10	2246.10	3420	430.45	3850.45
2	775.2	83.99	859.19	1330	167.40	1497.40	3040	382.62	3422.62
3	456	49.41	505.41	855	107.61	962.61	2660	334.79	2994.79
4	281.2	30.47	311.67	570	71.74	641.74	1520	191.31	1711.31
5	144.4	15.65	160.05	190	23.91	213.91	760	95.66	855.66
6	106.4	11.53	117.93	190	23.91	213.91	760	95.66	855.66
7	76	8.23	84.23	190	23.91	213.91	760	95.66	855.66
8	121.6	13.18	134.78	190	23.91	213.91	760	95.66	855.66
9	235.6	25.53	261.13	380	47.83	427.83	1140	143.48	1283.48
10	516.8	56.00	572.80	950	119.57	1069.57	2660	334.79	2994.79
11	1064	115.29	1179.29	1710	215.22	1925.22	3040	382.62	3422.62
12	2295.2	248.69	2543.89	3325	418.49	3743.49	4560	573.93	5133.93

**Tabela 24 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 4**

Mês	Potência 4x1 (Wh)	Perdas 4x1 (Wh)	Total 4x1 (Wh)	Potência 2x2 (Wh)	Perdas 2x2 (Wh)	Total 2x2 (Wh)	Potência 1x4 (Wh)	Perdas 1x4 (Wh)	Total 1x4 (Wh)	Potência PI (Wh)	Perdas PI (Wh)	Total PI (Wh)
1	3458	1185.54	4643.54	4256	1459.12	5715.12	5320	1823.90	7143.90	2793	957.55	3750.55
2	2660	911.95	3571.95	3724	1276.73	5000.73	5320	1823.90	7143.90	1862	638.37	2500.37
3	1862	638.37	2500.37	2660	911.95	3571.95	5320	1823.90	7143.90	1197	410.38	1607.38
4	1330	455.98	1785.98	1596	547.17	2143.17	3192	1094.34	4286.34	798	273.59	1071.59
5	532	182.39	714.39	1064	364.78	1428.78	2128	729.56	2857.56	266	91.20	357.20
6	532	182.39	714.39	1064	364.78	1428.78	2128	729.56	2857.56	266	91.20	357.20
7	532	182.39	714.39	1064	364.78	1428.78	2128	729.56	2857.56	266	91.20	357.20
8	532	182.39	714.39	1064	364.78	1428.78	2128	729.56	2857.56	266	91.20	357.20
9	1064	364.78	1428.78	1596	547.17	2143.17	3192	1094.34	4286.34	532	182.39	714.39
10	2128	729.56	2857.56	2660	911.95	3571.95	5320	1823.90	7143.90	1330	455.98	1785.98
11	3458	1185.54	4643.54	4256	1459.12	5715.12	5320	1823.90	7143.90	2394	820.76	3214.76
12	5852	2006.29	7858.29	6384	2188.68	8572.68	8512	2918.24	11430.24	4655	1595.91	6250.91

**Tabela 25 - Tabela de registo dos valores de potência, de perdas e totais das instalações na sala 4 (continuação)**

Mês	Potência BREG (Wh)	Perdas BREG (Wh)	Total BREG (Wh)	Potência 4x1 2L (Wh)	Perdas 4x1 2L (Wh)	Total 4x1 2L (Wh)	Potência 1x4 2L (Wh)	Perdas 1x4 2L (Wh)	Total 1x4 2L (Wh)
1	2221.1	761.48	2982.58	3192	1189.56	4381.56	5472	2039.25	7511.25
2	1356.6	465.09	1821.69	2128	793.04	2921.04	4864	1812.67	6676.67
3	798	273.59	1071.59	1368	509.81	1877.81	4256	1586.08	5842.08
4	492.1	168.71	660.81	912	339.87	1251.87	2432	906.33	3338.33
5	252.7	86.64	339.34	304	113.29	417.29	1216	453.17	1669.17
6	186.2	63.84	250.04	304	113.29	417.29	1216	453.17	1669.17
7	133	45.60	178.60	304	113.29	417.29	1216	453.17	1669.17
8	212.8	72.96	285.76	304	113.29	417.29	1216	453.17	1669.17
9	412.3	141.35	553.65	608	226.58	834.58	1824	679.75	2503.75
10	904.4	310.06	1214.46	1520	566.46	2086.46	4256	1586.08	5842.08
11	1862	638.37	2500.37	2736	1019.62	3755.62	4864	1812.67	6676.67
12	4016.6	1377.05	5393.65	5320	1982.60	7302.60	7296	2719.00	10015.00

Verificam-se os resultados obtidos nas tabelas acima, onde se consultam os valores de potência, perdas e totais obtidos, para as diferentes salas.

Através da recolha dos dados existentes nas folhas de cálculo mencionadas anteriormente, procedeu-se à multiplicação dos valores totais diários pelo número de dias de cada mês para se efectuar um registo mensal.

As tabelas seguintes, 26 à 29, apresentam os valores de consumo mensal, resultado do procedimento descrito acima.

**Tabela 26 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 1**

Mês	Consumos 4x1 (Wh)	Consumos 2x2 (Wh)	Consumos 1x4 (Wh)	Consumos PI (Wh)	Consumos BREG (Wh)	Consumos 4x1 2L (Wh)	Consumos 1x4 2L (Wh)
1	39542.04	48667.12	60833.90	31937.80	25398.16	38379.37	65793.21
2	28454.57	39836.40	56909.14	19918.20	14511.83	23935.52	54709.77
3	21291.87	30416.95	60833.90	13687.63	9125.09	16448.30	51172.50
4	14717.88	17661.46	35322.91	8830.73	5445.62	10611.81	28298.16

5	6083.39	12166.78	24333.56	3041.70	2889.61	3655.18	14620.71
6	5887.15	11774.30	23548.61	2943.58	2060.50	3537.27	14149.08
7	6083.39	12166.78	24333.56	3041.70	1520.85	3655.18	14620.71
8	6083.39	12166.78	24333.56	3041.70	2433.36	3655.18	14620.71
9	11774.30	17661.46	35322.91	5887.15	4562.54	7074.54	21223.62
10	24333.56	30416.95	60833.90	15208.48	10341.76	18275.89	51172.50
11	38266.49	47097.22	58871.52	26492.18	20605.03	31835.43	56596.31
12	66917.30	73000.69	97334.25	53229.67	45929.60	63965.62	87724.28

**Tabela 27 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 2**

Mês	Consumos 4x1 (Wh)	Consumos 2x2 (Wh)	Consumos 1x4 (Wh)	Consumos PI (Wh)	Consumos BREG (Wh)	Consumos 4x1 2L (Wh)	Consumos 1x4 2L (Wh)
1	48669.77	59901.26	74876.57	39310.20	31260.97	53077.29	90989.64
2	35022.91	49032.08	70045.83	24516.04	17861.69	33101.97	75661.64
3	26206.80	37438.29	74876.57	16847.23	11231.49	22747.41	70769.72
4	18115.30	21738.36	43476.72	10869.18	6702.66	14675.75	39135.33
5	7487.66	14975.31	29950.63	3743.83	3556.64	5054.98	20219.92
6	7246.12	14492.24	28984.48	3623.06	2536.14	4891.92	19567.67
7	7487.66	14975.31	29950.63	3743.83	1871.91	5054.98	20219.92
8	7487.66	14975.31	29950.63	3743.83	2995.06	5054.98	20219.92
9	14492.24	21738.36	43476.72	7246.12	5615.74	9783.83	29351.50
10	29950.63	37438.29	74876.57	18719.14	12729.02	25274.90	70769.72
11	47099.78	57968.96	72461.20	32607.54	25361.42	44027.25	78270.66
12	82364.23	89851.89	119802.52	65517.00	56531.81	88462.15	121319.52

**Tabela 28 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 3**

Mês	Consumos 4x1 (Wh)	Consumos 2x2 (Wh)	Consumos 1x4 (Wh)	Consumos PI (Wh)	Consumos BREG (Wh)	Consumos 4x1 2L (Wh)	Consumos 1x4 2L (Wh)
1	67893.16	83560.81	104451.02	54836.78	43608.30	69628.97	119363.94
2	48856.12	68398.57	97712.24	34199.28	24916.62	43424.52	99256.04
3	36557.86	52225.51	104451.02	23501.48	15667.65	29840.99	92838.62
4	25270.41	30324.49	60648.98	15162.24	9350.05	19252.25	51339.33
5	10445.10	20890.20	41780.41	5222.55	4961.42	6631.33	26525.32
6	10108.16	20216.33	40432.65	5054.08	3537.86	6417.42	25669.66
7	10445.10	20890.20	41780.41	5222.55	2611.28	6631.33	26525.32

8	10445.10	20890.20	41780.41	5222.55	4178.04	6631.33	26525.32
9	20216.33	30324.49	60648.98	10108.16	7833.83	12834.83	38504.50
10	41780.41	52225.51	104451.02	26112.75	17756.67	33156.65	92838.62
11	65703.06	80865.30	101081.63	45486.73	35378.57	57756.75	102678.66
12	114896.12	125341.22	167121.63	91394.64	78860.52	116048.28	159151.92

**Tabela 29 - Tabela de registo dos valores de consumo energético das instalações na sala 4**

Mês	Consumos 4x1 (Wh)	Consumos 2x2 (Wh)	Consumos 1x4 (Wh)	Consumos PI (Wh)	Consumos BREG (Wh)	Consumos 4x1 2L (Wh)	Consumos 1x4 2L (Wh)
1	143949.60	177168.74	221460.92	116266.98	92459.94	135828.41	232848.71
2	103586.56	145021.19	207173.12	72510.59	52829.15	84710.19	193623.30
3	77511.32	110730.46	221460.92	49828.71	33219.14	58212.18	181104.55
4	53579.26	64295.11	128590.21	32147.55	19824.32	37556.24	100149.98
5	22146.09	44292.18	88584.37	11073.05	10519.39	12936.04	51744.16
6	21431.70	42863.40	85726.81	10715.85	7501.10	12518.75	50074.99
7	22146.09	44292.18	88584.37	11073.05	5536.52	12936.04	51744.16
8	22146.09	44292.18	88584.37	11073.05	8858.44	12936.04	51744.16
9	42863.40	64295.11	128590.21	21431.70	16609.57	25037.50	75112.49
10	88584.37	110730.46	221460.92	55365.23	37648.36	64680.20	181104.55
11	139306.06	171453.62	214317.02	96442.66	75010.96	112668.73	200299.97
12	243607.02	265753.11	354337.48	193778.31	167203.00	226380.69	310464.95

Com recurso às tabelas anteriores, construíram-se os gráficos seguintes, Figura 30 à 33, que representam os consumos totais (potência eléctrica somada às perdas) em função de cada mês.

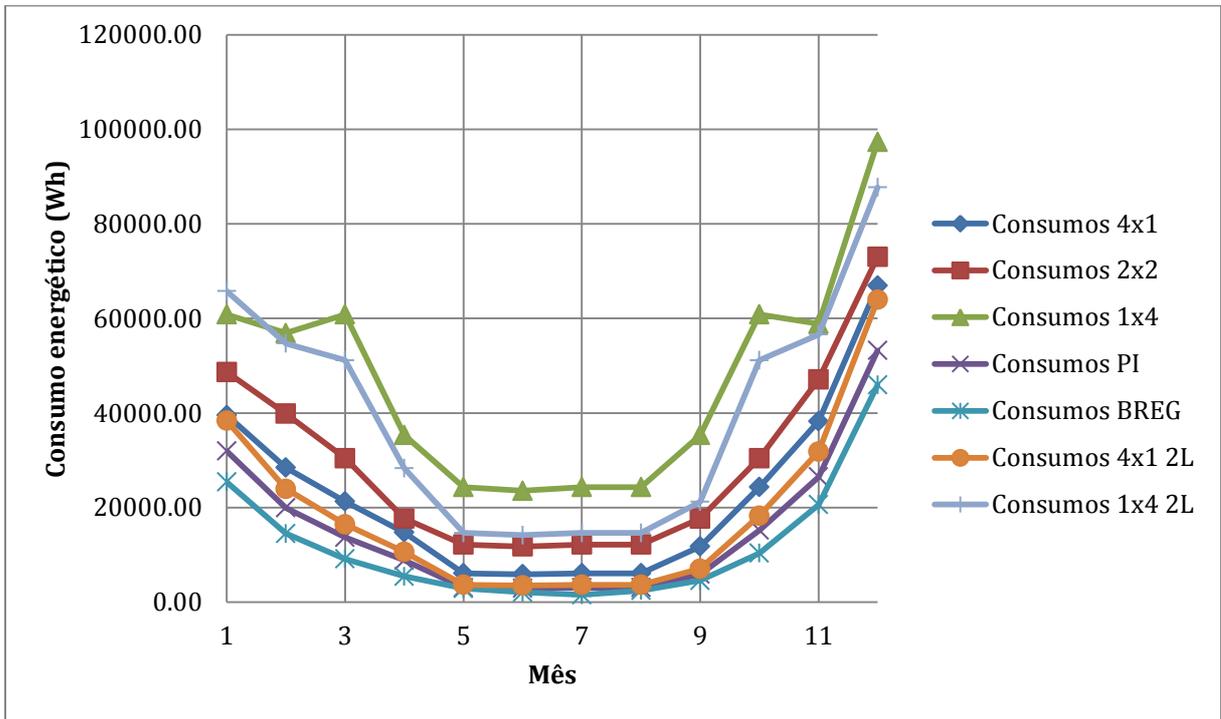


Figura 30 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 1

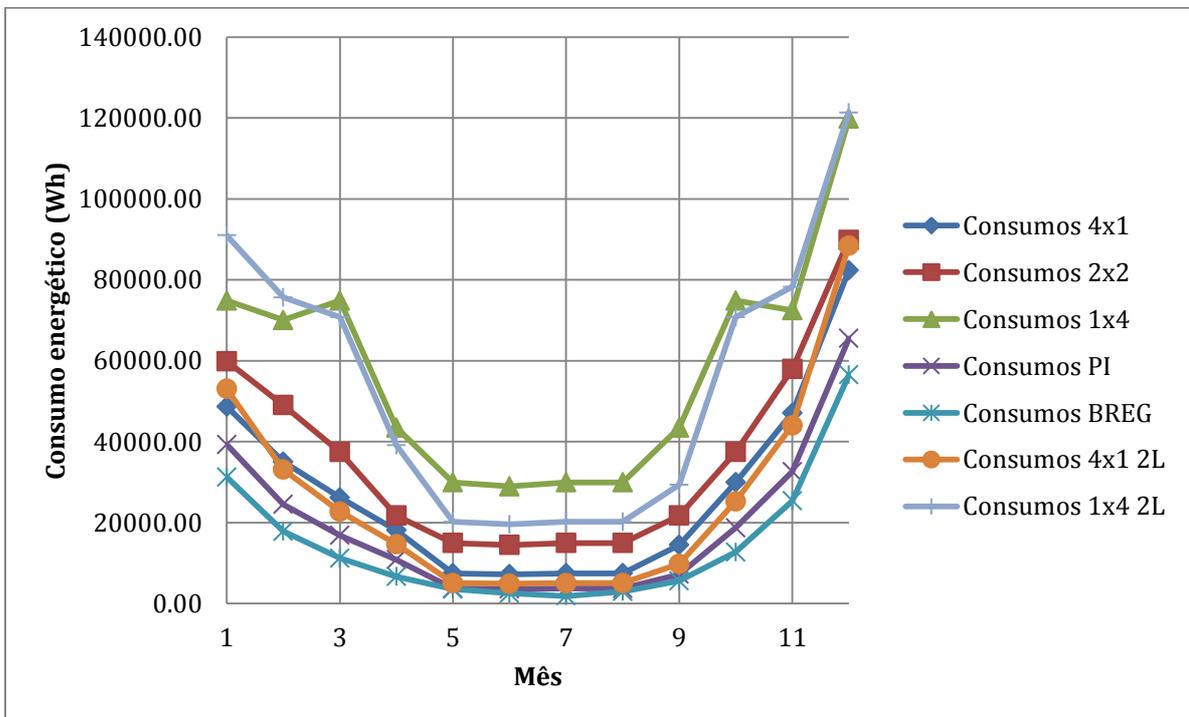
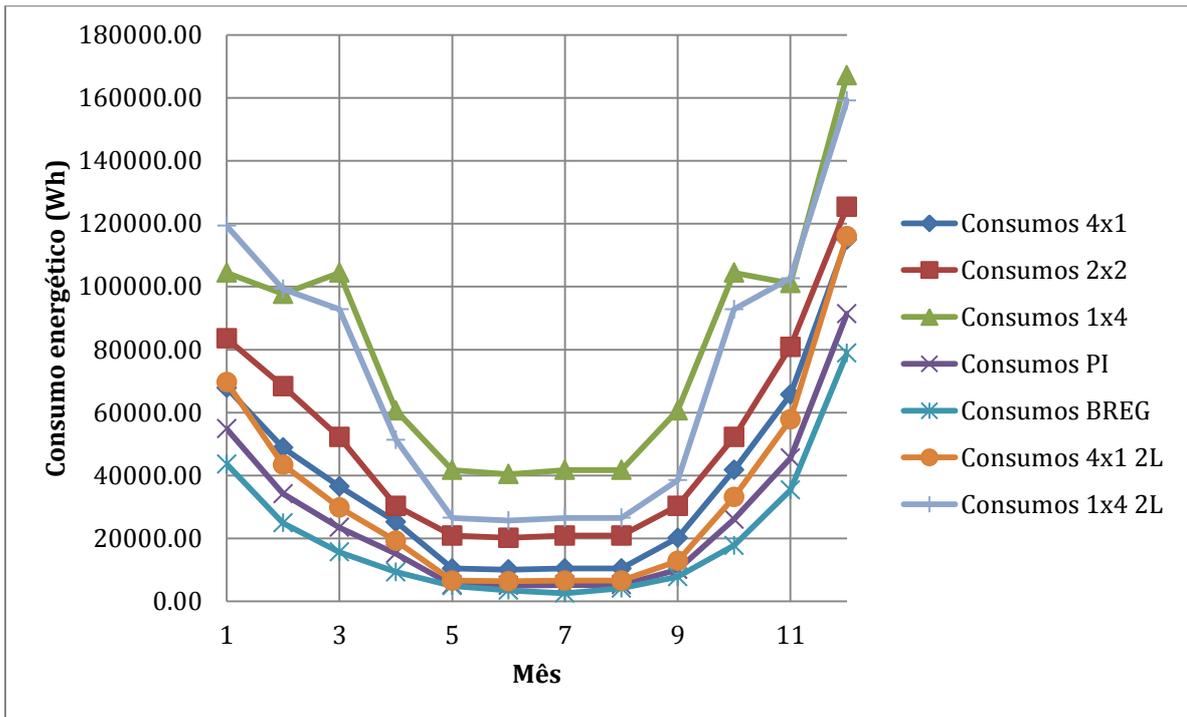
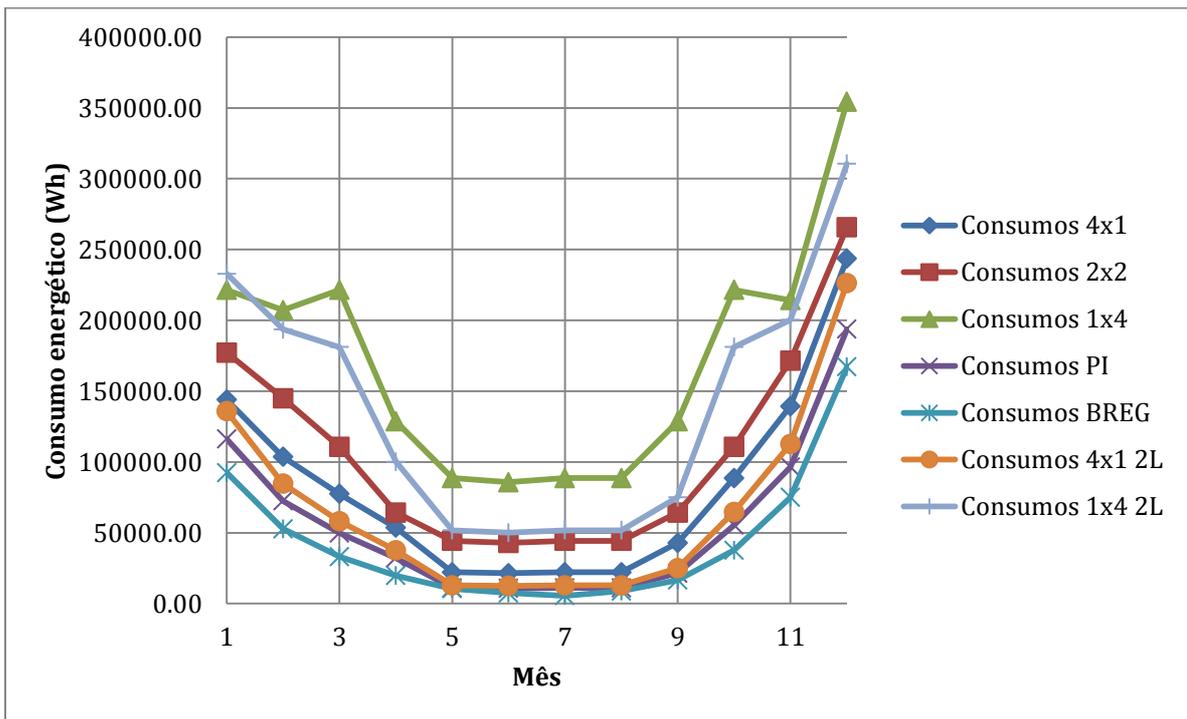


Figura 31 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 2



**Figura 32 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 3**



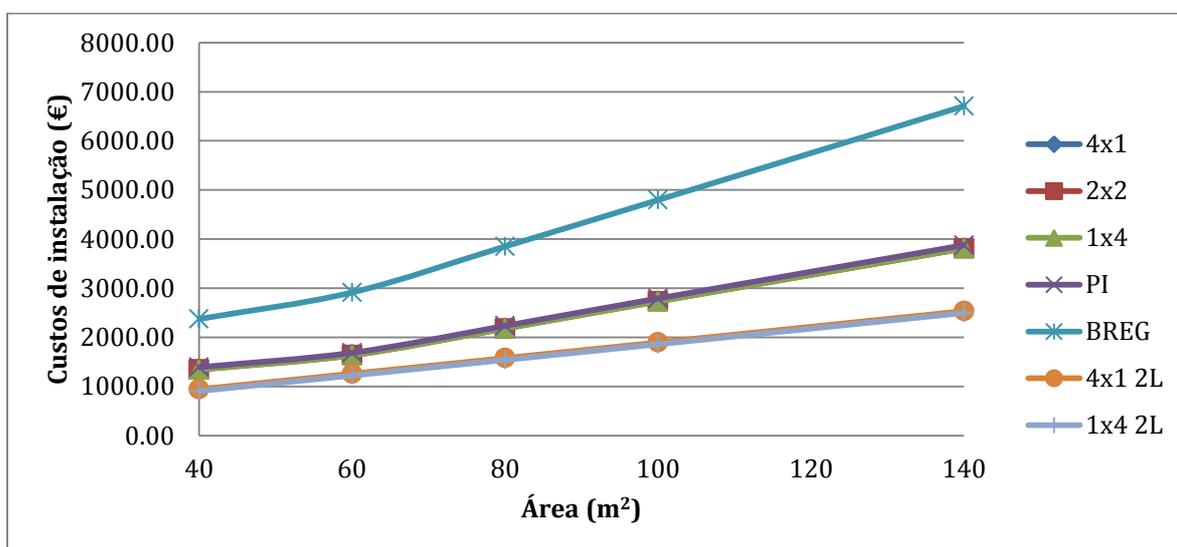
**Figura 33 - Gráfico dos consumos energéticos registados ao longo dos meses na sala 4**

Por consulta dos gráficos acima, observa-se que o tamanho da sala não tem influência nos resultados relativos à eficiência de cada tipo de controlo. Os mais eficientes e menos eficientes continuam a ser os mesmos mencionados anteriormente.

Seguidamente, replicou-se todo o modelo implementado anteriormente para a obtenção dos custos de instalação, manutenção e exploração. Os resultados são apresentados a seguir, devidamente organizados nas respectivas tabelas, tabela 30 à 35, e gráficos, Figura 34 à 39, num formato mais compacto. Os dados da sala 5 foram também adicionados para se criar o efeito comparativo.

**Tabela 30 - Tabela dos custos de instalação dos diferentes controlos nas várias salas**

Custos de instalação	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	1358.02	1345.64	1343.06	1390.76	2372.57	943.24	906.12
Sala 2 (€)	1649.26	1636.89	1634.30	1686.05	2914.57	1259.55	1222.43
Sala 3 (€)	2192.58	2180.20	2177.62	2233.81	3849.86	1577.35	1540.23
Sala 5 (€)	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
Sala 4 (€)	3822.52	3810.15	3807.57	3877.08	6708.58	2534.22	2497.10



**Figura 34 - Gráfico dos custos de instalação dos diferentes controlos em função da área**

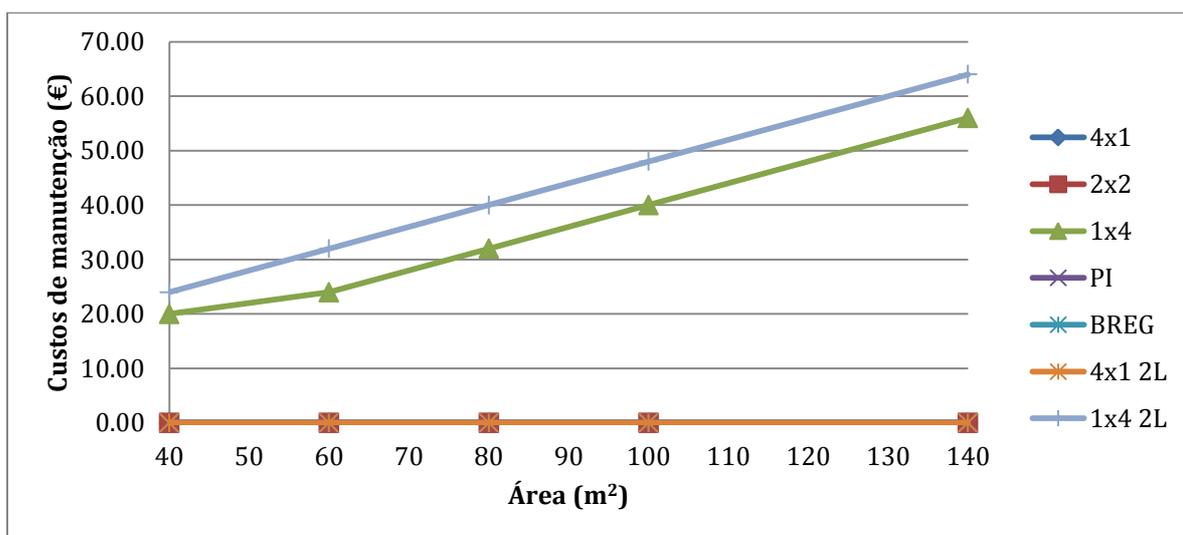
Ao observarem-se a tabela e o gráfico acima, verifica-se que a área já influencia o custo da sala. Como era esperado, salas maiores apresentam custos maiores, mas também se conclui que à medida que a sala aumenta, o custo tende a subir mais rapidamente, facto observável através dos diferentes declives registados no gráfico (para a mesma linha, o declive abaixo dos 60 m<sup>2</sup> é inferior ao registado acima deste valor). Isto implica que, na escolha do tipo de instalação a desenvolver-se, se tenha em conta que, para salas maiores, as diferenças entre os custos de instalação serão maiores e que, para salas pequenas, a discrepância será menor.

**Tabela 31 - Tabela dos custos de manutenção a médio prazo para todas as salas**

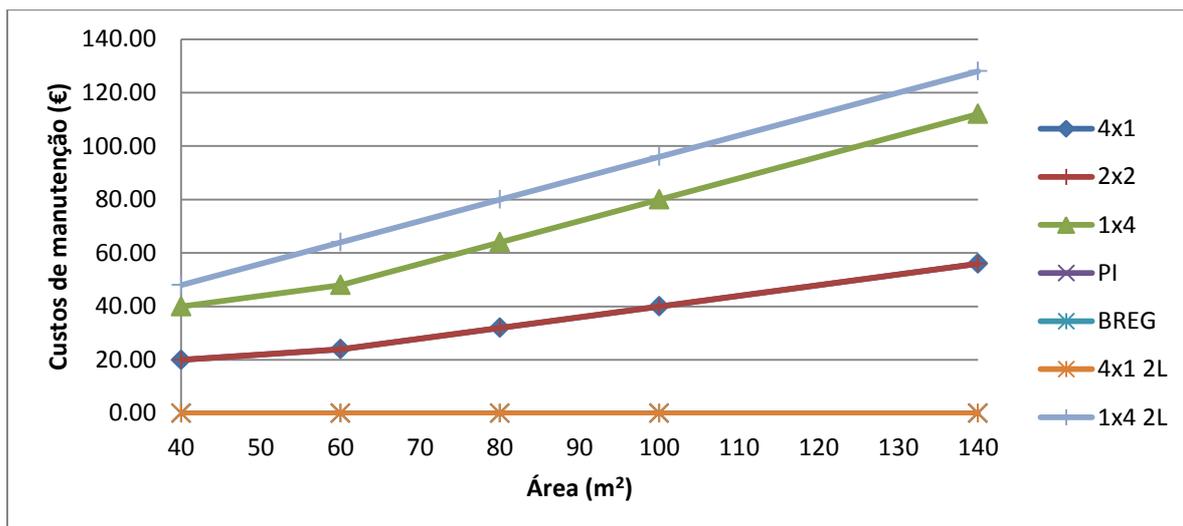
Custos de manutenção a médio prazo	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	24.00
Sala 2 (€)	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	32.00
Sala 3 (€)	0.00	0.00	32.00	0.00	0.00	0.00	40.00
Sala 5 (€)	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 4 (€)	0.00	0.00	56.00	0.00	0.00	0.00	64.00

**Tabela 32 - Tabela dos custos de manutenção a longo prazo para todas as salas**

Custos de manutenção a longo prazo	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	20.00	20.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 2 (€)	24.00	24.00	48.00	0.00	0.00	0.00	64.00
Sala 3 (€)	32.00	32.00	64.00	0.00	0.00	0.00	80.00
Sala 5 (€)	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	96.00
Sala 4 (€)	56.00	56.00	112.00	0.00	0.00	0.00	128.00



**Figura 35 - Gráfico dos custos de manutenção a médio prazo em função da área**



**Figura 36 - Gráfico dos custos de manutenção a longo prazo em função da área**

Fica registado mais uma vez, que as instalações mais eficientes apresentam custos de manutenção menores ou nulos. A área da sala não tem influência sobre este ponto.

**Tabela 33 - Tabela dos custos de exploração a curto prazo para todas as salas**

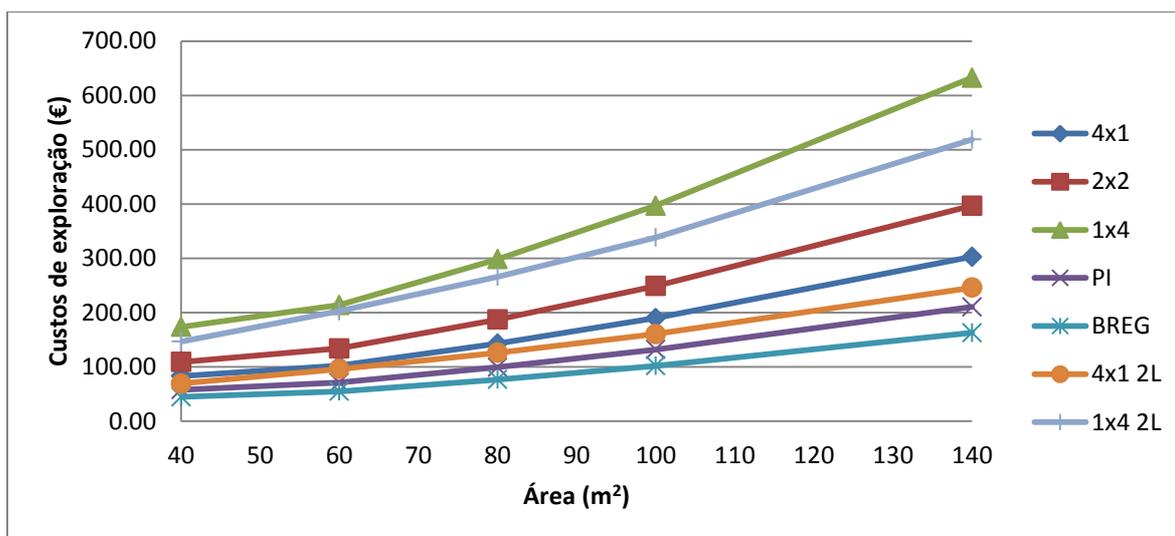
Custos de exploração a curto prazo	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	83.20	109.02	173.80	57.83	44.72	69.49	146.59
Sala 2 (€)	102.41	134.18	213.91	71.17	55.05	96.10	202.73
Sala 3 (€)	142.86	187.18	298.41	99.29	76.79	126.07	265.94
Sala 5 (€)	190.01	248.96	396.89	132.06	102.13	160.38	338.32
Sala 4 (€)	302.89	396.87	632.69	210.51	162.81	245.93	518.79

**Tabela 34 - Tabela dos custos de exploração a médio prazo para todas as salas**

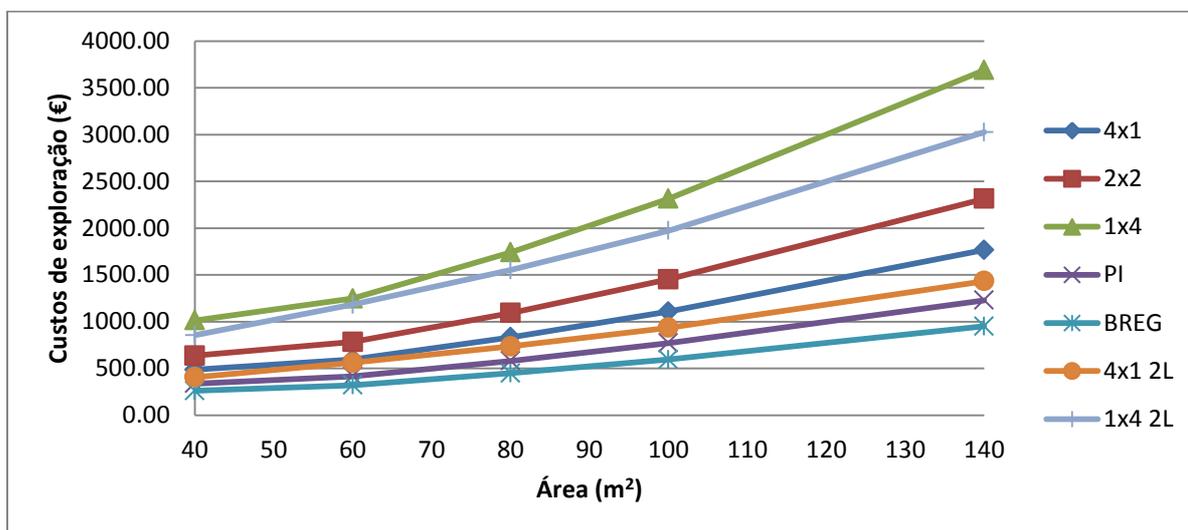
Custos de exploração a médio prazo	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	484.98	635.46	1013.06	337.07	260.68	405.05	854.46
Sala 2 (€)	596.94	782.15	1246.91	414.88	320.86	560.17	1181.69
Sala 3 (€)	832.71	1091.08	1739.41	578.74	447.59	734.86	1550.19
Sala 5 (€)	1107.54	1451.18	2313.50	769.75	595.31	934.84	1972.05
Sala 4 (€)	1765.54	2313.34	3687.97	1227.07	949.00	1433.52	3024.03

**Tabela 35 - Tabela dos custos de exploração a longo prazo para todas as salas**

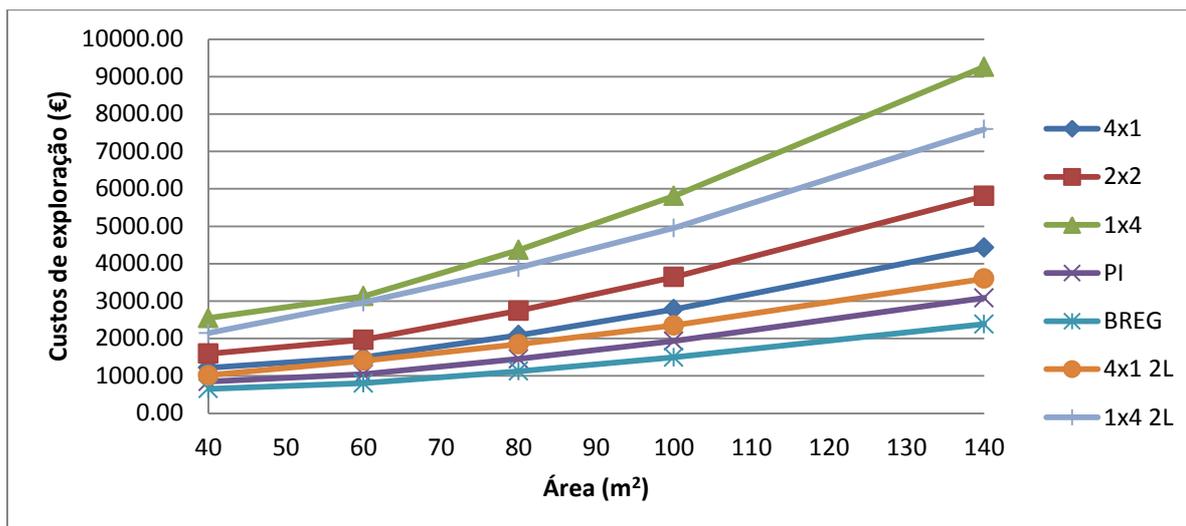
Custos de exploração a longo prazo	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 1 (€)	1217.63	1595.43	2543.46	846.27	654.49	1016.95	2145.27
Sala 2 (€)	1498.71	1963.71	3130.58	1041.62	805.57	1406.41	2966.83
Sala 3 (€)	2090.66	2739.33	4367.09	1453.03	1123.75	1844.98	3892.01
Sala 5 (€)	2780.67	3643.43	5808.43	1932.60	1494.64	2347.06	4951.15
Sala 4 (€)	4432.69	5808.02	9259.26	3080.77	2382.61	3599.10	7592.33



**Figura 37 - Gráfico dos custos de exploração a curto prazo em função da área**



**Figura 38 - Gráfico dos custos de exploração a médio prazo em função da área**



**Figura 39 - Gráfico dos custos de exploração a longo prazo em função da área**

Em relação aos custos de exploração, os resultados são semelhantes aos obtidos anteriormente, visto que a área pouca influência tem aqui. As instalações mais eficientes apresentam menores custos, ao contrário das mais dispendiosas. Com o aumento da área da sala, as diferenças entre os vários custos obtidos torna-se mais acentuada.

Para terminar este bloco, criaram-se tabelas conjuntas, com a informação de todas as salas dimensionadas neste projecto (incluindo a sala 5), juntamente com os respectivos gráficos comparativos, para uma melhor análise dos resultados obtidos.

Seguem essas tabelas, tabela 36 à 40, e gráficos, Figura 40, 41 e 42.

**Tabela 36 – Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 1**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	1358.02	1345.64	1343.06	1390.76	2372.57	943.24	906.12
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	24.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	20.00	20.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	83.20	109.02	173.80	57.83	44.72	69.49	146.59
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	484.98	635.46	1013.06	337.07	260.68	405.05	854.46
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	1217.63	1595.43	2543.46	846.27	654.49	1016.95	2145.27
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	1441.22	1454.66	1516.86	1448.58	2417.29	1012.73	1052.70
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	1843.00	1981.10	2376.12	1727.83	2633.25	1348.29	1784.58
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	2595.65	2961.07	3926.52	2237.03	3027.06	1960.19	3099.39

**Tabela 37 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 2**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	1649.26	1636.89	1634.30	1686.05	2914.57	1259.55	1222.43
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	32.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	24.00	24.00	48.00	0.00	0.00	0.00	64.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	102.41	134.18	213.91	71.17	55.05	96.10	202.73
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	596.94	782.15	1246.91	414.88	320.86	560.17	1181.69
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	1498.71	1963.71	3130.58	1041.62	805.57	1406.41	2966.83
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	1751.67	1771.07	1848.22	1757.23	2969.62	1355.65	1425.16
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	2246.20	2419.03	2905.22	2100.93	3235.43	1819.72	2436.12
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	3171.97	3624.60	4812.89	2727.67	3720.14	2665.96	4253.26

**Tabela 38 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 3**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2192.58	2180.20	2177.62	2233.81	3849.86	1577.35	1540.23
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	0.00	32.00	0.00	0.00	0.00	40.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	32.00	32.00	64.00	0.00	0.00	0.00	80.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	142.86	187.18	298.41	99.29	76.79	126.07	265.94
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	832.71	1091.08	1739.41	578.74	447.59	734.86	1550.19
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	2090.66	2739.33	4367.09	1453.03	1123.75	1844.98	3892.01
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	2335.43	2367.38	2476.03	2333.10	3926.65	1703.42	1806.17
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	3025.29	3271.28	3949.03	2812.55	4297.45	2312.21	3130.42
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	4315.23	4951.53	6608.71	3686.84	4973.61	3422.34	5512.24

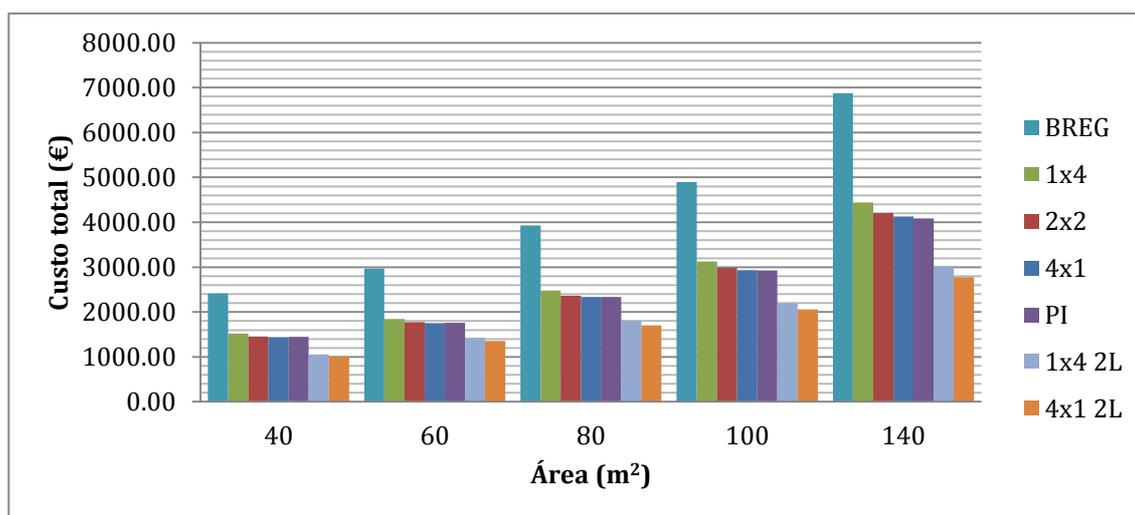
**Tabela 39 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 5**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0	0	40	0	0	0	48
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	40	40	80	0	0	0	96
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	190.01	248.96	396.89	132.06	102.13	160.38	338.32
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	1107.54	1451.18	2313.50	769.75	595.31	934.84	1972.05
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	2780.67	3643.43	5808.43	1932.60	1494.64	2347.06	4951.15
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	2935.54	2982.11	3127.47	2924.16	4897.87	2056.30	2197.12

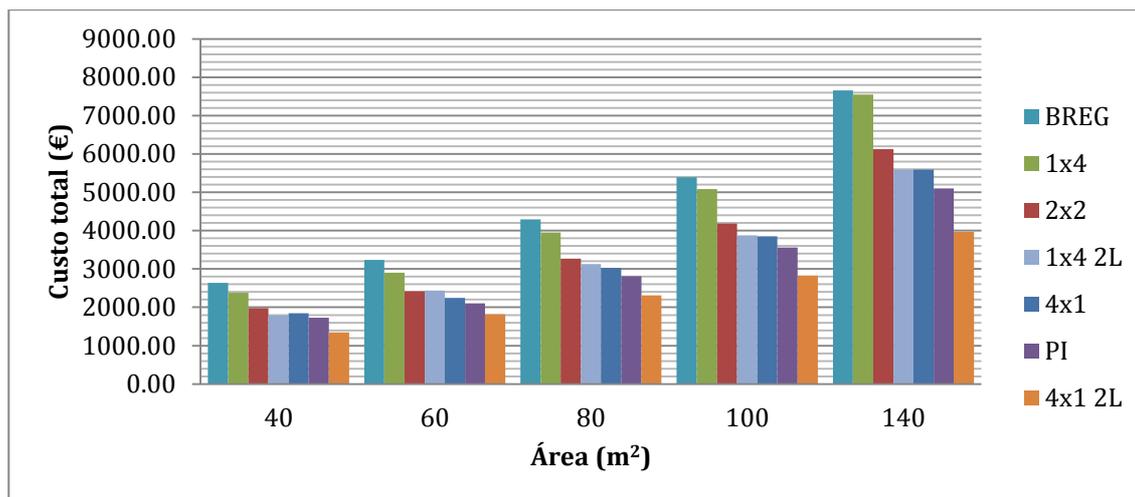
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	3853.07	4184.34	5084.07	3561.86	5391.06	2830.76	3878.85
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	5566.20	6416.59	8619.00	4724.70	6290.38	4242.99	6905.96

**Tabela 39 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente à sala 4**

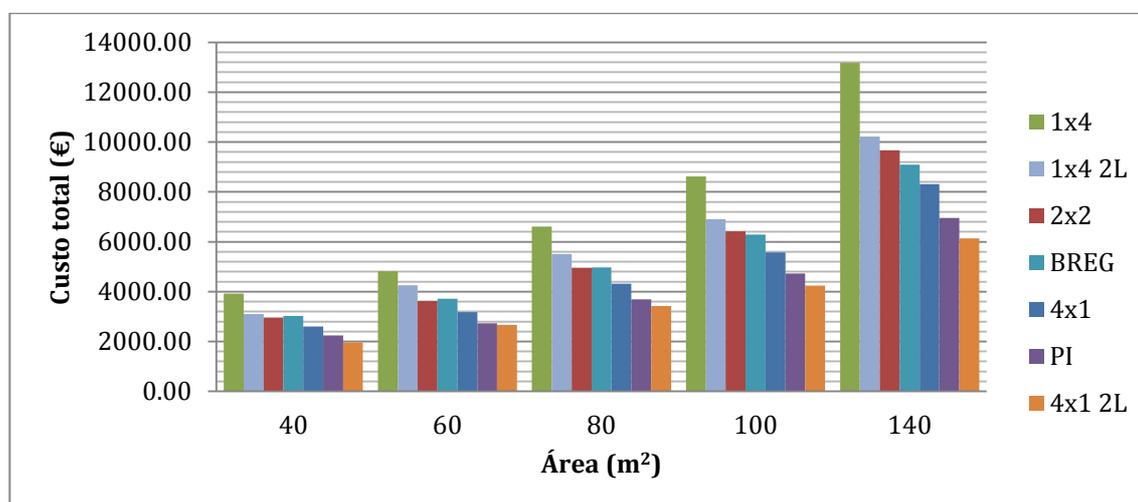
	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	3822.52	3810.15	3807.57	3877.08	6708.58	2534.22	2497.10
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	0.00	56.00	0.00	0.00	0.00	64.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	56.00	56.00	112.00	0.00	0.00	0.00	128.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	302.89	396.87	632.69	210.51	162.81	245.93	518.79
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	1765.54	2313.34	3687.97	1227.07	949.00	1433.52	3024.03
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	4432.69	5808.02	9259.26	3080.77	2382.61	3599.10	7592.33
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	4125.41	4207.02	4440.26	4087.59	6871.39	2780.15	3015.89
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	5588.07	6123.49	7551.53	5104.15	7657.58	3967.74	5585.13
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	8311.21	9674.17	13178.82	6957.85	9091.19	6133.32	10217.43



**Figura 40 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a curto prazo em função da área**



**Figura 41 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a médio prazo em função da área**



**Figura 42 - Gráfico comparativo dos diferentes custos totais a longo prazo em função da área**

Fizeram-se duas análises importantes, relativamente aos gráficos anteriores. A primeira foi feita gráfico a gráfico, enquanto que a segunda foi uma comparação entre os três gráficos.

Na primeira, é observável que, para salas de menores dimensões, a distinção existente nos custos totais é pequena. Para curto prazo, a instalação BREG é o pior investimento, enquanto que os melhores investimentos pertencem às instalações de luminárias de duas lâmpadas. À medida que as salas ficam maiores, observam-se melhor as diferenças nos custos totais, entre os tipos de instalação. Estas observações, relativas às variações nos custos entre salas pequenas e grandes, são válidas para o segundo e terceiro gráfico. Já os melhores e piores investimentos alteram-se, à medida que se altera também o prazo de investimento.

A segunda análise reflecte o que foi dito na frase anterior. Pode-se observar, através da análise em simultâneo dos três gráficos, que, independentemente da área da sala, os melhores e piores investimentos vão-se alterar, apenas por influência do tempo de investimento e retorno.

#### 4.2.2 Implementação da extensão do método em função da quantidade de luz natural

Inicialmente, criou-se uma cópia da folha de cálculo com os resultados obtidos para a sala 5. Seguidamente, criaram-se as novas tabelas de luz natural, através da redução das primeiras em 20%, 30%, 40%, 50% e 60%.

A obtenção dos novos resultados foi um processo automático, visto que todas as folhas de cálculo encontravam-se já conectadas. As novas tabelas afectaram imediatamente os valores dos consumos diários, mensais e anuais. Os resultados foram registados na tabela 41.

**Tabela 40 – Tabela de registo dos gastos energéticos para os diferentes cenários de luz**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Gasto energético anual -20% luz (kWh)	840.72	1120.36	1748.66	581.13	441.72	705.76	1476.01
Gasto energético anual -30% luz (kWh)	976.95	1284.38	2022.03	683.53	519.54	830.12	1725.28
Gasto energético anual -40% luz (kWh)	1236.88	1667.10	2596.55	850.91	647.56	1033.40	2156.87
Gasto energético anual -50% luz (kWh)	1557.30	2062.81	3197.06	1086.30	823.17	1319.27	2721.81
Gasto energético anual -60% luz (kWh)	2015.30	2554.87	3825.36	1428.01	1085.36	1734.26	3384.71

Entende-se que a mesma sala ficou com diferentes demandas energéticas, como se num local diferente estivesse, onde o registo de presença de luz natural é diferente do observado para Portugal. Ainda nas novas folhas de cálculo e recorrendo aos novos valores de energia consumida obtidos, através do mecanismo de cálculo já implementado, retiraram-se imediatamente os custos de manutenção. Nas próximas tabelas, tabela 42 e 43, apresentam-se os novos custos de manutenção.

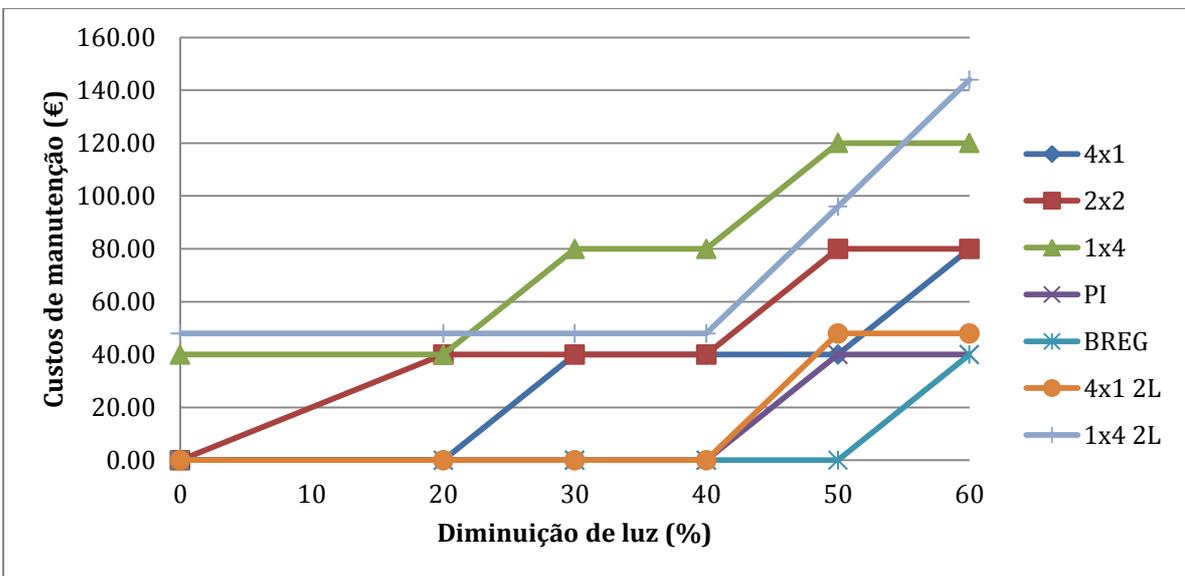
**Tabela 41 - Tabela dos custos de manutenção a médio prazo para os diferentes cenários de luz**

Salas 300 lux	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 5 (€)	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 5 -20% luz (€)	0.00	40.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 5 -30% luz (€)	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 5 -40% luz (€)	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	48.00
Sala 5 -50% luz (€)	40.00	80.00	120.00	40.00	0.00	48.00	96.00
Sala 5 -60% luz (€)	80.00	80.00	120.00	40.00	40.00	48.00	144.00

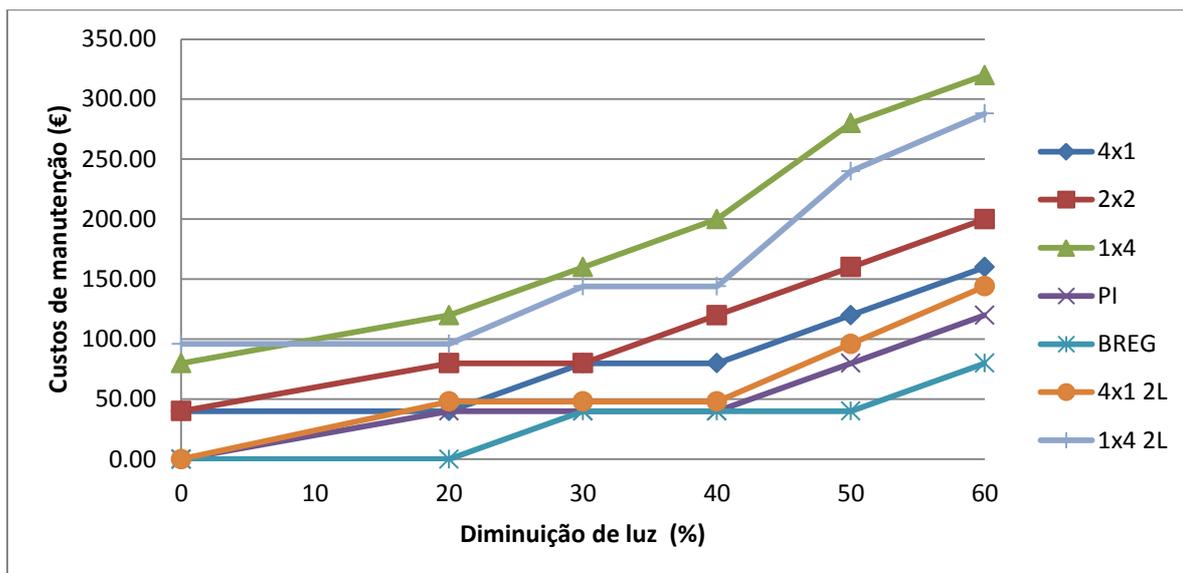
**Tabela 42 - Tabela dos custos de manutenção a longo prazo para os diferentes cenários de luz**

Salas 300 lux	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Sala 5 (€)	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	96.00
Sala 5 -20% luz (€)	40.00	80.00	120.00	40.00	0.00	48.00	96.00
Sala 5 -30% luz (€)	80.00	80.00	160.00	40.00	40.00	48.00	144.00
Sala 5 -40% luz (€)	80.00	120.00	200.00	40.00	40.00	48.00	144.00
Sala 5 -50% luz (€)	120.00	160.00	280.00	80.00	40.00	96.00	240.00
Sala 5 -60% luz (€)	160.00	200.00	320.00	120.00	80.00	144.00	288.00

Seguem os respectivos gráficos, representados na Figura 43 e 44.



**Figura 43 - Gráfico dos custos de manutenção a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz**



**Figura 44 - Gráfico dos custos de manutenção a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz**

Como se pode observar, um aumento na demanda energética provoca um aumento nos custos de manutenção. Ainda assim, as instalações mais eficientes apresentam os custos mais baixos, quando não nulos. Um aumento no prazo de investimento também provoca um aumento nos custos de manutenção, dada a óbvia necessidade de serem precisas mais substituições de lâmpadas.

Terminado este passo, procedeu-se ao cálculo dos novos custos de exploração, para cada situação implementada. O mecanismo foi o mesmo, utilizado na primeira fase do projecto, e os resultados obtidos apresentam-se a seguir, nas tabelas 44 à 48.

**Tabela 43 – Tabela dos custos de exploração relativos ao primeiro cenário de luz**

Sala 5 -20% luz	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Custo de exploração (2 anos) (€)	259.61	345.97	539.99	179.45	136.40	217.94	455.79
Custo de exploração (10 anos) (€)	1513.29	2016.65	3147.59	1046.04	795.10	1270.37	2656.83
Custo de exploração (20 anos) (€)	3799.37	5063.13	7902.54	2626.25	1996.24	3189.47	6670.40

**Tabela 44 - Tabela dos custos de exploração relativos ao segundo cenário de luz**

Sala 5 -30% luz	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
Custo de exploração (2 anos) (€)	301.68	396.62	624.40	211.07	160.44	256.34	532.77
Custo de exploração (10 anos) (€)	1758.52	2311.89	3639.65	1230.36	935.18	1494.22	3105.51
Custo de exploração (20 anos) (€)	4415.05	5804.38	9137.94	3089.02	2347.93	3751.49	7796.89

**Tabela 45 - Tabela dos custos de exploração relativos ao terceiro cenário de luz**

Sala 5 -40% luz	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
-----------------	-----	-----	-----	----	------	--------	--------

<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	381.95	514.80	801.81	262.76	199.97	319.11	666.04
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	2226.38	3000.77	4673.78	1531.64	1165.60	1860.12	3882.37
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	5589.70	7533.94	11734.32	3845.45	2926.44	4670.14	9747.35

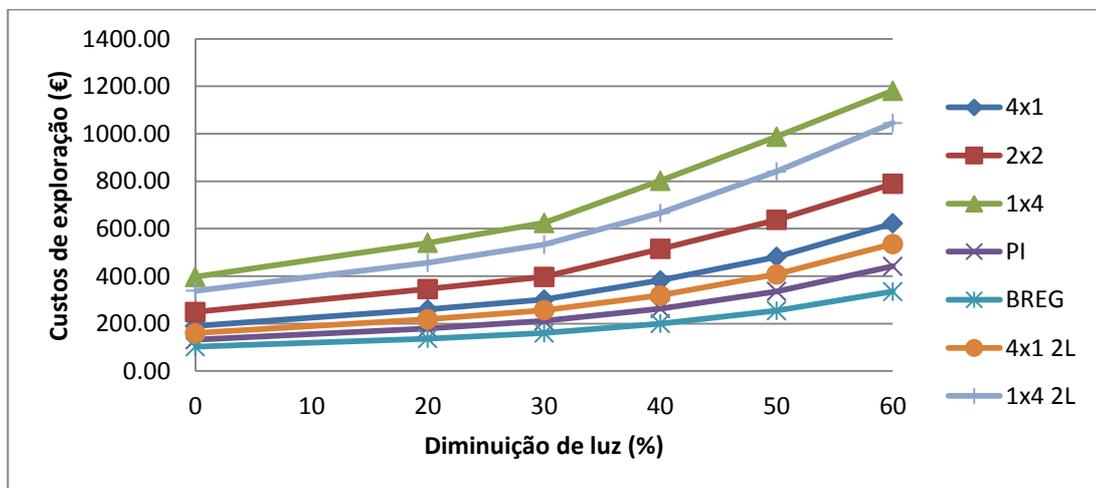
**Tabela 46 - Tabela dos custos de exploração relativos ao quarto cenário de luz**

Sala 5 -50% luz	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	480.89	636.99	987.25	335.45	254.20	407.39	840.49
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	2803.14	3713.05	5754.71	1955.34	1481.71	2374.68	4899.26
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	7037.75	9322.24	14448.15	4909.21	3720.09	5962.04	12300.40

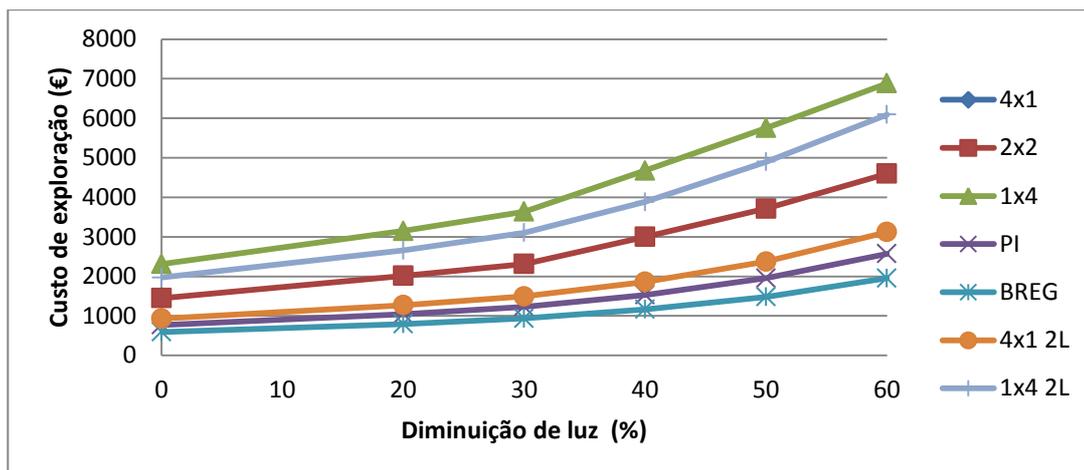
**Tabela 48 - Tabela dos custos de exploração relativos ao quinto cenário de luz**

Sala 5 -60% luz	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	622.33	788.94	1181.27	440.97	335.16	535.54	1045.20
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	3627.55	4598.77	6885.65	2570.42	1953.65	3121.67	6092.48
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	9107.56	11545.97	17287.56	6453.47	4904.96	7837.48	15296.18

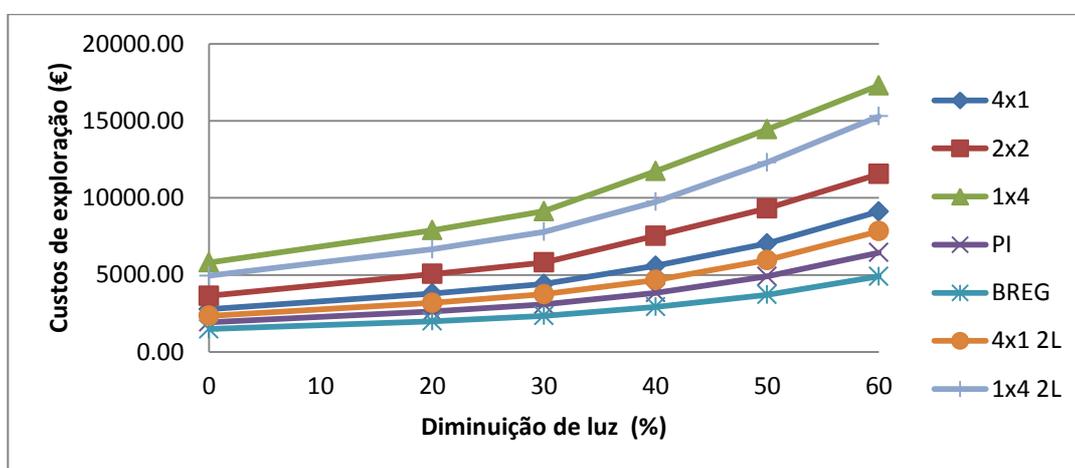
Os gráficos correspondentes, Figura 45, 46 e 47, são os seguintes.



**Figura 45 - Gráfico dos custos de exploração a curto prazo em função dos diferentes cenários de luz**



**Figura 46 - Gráfico dos custos de exploração a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz**



**Figura 47 - Gráfico dos custos de exploração a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz**

Mais uma vez, os custos de exploração são directamente influenciados pelo consumo energético de uma instalação e pelo prazo de investimento. Pode-se concluir, com recurso aos gráficos apresentados em cima, que maiores consumos acentuam as diferenças nos custos finais. Por sua vez, um aumento no prazo de investimento também provoca um aumento nos custos de exploração. Como também já se tinha constatado, maior eficiência traduz-se em maior poupança, a nível de gastos de exploração.

Por fim, foram criadas novamente tabelas conjuntas, com a informação de todos os cenários energéticos para a sala 5, juntamente com os respectivos gráficos comparativos, para uma melhor análise dos resultados obtidos. Seguem essas tabelas, tabela 49 à 54, e gráficos, Figura 48, 49 e 50.

**Tabela 49 – Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao primeiro cenário de luz**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0

<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	96.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	190.01	248.96	396.89	132.06	102.13	160.38	338.32
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	1107.54	1451.18	2313.50	769.75	595.31	934.84	1972.05
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	2780.67	3643.43	5808.43	1932.60	1494.64	2347.06	4951.15
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	2935.54	2982.11	3127.47	2924.16	4897.87	2056.30	2197.12
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	3853.07	4184.34	5084.07	3561.86	5391.06	2830.76	3878.85
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	5566.20	6416.59	8619.00	4724.70	6290.38	4242.99	6905.96

**Tabela 47 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao segundo cenário de luz**

	<b>4x1</b>	<b>2x2</b>	<b>1x4</b>	<b>PI</b>	<b>BREG</b>	<b>4x1 2L</b>	<b>1x4 2L</b>
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	0.00	40.00	40.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	40.00	80.00	120.00	40.00	0.00	48.00	96.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	259.61	345.97	539.99	179.45	136.40	217.94	455.79
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	1513.29	2016.65	3147.59	1046.04	795.10	1270.37	2656.83
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	3799.37	5063.13	7902.54	2626.25	1996.24	3189.47	6670.40
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	3005.14	3079.12	3270.56	2971.56	4932.15	2113.87	2314.60
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	4258.82	4789.80	5918.16	3838.14	5590.85	3166.29	4563.63
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	6584.90	7876.29	10753.11	5458.35	6791.98	5133.40	8625.21

**Tabela 48 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao terceiro cenário de luz**

	<b>4x1</b>	<b>2x2</b>	<b>1x4</b>	<b>PI</b>	<b>BREG</b>	<b>4x1 2L</b>	<b>1x4 2L</b>
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	80.00	80.00	160.00	40.00	40.00	48.00	144.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	301.68	396.62	624.40	211.07	160.44	256.34	532.77
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	1758.52	2311.89	3639.65	1230.36	935.18	1494.22	3105.51
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	4415.05	5804.38	9137.94	3089.02	2347.93	3751.49	7796.89
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	3047.21	3129.77	3354.98	3003.18	4956.18	2152.27	2391.57
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	4544.05	5085.04	6450.22	4022.46	5730.92	3390.15	5012.31
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	7240.58	8617.53	12028.51	5921.12	7183.67	5695.41	9799.70

**Tabela 49 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao terceiro cenário de luz**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	40.00	40.00	80.00	0.00	0.00	0.00	48.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	80.00	120.00	200.00	40.00	40.00	48.00	144.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	381.95	514.80	801.81	262.76	199.97	319.11	666.04
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	2226.38	3000.77	4673.78	1531.64	1165.60	1860.12	3882.37
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	5589.70	7533.94	11734.32	3845.45	2926.44	4670.14	9747.35
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	3127.48	3247.96	3532.39	3054.87	4995.71	2215.04	2524.85
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	5011.91	5773.93	7484.36	4323.75	5961.34	3756.05	5789.18
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	8415.23	10387.10	14664.89	6677.55	7762.18	6614.07	11750.15

**Tabela 50 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao quarto cenário de luz**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	40.00	80.00	120.00	40.00	0.00	48.00	96.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	120.00	160.00	280.00	80.00	40.00	96.00	240.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	480.89	636.99	987.25	335.45	254.20	407.39	840.49
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	2803.14	3713.05	5754.71	1955.34	1481.71	2374.68	4899.26
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	7037.75	9322.24	14448.15	4909.21	3720.09	5962.04	12300.40
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	3226.42	3370.15	3717.83	3127.55	5049.94	2303.32	2699.30
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	5588.67	6526.21	8605.28	4787.45	6277.45	4318.61	6854.06
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	9903.28	12215.40	17458.73	7781.32	8555.83	7953.97	14399.20

**Tabela 51 - Tabela de registo dos resultados obtidos relativamente ao quinto cenário de luz**

	4x1	2x2	1x4	PI	BREG	4x1 2L	1x4 2L
<b>Custo de instalação (€)</b>	2745.53	2733.16	2730.57	2792.10	4795.74	1895.93	1858.81
<b>Custo de manutenção (2 anos) (€)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Custo de manutenção (10 anos) (€)</b>	80.00	80.00	120.00	40.00	40.00	48.00	144.00
<b>Custo de manutenção (20 anos) (€)</b>	160.00	200.00	320.00	120.00	80.00	144.00	288.00
<b>Custo de exploração (2 anos) (€)</b>	622.33	788.94	1181.27	440.97	335.16	535.54	1045.20
<b>Custo de exploração (10 anos) (€)</b>	3627.55	4598.77	6885.65	2570.42	1953.65	3121.67	6092.48
<b>Custo de exploração (20 anos) (€)</b>	9107.56	11545.97	17287.56	6453.47	4904.96	7837.48	15296.18
<b>Custo total (2 anos) (€)</b>	3367.86	3522.10	3911.84	3233.07	5130.90	2431.47	2904.00
<b>Custo total (10 anos) (€)</b>	6453.08	7411.92	9736.22	5402.52	6789.39	5065.60	8095.28
<b>Custo total (20 anos) (€)</b>	12013.09	14479.12	20338.13	9365.57	9780.70	9877.40	17442.98

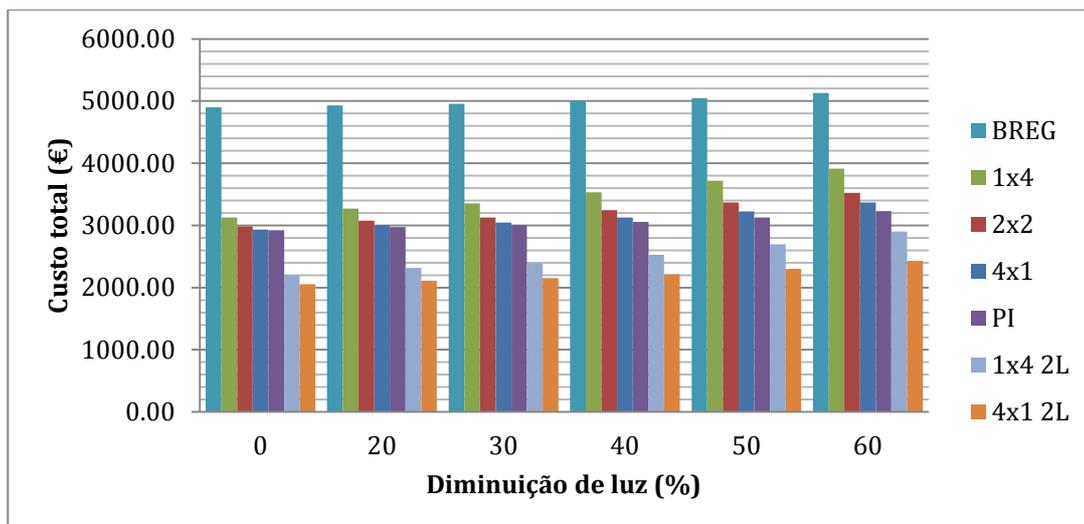


Figura 48 - Gráfico dos custos totais a curto prazo em função dos diferentes cenários de luz

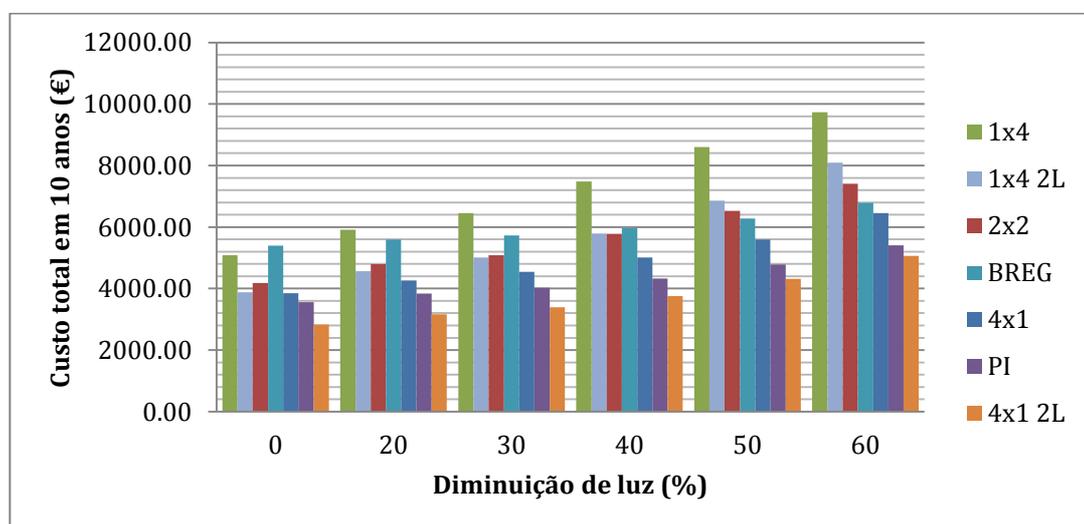
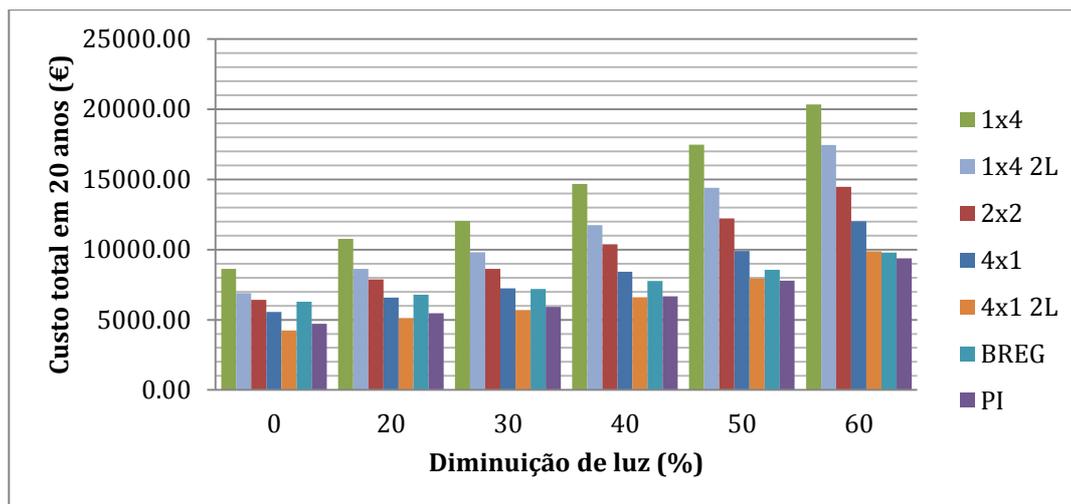


Figura 49 - Gráfico dos custos totais a médio prazo em função dos diferentes cenários de luz



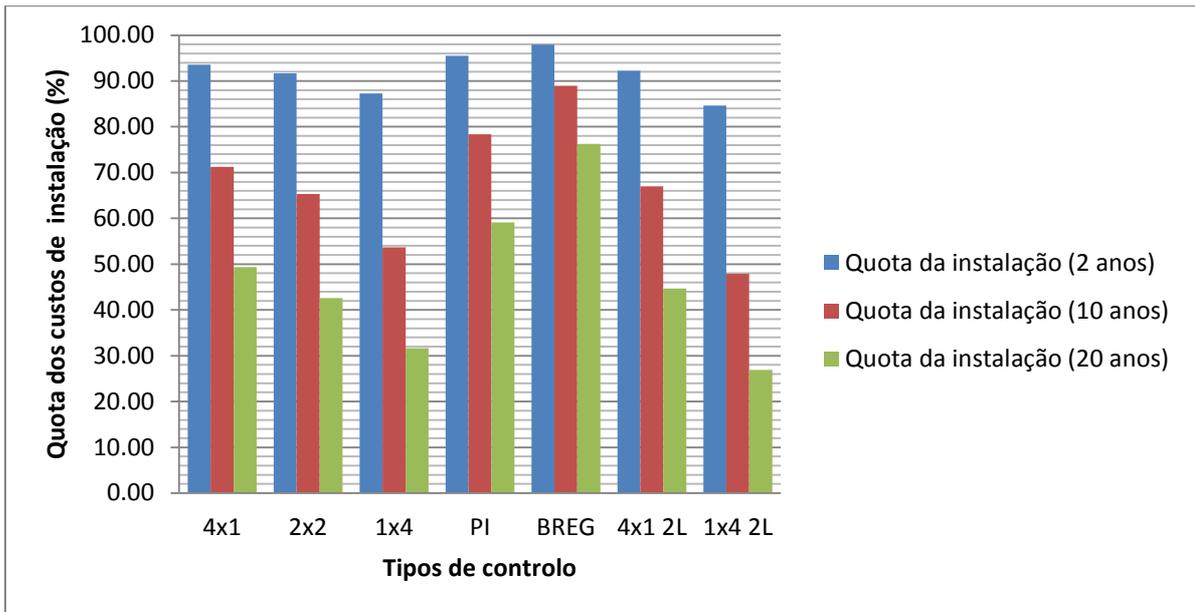
**Figura 50 - Gráfico dos custos totais a longo prazo em função dos diferentes cenários de luz**

Novamente, fizeram-se duas análises neste ponto, uma gráfico a gráfico e outra comparativa, entre gráficos. Para o primeiro caso, de um investimento a curto prazo, o peso dos custos de instalação é muito alto, fazendo com que a variação dos consumos energéticos tenha pouca influência em alguns resultados obtidos, como na instalação BREG. Este efeito, torna-a no pior investimento a curto prazo. Os melhores investimentos correspondem às instalações com custos de instalação mais baixos, neste caso, as instalações com luminárias de duas lâmpadas.

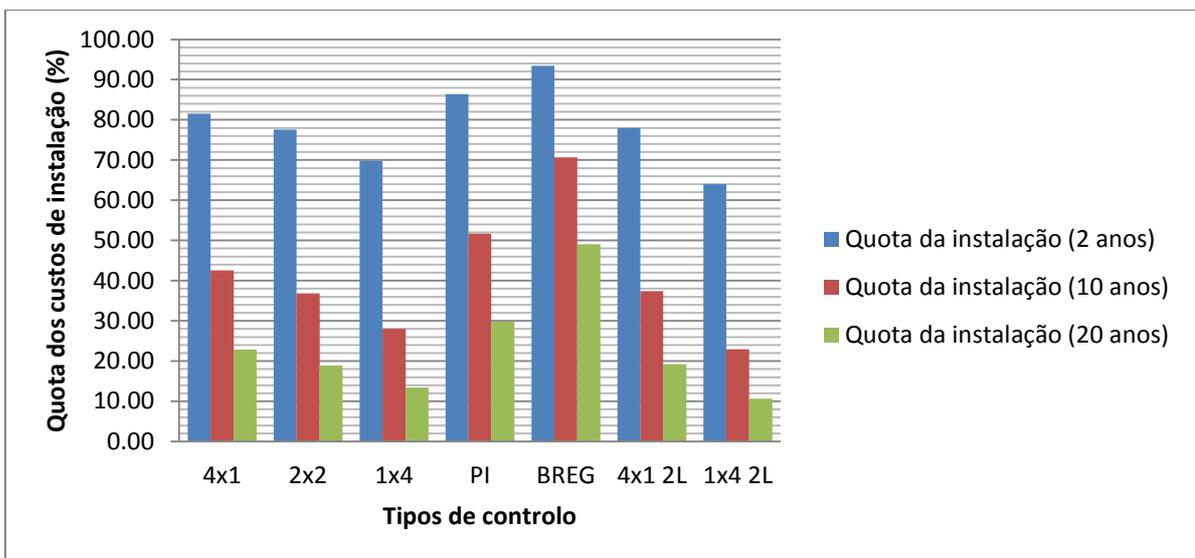
No segundo caso, com os custos de exploração e de manutenção a ganharem mais peso sobre o custo final, à medida que sobe a demanda energética, já se pode observar o efeito das instalações mais dispendiosas a assumirem as posições de piores investimentos, face às instalações mais eficientes que ficam como os melhores investimentos. O mais importante neste ponto, mais do que escolher a instalação mais eficiente, é não instalar um controlo dispendioso.

No último caso, as distinções referidas anteriormente tornam-se óbvias. Estando o maior peso sobre os custos de exploração e de manutenção, os resultados vêm favoráveis às instalações mais eficientes. A segunda análise dita então que, face ao prazo de investimento considerado, se obtenham diferentes resultados. E o resultado observado foi que as instalações mais eficientes se tornam num melhor investimento ao longo do tempo, principalmente se as demandas energéticas forem maiores.

Em adição a este sub-capítulo, estudou-se a quota que o custo de instalação tem sobre o custo final ao longo do tempo, de modo a compreender quais as instalações que mais beneficiariam com alterações a esses custos de instalação. O resultados obtidos são representados na Figura 51 e 52.



**Figura 51 - Gráfico das quotas dos custos de instalação ao longo do tempo num cenário com muita luz disponível**



**Figura 52 - Gráfico das quotas dos custos de instalação ao longo do tempo num cenário com pouca luz disponível**

No primeiro gráfico, observam-se as quotas dos custos de instalação ao longo do tempo, para os diferentes tipos de controle, numa situação em que os custos de instalação são elevados, dada a fraca demanda energética nesse exemplo. No segundo, quantifica-se novamente as quotas dos custos, num cenário de elevada demanda energética. Como se pode ver, alguns investimentos estão muito dependentes dos custos de instalação, visto que, como obtêm valores de consumo muito baixos, os custos de exploração e de manutenção pouca influência têm sobre o valor final. É o caso da instalação BREG e PI.

A diferença ainda se acentua mais, em cenários de maior demanda energética, tornando a BREG a instalação que mais beneficiaria com custos de instalação mais baixos. Como foi explicado anteriormente e demonstrado, os custos de instalação são influenciados pelo preço do material e da mão de obra (em função dos preços aplicados pela empresa instaladora escolhida, que têm origem em diferentes margens de lucro) e pelo imposto sobre a obra (neste caso, em território português, o IVA a 23%). O que esta análise final dita é que, se estes valores fossem alterados, provocando uma diminuição nos custos de instalação, os tipos de controlo que mais beneficiariam seriam o BREG e o PI.

### **4.3 Aplicação final e análise dos resultados**

Neste ponto final da implementação, tendo em conta todo o estudo desenvolvido anteriormente, criou-se uma aplicação interactiva que agrupa todos os resultados e análises obtidos. Como foi explicado anteriormente, não se desenvolveu um algoritmo matemático para esta aplicação. A mesma resulta de um algoritmo de interpretação dos resultados conseguidos.

#### **4.3.1 Tecnologia adoptada no desenvolvimento da aplicação final**

Foi criada uma aplicação de consulta, em que, dados certos parâmetros de entrada (os mesmos que foram estudados ao longo do modelo prático), se devolvem quais as melhores soluções de controlo, juntamente com a respectiva explicação. O software utilizado foi o NetBeans e as linguagens foram Java e HTML. Estas escolhas foram feitas tendo em conta a facilidade com que se pode criar um programa com uma interface apelativa, mas também com a capacidade computacional obrigatória de modo a compreender os elementos desejados.

Em Java, dimensionou-se primeiramente a interface do programa, sob a forma de uma *applet*, para que corra num qualquer navegador. O conteúdo da aplicação, que inclui as considerações acerca dos elementos seleccionados, assim como toda a informação relativa às soluções apresentadas, foi imbutido no corpo do programa, sem recurso a uma base de dados, também através da linguagem Java. A razão para tal é que a componente de processamento da informação foi feita manualmente, com análise do estudo realizado, através da consulta dos gráficos e resultados obtidos. Enquanto que no programa é possível apenas visualizarem-se as soluções propostas, neste capítulo serão discutidas as razões por detrás dessas escolhas.

Em HTML complementou-se apenas a apresentação do programa, de modo a eliminar erros visuais quando executado no navegador.

### 4.3.2 Análise ao funcionamento e conteúdo da aplicação

Ao iniciar-se a aplicação, o utilizador tem acesso a três variáveis de entrada manipuláveis, as mesmas que foram estudadas ao longo deste trabalho. Como foi dito anteriormente, a aplicação funciona com base em soluções propostas, de acordo com os parâmetros manipulados nos blocos de selecção de dados.

Em conformidade com as combinações possíveis, existe um total de 12 combinações, que são representadas na tabela 55.

**Tabela 52 – Tabela esquemática das diferentes soluções possíveis de se obterem através da aplicação**

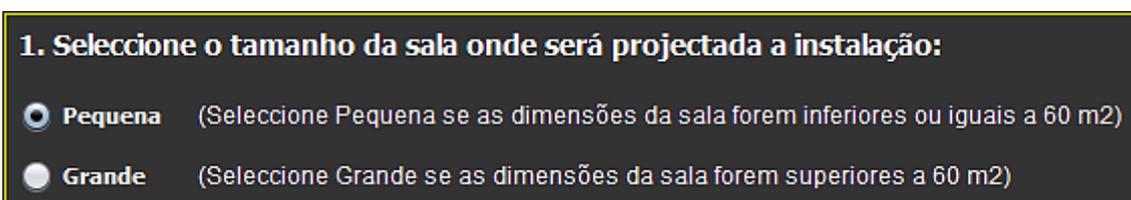
Tamanho da sala	Quantidade de luz natural disponível	Retorno económico	Solução
Pequena	Elevada	2 anos	1
		10 anos	2
		20 anos	3
	Baixa	2 anos	4
		10 anos	5
		20 anos	6
Grande	Elevada	2 anos	7
		10 anos	8
		20 anos	9
	Baixa	2 anos	10
		10 anos	11
		20 anos	12

Os elementos interactivos estão descritos no topo das três primeiras colunas da tabela anterior – tamanho da sala, quantidade de luz natural disponível e retorno económico. Ao manipular as variáveis de entrada, de acordo com as condições em que quer projectar uma instalação, o utilizador consegue que o programa lhe sugira entre 12 cenários possíveis.

O objectivo destas soluções propostas é auxiliar o utilizador que pretende projectar uma determinada instalação, de modo a otimizar os seus ganhos, sendo por via de uma maior poupança a nível de energia consumida ou por via de uma economia maior em torno dos gastos com a própria execução do projecto luminotécnico. Em seguida, descrevem-se os blocos de compõem o corpo do programa.

### ➤ Bloco 1

No primeiro bloco do corpo do programa, representado pela Figura 53, o utilizador pode escolher o tamanho da sala, onde pretende construir a sua instalação.



1. Selecciona o tamanho da sala onde será projectada a instalação:

Pequena (Selecciona Pequena se as dimensões da sala forem inferiores ou iguais a 60 m<sup>2</sup>)

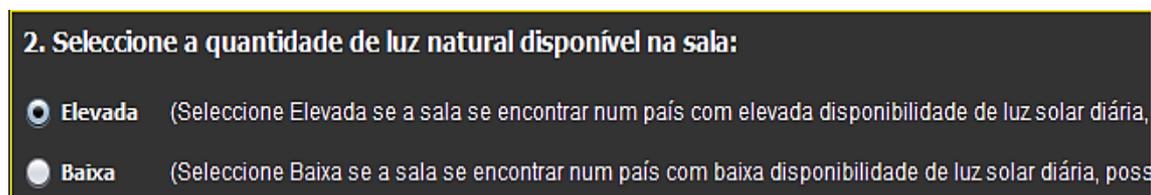
Grande (Selecciona Grande se as dimensões da sala forem superiores a 60 m<sup>2</sup>)

**Figura 53 – 1º Bloco da aplicação desenvolvida**

De acordo com o estudo efectuado, analisaram-se salas com áreas entre os 40 m<sup>2</sup> e os 140 m<sup>2</sup>, como ficou registado nos capítulos 4.1.1 e 4.2.1. É importante considerar este aspecto, pois os custos de instalação são fortemente influenciados em função do tamanho da sala. Por observação da Figura 34, divide-se o tamanho possível entre salas pequenas e salas grandes, onde salas pequenas possuem áreas inferiores e iguais a 60 m<sup>2</sup> e salas grandes superiores a 60 m<sup>2</sup>, visto ser neste ponto que se regista a mudança de declives, resultado da alteração da influência da área nos custos de instalação.

### ➤ Bloco 2

No bloco 2, que pode ser visualizado na Figura 54, o utilizador tem a possibilidade de indicar a quantidade de luz natural disponível, no local da obra.



2. Selecciona a quantidade de luz natural disponível na sala:

Elevada (Selecciona Elevada se a sala se encontrar num país com elevada disponibilidade de luz solar diária,

Baixa (Selecciona Baixa se a sala se encontrar num país com baixa disponibilidade de luz solar diária, poss

**Figura 54 – 2º Bloco da aplicação desenvolvida**

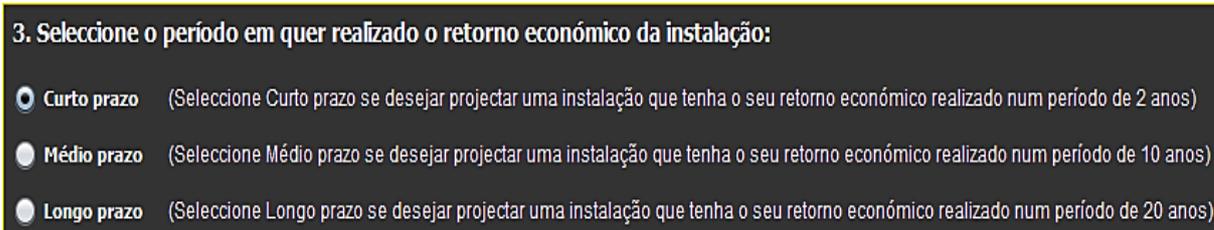
Com o estudo realizado em torno da quantidade de luz natural disponível, concluiu-se que os parâmetros mais afectados por esta variável foram os custos de manutenção e, ainda mais, os custos de exploração. Analisou-se primeiramente um cenário com imensa luz natural disponível, típico de um país como Portugal, depois, criaram-se cenários com percentagens inferiores ao primeiro, com até -60% de luz disponível.

Na aplicação, oferece-se ao utilizador a possibilidade de indicar a quantidade de luz disponível no seu local de obra, elevada, se se localizar num país com bastante luz solar diária e a sala tiver janelas grandes para possibilitar uma boa iluminação natural, ou baixa, se o local apresentar um índice fraco de luz solar diária ou janelas de pequenas dimensões que não permitam uma boa entrada de luz natural na sala. Entende-se por uma quantidade elevada, aquela que vai até -30% de luminosidade do cenário com mais luz disponível, sendo que a partir de -30% até -60% a quantidade já é considerada baixa,

como se pode observar pelas Figuras 45, 46 e 47, onde o declive ganha uma maior acentuação a partir dos -30%.

### ➤ **Bloco 3**

No terceiro bloco, representado pela Figura 55, o utilizador indica o período em que deseja ver realizado o total do retorno económico da instalação.



**3. Selecciono o período em que realizado o retorno económico da instalação:**

**Curto prazo** (Selecione Curto prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 2 anos)

**Médio prazo** (Selecione Médio prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 10 anos)

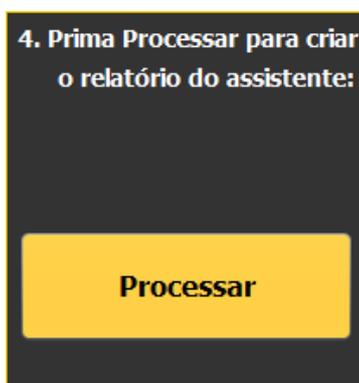
**Longo prazo** (Selecione Longo prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 20 anos)

**Figura 55 – 3º Bloco da aplicação desenvolvida**

Em função dos resultados obtidos, concluiu-se que esta variável atribui os pesos a cada custo analisado, determinando, no balanço final, quais os que têm mais influência. Dá-se ao utilizador a possibilidade de selecção dos anos em que quer ter o seu retorno económico realizado – curto prazo (2 anos), médio prazo (10 anos) e longo prazo (20 anos). De acordo com as Figuras 40 à 42 e 48 à 52, é visível, através da análise destes diferentes períodos, como os diferentes custos influenciam o retorno final. Em função disso, o programa adapta a sua resposta, através de soluções com custos de instalação mais baixos para investimentos a curto prazo, ou soluções mais eficientes, para investimentos a longo prazo, entre outros casos.

### ➤ **Bloco 4**

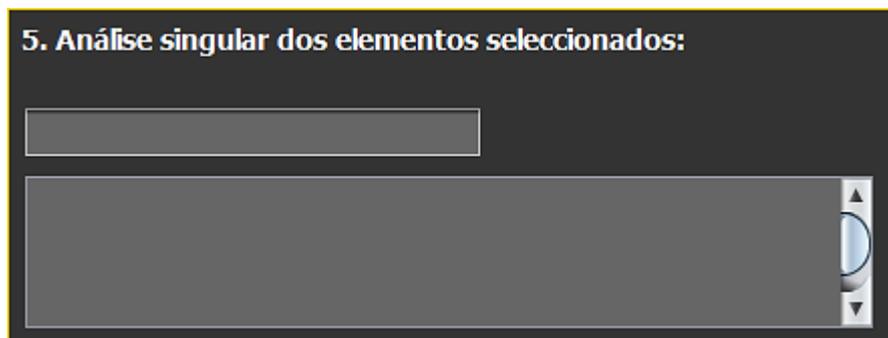
Este bloco inclui o botão de processamento, que permite ao programa receber os elementos de entrada, para devolver as soluções em conformidade. Apresenta-se o primeiro através da Figura 56.



**Figura 56 – 4º Bloco da aplicação desenvolvida**

### ➤ **Bloco 5**

No quinto bloco, são executadas análises singulares ao elementos seleccionados pelo utilizador, nos três primeiros blocos. O aspecto de uma das janelas de visualização está representado na Figura 57.



**Figura 57 – 5º Bloco da aplicação desenvolvida**

No primeiro campo, surge o nome do elemento seleccionado. No segundo, surgem as considerações registadas. Relativamente a essas considerações, passa-se a descrever os resultados possíveis. Em complemento ao que o programa fornece, neste ponto, ainda se explicam as razões que levam às ditas considerações, com base nos gráficos e tabelas obtidos.

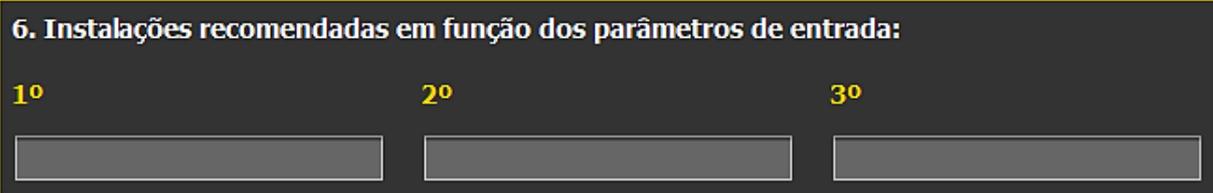
- **Sala pequena:** As diferenças nos custos de instalações são mínimas, à excepção da instalação BREG, que tem um custo muito elevado. Factos comprovados por consulta da tabela 30 e da Figura 34.
- **Sala grande:** As diferenças nos custos de instalação são altas, sendo a mais cara a instalação BREG, seguida pelas instalações com luminárias de uma lâmpada e, por último, de duas lâmpadas. Factos também comprovados por consulta da tabela 30 e da Figura 34.
- **Quantidade de luz disponível elevada:** As diferenças entre custos de exploração e de manutenção são visíveis entre si, sendo os maiores detectados nas instalações com menos controlo. Factos comprovados, relativamente aos custos de manutenção, por consulta das tabelas 42 e 43 e pelas Figuras 43 e 44. Em relação aos custos de exploração, comprovou-se através da consulta das tabelas 44 à 48 e Figuras 45 à 47.
- **Quantidade de luz disponível baixa:** As diferenças entre os diferentes custos de exploração e de manutenção são bastante significativas, tornando os controlos mais eficientes a escolha mais acertada. Factos também comprovados, relativamente aos custos de manutenção, por consulta das tabelas 42 e 43 e pelas Figuras 43 e 44. Em relação aos custos de exploração, comprovou-se através da consulta das tabelas 44 à 48 e Figuras 45 à 47.
- **Retorno económico a curto prazo:** Os custos de manutenção são nulos. Os custos de instalação têm todo o peso no investimento final, implicando que o consumo

energético e, por conseguinte, os custos de exploração não tenham qualquer influência na escolha do controlo mais acertado. Tal é comprovado por consulta das tabelas 36 à 40 e 52 à 56 e Figuras 51 e 52.

- **Retorno económico a médio prazo:** As instalações menos eficientes apresentam os piores custos de manutenção, sendo que as mais eficientes, em certos casos, chegam a apresentar custos nulos ou mínimos.. Os custos de exploração das instalações menos eficientes afectam negativamente o investimento final. O custo de instalação do controlo BREG ainda tem um peso significativo no investimento final, tornando-a apenas viável em certos cenários, como o de elevado consumo energético. A primeira frase deste parágrafo é comprovada através da consulta das tabelas 31 e 42 e Figuras 35 e 43. O restante é comprovado por consulta das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 51 e 52.
- **Retorno económico a longo prazo:** Só as instalações mais eficientes apresentam custos de manutenção relativamente baixos. Os custos de exploração das instalações não eficientes têm um peso muito alto no investimento final, tornando-as completamente inviáveis, principalmente em cenários mais extremos, de áreas mais elevadas e com uma quantidade de luz disponível menor. Por outro lado, já só existem vantagens em instalar controlos eficientes, dado o peso elevado dos custos de exploração e de manutenção no investimento final. A instalação BREG passa a ser uma das mais viáveis devido aos consumos extremamente baixos. A primeira frase deste parágrafo é comprovada através da consulta das tabelas 32 e 43 e Figuras 36 e 44. O restante é comprovado por consulta das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e figuras 51 e 52.

➤ **Bloco 6**

No sexto bloco, o programa fornece ao utilizador as melhores soluções, em função dos parâmetros de entrada, nas caixas de texto que se podem ver na Figura 58.



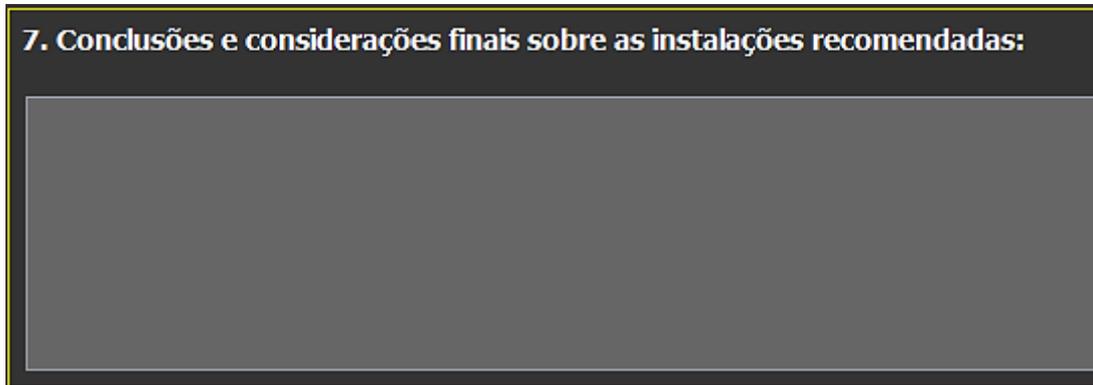
6. Instalações recomendadas em função dos parâmetros de entrada:

1º	2º	3º
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Figura 58 - 6º Bloco da aplicação desenvolvida**

## ➤ Bloco 7

Por fim, no sétimo bloco, apresentam-se as considerações relativas a cada uma das soluções propostas. Estes resultados surgem na caixa de texto que se pode ver na Figura 59.



**Figura 59 - 7º Bloco da aplicação desenvolvida**

Em complemento aos dados fornecidos pela aplicação, explicam-se novamente as razões por detrás das escolhas efectuadas, com base nos gráficos e tabelas obtidos. Apresentam-se as ditas considerações:

- **Solução 1:** Não há vantagens em instalar um controlo eficiente, visto que o custo que mais peso tem é o da instalação (factos comprovados através da consulta das tabelas 36 à 40, 49 à 54 e Figuras 51 e 52). As instalações que melhor encaixam neste perfil correspondem às que têm luminárias de duas lâmpadas, 4x1 2L e 1x4 2L (como se pode concluir através da tabela 30 e Figura 34). As instalações com luminárias de uma lâmpada são também viáveis (4x1, 1x4, 2x1 e PI), mas o resultado final fica encarecido, dado que o número de luminárias necessárias para se atingir o campo luminoso exigido é maior (como ficou registado no capítulo 4.2.1). Por outro lado, com mais luminárias, é possível obter um campo mais uniforme, com a luz distribuída mais equitativamente;
- **Solução 2:** A médio prazo, mais do que instalar um controlo eficiente, o mais importante é não instalar um controlo dispendioso (isto porque os custos de exploração e de manutenção destes tipos de controlo já começam a ser altos, segundo as tabelas 31, 34, 42 e 44 à 48 e Figuras 35, 38, 43 e 46). O custo de instalação ainda tem um peso significativo no investimento final. Se este for somado ao custo de exploração e de manutenção de um controlo pouco eficiente, o resultado revelará um mau investimento (como se conclui pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49). Sendo assim, os melhores resultados podem ser conseguidos com os controlos 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, e PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação (factos comprovados através das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49);

- **Solução 3:** A longo prazo, é vantajoso instalar um controlo eficiente (facto comprovado pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50). Devido ao tamanho pequeno da sala, algumas instalações ainda são viáveis como a 2x2 (como se pode ver também pela consulta das últimas tabelas e figuras referidas). Já a instalação BREG não figura como primeira escolha, visto que o equipamento necessário ainda é caro e excessivo para salas de dimensões pequenas (como se vê pela Figura 42). Outra causa, é o facto do consumo energético ser baixo e não haver aproveitamento satisfatório das capacidades deste tipo de instalação (como se conclui pela Figura 52). Sendo assim, os melhores resultados pertencem às instalações 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, e PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação (factos comprovados através das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50);
- **Solução 4:** Igual à solução 1;
- **Solução 5:** A médio prazo, mais do que instalar um controlo eficiente, o mais importante é não instalar um controlo dispendioso (isto porque os custos de exploração e de manutenção destes tipos de controlo já começam a ser altos, segundo as tabelas 31, 34, 42 e 44 à 48 e Figuras 35, 38, 43 e 46). O custo de instalação ainda tem um peso significativo no investimento final. Se este for somado ao custo de exploração e de manutenção de um controlo pouco eficiente, o resultado revelará um mau investimento (como se conclui pelas tabelas 36 à 40 e 48 à 54 e Figuras 41 e 49). Sendo assim, os melhores resultados podem ser conseguidos com os controlos 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, e PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação (factos comprovados através das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49). Apesar do consumo energético elevado, derivado de uma quantidade baixa de luz disponível, a médio prazo e numa sala de pequenas dimensões, o custo de instalação ainda pesa no investimento final, tornando a instalação mais eficiente (BREG) como uma hipótese a considerar apenas em segundo lugar (como se pode verificar pela Figura 49);
- **Solução 6:** A longo prazo, é vantajoso instalar um controlo eficiente eficiente (facto comprovado pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50). Sendo assim, os melhores resultados pertencem às instalações 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação, e, em primeiro lugar, BREG, pelo médio custo de instalação, mas extremamente baixos custos de exploração e manutenção (factos comprovados pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50);
- **Solução 7:** Igual à solução 1;
- **Solução 8:** A médio prazo, mais do que instalar um controlo eficiente, o mais importante é não instalar um controlo dispendioso dispendioso (isto porque os custos de exploração e de

manutenção destes tipos de controlo já começam a ser altos, segundo as tabelas 31, 34, 42 e 44 à 48 e Figuras 35, 38, 43 e 46). O custo de instalação ainda tem um peso significativo no investimento final. Se este for somado ao custo de exploração e de manutenção de um controlo pouco eficiente, o resultado revelará um mau investimento (como se conclui pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49). Sendo assim, o melhor resultado pertence à instalação 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação. Apesar da instalação PI ser eficiente, obtendo boa poupança a médio prazo, as variações mais elevadas nos custos de instalação, devido à dimensão da sala, fazem com que esta só figure como segundo melhor investimento (esta frase e a anterior são comprovadas através das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49);

- **Solução 9:** A longo prazo, é vantajoso instalar um controlo eficiente (facto comprovado pelas tabelas 36 à 40 e 48 à 54 e Figuras 42 e 50). A instalação BREG não figura como primeira escolha, visto o consumo energético ser demasiado baixo, derivado de uma elevada disponibilidade de luz natural, para haver um aproveitamento satisfatório das suas capacidades (isto, segundo a consulta da Figura 50). Sendo assim, os melhores resultados pertencem às instalações 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, e PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação (factos comprovados pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50). Dadas as grandes diferenças nos custos de exploração, devido às dimensões da sala, nenhuma instalação com controlo pouco eficiente é indicada como um bom investimento (como se pode averiguar pela consulta da tabela 35 e Figura 39);
- **Solução 10:** Igual à solução 1;
- **Solução 11:** A médio prazo, mais do que instalar um controlo eficiente, o mais importante é não instalar um controlo dispendioso (isto porque os custos de exploração e de manutenção destes tipos de controlo já começam a ser altos, segundo as tabelas 31, 34, 42 e 44 à 48 e Figuras 35, 38, 43 e 46). O custo de instalação ainda tem um peso significativo no investimento final. Se este for somado ao custo de exploração e de manutenção de um controlo pouco eficiente, o resultado revelará um mau investimento (como se conclui pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49). Sendo assim, os melhores resultados podem ser conseguidos com os controlos 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, e PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação (factos comprovados através das tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 41 e 49). Apesar do consumo energético elevado, derivado de uma quantidade baixa de luz disponível, a médio prazo, o custo de instalação ainda pesa no investimento final, tornando a instalação mais eficiente (BREG) como uma hipótese a considerar apenas em segundo lugar (como se pode verificar pelas Figura 49);

- **Solução 12:** A longo prazo, é vantajoso instalar um controlo eficiente (facto comprovado pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50). Sendo assim, os melhores resultados pertencem às instalações 4x1 2L, pelo baixo consumo energético e custo de instalação, PI, pelo baixo consumo e médio custo de instalação, e BREG, pelo médio custo de instalação, mas extremamente baixos custos de exploração e manutenção (factos comprovados pelas tabelas 36 à 40 e 49 à 54 e Figuras 42 e 50).

Apresenta-se, em seguida, um exemplo da sua utilização, através na Figura 60.

**ASSISTENTE DE SELECÇÃO DA INSTALAÇÃO IDEAL**

**1. Selecciono o tamanho da sala onde será projectada a instalação:**

Pequena (Seleccione Pequena se as dimensões da sala forem inferiores ou iguais a 60 m2)

Grande (Seleccione Grande se as dimensões da sala forem superiores a 60 m2)

**2. Selecciono a quantidade de luz natural disponível na sala:**

Elevada (Seleccione Elevada se a sala se encontrar num país com elevada disponibilidade de luz solar diária, possuir janelas de grandes dimensões e/ou estiver orientada de modo a favorecer a entrada de luz natural)

Baixa (Seleccione Baixa se a sala se encontrar num país com baixa disponibilidade de luz solar diária, possuir janelas de pequenas dimensões e/ou estiver orientada de modo a restringir a entrada de luz natural)

**3. Selecciono o período em quer realizado o retorno económico da instalação:**

Curto prazo (Seleccione Curto prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 2 anos)

Médio prazo (Seleccione Médio prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 10 anos)

Longo prazo (Seleccione Longo prazo se desejar projectar uma instalação que tenha o seu retorno económico realizado num período de 20 anos)

**4. Prima Processar para criar o relatório do assistente:**

**Processar**

**5. Análise singular dos elementos seleccionados:**

Sala pequena

Quantidade de luz disponível elevada

Retorno económico a curto prazo

As diferenças nos custos de instalações são mínimas, à excepção da instalação BREG, que tem um custo muito elevado.

As diferenças entre custos de exploração e de manutenção são visíveis entre si, sendo os maiores detectados nas instalações com menos controlo.

Os custos de manutenção são nulos. Os custos de instalação têm todo o peso no investimento final, implicando que o consumo energético e, por conseguinte, os custos de exploração não tenham qualquer influência na escolha do controlo mais acertado.

**6. Instalações recomendadas em função dos parâmetros de entrada:**

1º 2º 3º

4x1 2L e 1x4 2L 4x1, 2x2, 1x4 e PI

**7. Conclusões e considerações finais sobre as instalações recomendadas:**

Não há vantagens em instalar um controlo eficiente, visto que o custo que mais peso tem é o da instalação. As instalações que melhor encaixam neste perfil correspondem às que têm luminárias de duas lâmpadas (4x1 2L e 1x4 2L). As instalações com luminárias de uma lâmpada são também viáveis (4x1, 1x4, 2x1 e PI), mas o resultado final fica encarecido, dado que o número de luminárias necessárias para se atingir o campo luminoso exigido é maior. Por outro lado, com mais luminárias, é possível obter um campo mais uniforme, com a luz distribuída mais equitativamente.

Figura 60 - Exemplo de um relatório fornecido pela aplicação concebida



## 5 Conclusões

A dissertação desenvolvida aborda um estudo em torno da escolha óptima entre um conjunto de instalações típicas, de modo a obter um máximo proveito do ponto de vista energético e económico. A necessidade deste tipo de estudos é urgente e global, visto que, como já foi dito, a energia eléctrica é um bem que não é reciclável. Existe um interesse em desenvolver mecanismos que optimizem a construção das instalações eléctricas, mais objectivamente, das instalações luminotécnicas, não só em Portugal, mas em todo o mundo, principalmente em locais com pouca disponibilidade de luz, onde a gestão eléctrica deve ser mais capaz e rigorosa.

No desenvolvimento da componente prática, descreveram-se os métodos aplicados, juntamente com as respectivas tecnologias utilizadas e modelos matemáticos necessários, para a criação da aplicação de suporte. Apresentaram-se as simulações realizadas, as análises aos resultados conseguidos, assim como as considerações finais, em torno das soluções optimizadas obtidas, que integraram a aplicação final. O estudo completo pode ser consultado nesta dissertação, ao longo do terceiro e quarto capítulos, enquanto que a aplicação informática compila o resumo dessa informação e pode ser corrida num qualquer navegador.

É de referir que, para a criação deste estudo, foram seleccionadas apenas algumas das variáveis referidas, as mais importantes e que maior influência têm sobre os elementos do binómio em estudo. As análises às variáveis utilizadas são em função das simulações obtidas e, em algumas situações, são feitas aproximações médias a alguns dos parâmetros. Essa necessidade deriva do facto da quantidade de dados gerados para o estudo desses mesmos parâmetros ser alta, contudo, para efeitos de um estudo de optimização, esses valores médios servem na perfeição o seu propósito. A utilização de valores reais, medidos, seria ideal, mas a computação necessária, assim como o tempo requerido para um estudo desses, seriam exponencialmente maiores.

Em conclusão, pode-se verificar com este estudo que uma escolha cuidada e pensada acerca de qual a instalação luminotécnica ideal para determinada obra, em função de alguns pontos como o tamanho da sala, o consumo energético e a longevidade do plano de investimento, pode reflectir poupanças na ordem dos milhares de euros por sala, assim como um melhor uso, mais controlado e eficiente, da energia eléctrica.

## 5.1 Sugestão de trabalhos futuros

Com o conhecimento adquirido ao longo deste projecto, juntamente com a experiência acumulada, sugerem-se os seguintes trabalhos:

- Optimizar os algoritmos utilizados ou recorrer a ferramentas que utilizem valores reais, em vez de simulados;
- Alterar o alvo da componente prática a outro tipo de obras que não sejam salas de escritório, como fábricas ou empreendimentos industriais;
- Compilar o conhecimento adquirido neste estudo e testá-lo num caso real, fazendo as alterações necessárias, para calcular o valor real das poupanças possíveis.

## Referências bibliográficas

- ACEEE.** (2012). *www.aceee.org/press/2012/07/aceee-united-kingdom-tops-energy-eff*. Obtido em 9 de Julho de 2013, de *www.aceee.org*: <http://www.aceee.org/press/2012/07/aceee-united-kingdom-tops-energy-eff>
- AREANATEjo.** (2013). *www2.areanatejo.pt/client/skins/index.asp?template=geral&page=44*. Obtido em 4 de Julho de 2013, de <http://www2.areanatejo.pt/>: <http://www2.areanatejo.pt/client/skins/index.asp?template=geral&page=44>
- AREANATEjo.** (2013). *www2.areanatejo.pt/client/skins/index.asp?template=geral&page=44*. Obtido em 4 de Julho de 2013, de <http://www2.areanatejo.pt/>: <http://www2.areanatejo.pt/client/skins/index.asp?template=geral&page=44>
- ECEEE.** (2013). *www.staging.ecee.org/library/conference\_proceedings/Energy\_Efficiency\_Watch/EEW\_Presentations/26\_Turmes.pdf*. Obtido em 3 de Julho de 2013, de *www.staging.ecee.org*: [http://staging.ecee.org/library/conference\\_proceedings/Energy\\_Efficiency\\_Watch/EEW\\_Presentations/26\\_Turmes.pdf](http://staging.ecee.org/library/conference_proceedings/Energy_Efficiency_Watch/EEW_Presentations/26_Turmes.pdf)
- EDP - Energias de Portugal.** (2013). *www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/no-mundo*. Obtido em 1 de Julho de 2013, de *www.eco.edp.pt*: <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/no-mundo>
- EDP Serviço Universal S.A.** (2007). *Tarifário 2007*. Portugal: EDP Serviço Universal S.A.
- EDP Serviço Universal S.A.** (2008). *Tarifário 2008*. Portugal: EDP Serviço Universal S.A.
- ERSE.** (2009). *www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/treg2009/Paginas/FolhetosInfo2009.aspx*. Obtido em 1 de 3 de 2013, de *www.erse.pt*: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/treg2009/Paginas/FolhetosInfo2009.aspx>
- ERSE.** (2010). *www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifasreguladasem2010/Paginas/TVCF2010.aspx*. Obtido em 1 de 3 de 2013, de *www.erse.pt*: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifasreguladasem2010/Paginas/TVCF2010.aspx>
- ERSE.** (2011). *www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifareguladas2011/Documents/PrecosTVCF%20PTCont\_2011.pdf*. Obtido em 1 de 3 de 2013, de *www.erse.pt*: [http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifareguladas2011/Documents/PrecosTVCF%20PTCont\\_2011.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifareguladas2011/Documents/PrecosTVCF%20PTCont_2011.pdf)
- ERSE.** (2012). *www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifas2012/Documents/PrecosTVCF%20PTCont\_2012.pdf*. Obtido em 1 de 3 de 2013, de *www.erse.pt*: [http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifas2012/Documents/PrecosTVCF%20PTCont\\_2012.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifas2012/Documents/PrecosTVCF%20PTCont_2012.pdf)
- ERSE.** (2013). *www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2013/Documents/PrecosTVCF%20PTCont\_2013.pdf*. Obtido em 1 de 3 de 2013, de *www.erse.pt*:

[http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2013/Documents/PrecoSTVCF%20PTCont\\_2013.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2013/Documents/PrecoSTVCF%20PTCont_2013.pdf)

- Ferreira, J. J.** (1993). *Economia e gestão da energia*. Lisboa: Jesus Ferreira Consultores.
- Ferreira, L.** (2012). Ex-presidente da ERSE diz que preço da electricidade vai subir 20% a 30% até 2030. *Público Economia*, 1.
- Gomes, F. E.** (2003). *Soluções em automação para eficiência energética*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás.
- Greenpro.** (2004). [www.greenpro.de/po/index.html](http://www.greenpro.de/po/index.html). Obtido em 4 de Julho de 2013, de [www.greenpro.de](http://www.greenpro.de): <http://www.greenpro.de/po/index.html>
- Griffiths, D.** (1999). *Introduction to Electrodynamics. 3rd edition*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- INEE.** (2001). *A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Elétrico*. Rio de Janeiro: INEE.
- IST - Instituto Superior Técnico.** (2013). [www.dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/49744/1/Tab%20Determin%20Seccao%20BT.pdf](http://www.dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/49744/1/Tab%20Determin%20Seccao%20BT.pdf). Obtido em 3 de 3 de 2013, de [www.dspace.ist.utl.pt](http://www.dspace.ist.utl.pt): <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/49744/1/Tab%20Determin%20Seccao%20BT.pdf>
- K. Scharmer, J. G.** (2000). *The european solar radiation atlas, Vol. 1: Fundamentals and maps*. Paris: Les Presses de l'École des Mines.
- Ploran.** (2013). [www.ploran.com/portfolio.html](http://www.ploran.com/portfolio.html). Obtido em 4 de Julho de 2013, de [www.ploran.com](http://www.ploran.com): <http://www.ploran.com/portfolio.html>
- T. A. Aníbal, C. P.** (2005). *Manual de boas práticas de eficiência energética*. Coimbra: Dep. de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra, BSCD Portugal.
- União Europeia.** (2013). *Compreender as políticas da União Europeia: Energia*. Luxemburgo: Serviço das publicações da União Europeia.