

Análise e Otimização do Sistema de Iluminação de um Edifício Público

Por
Nuno Miguel Branco Cordeiro

Orientador: Doutor José Manuel Ribeiro Baptista

Co-orientador: Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão

Dissertação submetida à
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para obtenção do grau de
MESTRE
em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007, CAPÍTULO I



Vila Real, 2013

Análise e Otimização do Sistema de Iluminação de um Edifício Público

Por
Nuno Miguel Branco Cordeiro

Orientador: Doutor José Manuel Ribeiro Baptista

Co-orientador: Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão

Dissertação submetida à
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para obtenção do grau de
MESTRE
em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007, CAPÍTULO I



Vila Real, 2013

Orientação Científica:

Doutor José Manuel Ribeiro Baptista

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

*"Sucesso é encontrar aquilo que se tenciona ser e
depois fazer o que é necessário para isso."*

Epíteto (55 -- 135)

À memória do meu avô, ***Francisco Cordeiro.***

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Os membros do Júri recomendam à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro a aceitação da dissertação intitulada “**Análise e Otimização do Sistema de Iluminação de um Edifício Público**” realizada por **Nuno Miguel Branco Cordeiro** para a satisfação parcial dos requisitos do grau de **Mestre**.

Junho 2013

Presidente: **Doutor José Paulo Barroso de Moura Oliveira,**
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias
C/Agregação da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogais do Júri: **Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares,**
Professor Adjunto do Departamento de Engenharia
Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Doutor José Manuel Ribeiro Baptista,
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão,
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Resumo

Nos últimos anos, verificou-se um crescimento exponencial de grandes edifícios, levando a um aumento do consumo de energia, sendo que a iluminação representa cerca de 30% do consumo global. A regulamentação em vigor exige que os edifícios de serviços apresentem consumos energéticos abaixo de determinados valores limites. A atualização dos sistemas de iluminação apresenta um potencial de poupança no consumo global de energia de cerca de 21% (DGEG, 2005) nos edifícios de serviços existentes, tornando esta medida numa das mais importantes a implementar.

Este trabalho visa analisar a viabilidade técnica e económica da substituição de sistemas de iluminação atualmente instalados num edifício de um estabelecimento de ensino superior, por outros mais eficientes, quer a nível da qualidade de iluminação, bem como a nível do consumo energético.

Numa primeira fase começar-se-á por efetuar o levantamento dos sistemas de iluminação existentes em todos os espaços do edifício. O consumo de energia elétrica será estimado através da potência instalada e dos perfis de utilização de cada espaço. A avaliação da qualidade de iluminação será efetuada pela via experimental, através de um luxímetro e por um programa de simulação numérica, o DIALux. De seguida, faz-se uma análise dos consumos de energia e do nível de qualidade da iluminação para os espaços tipo. Dos resultados obtidos, verifica-se que os sistemas de iluminação instalados no edifício são energeticamente pouco eficientes e, nalguns casos, também não asseguram os níveis de iluminância recomendados segundo a norma (EN 12464-1, 2002) essencialmente causado pela falta de manutenção pois o sistema de iluminação instalado está em muitos espaços sobredimensionado. Segue-se a avaliação técnica e económica da instalação de um novo sistema de iluminação em cada tipo de espaço, o qual deve corrigir os níveis de iluminação para os recomendados e ser energeticamente mais eficiente que o atual. Com esta análise foi possível concluir que a qualidade de iluminação nos espaços que requerem maior destreza visual é fraca, quer em termos de iluminância no plano de trabalho, quer em termos da uniformidade da luz no espaço e que os sistemas atuais possuem grandes perdas de energia, pois operam com balastros magnéticos, que substituídos por eletrónicos economizam em média 25 % do consumo energético em iluminação. Realizando um investimento de 23279,47 € com *PRI* de 2,91 anos, na implementação do sistema recomendado, o EEI-UTAD passará a consumir cerca de 86984,57 kWh (redução no consumo de 39,45 %) por ano, levando a uma poupança anual de 7934,23 €.

Palavras-chave: Auditoria energética, eficiência energética, luminotecnia, iluminação artificial, DIALux

Abstract

In the last years, there was an exponential growth of big buildings, which caused the increase of energy consumption of which illumination represents around 30% of the global consumption. The present legislation requires that the public services buildings have energetic consumptions below specific limit values. The update of lighting systems presents a potential economy in the global energy consumption of about 21% (DGEG, 2005) in the existing services buildings, which makes this measure one of the most important to be implemented.

This assignment aims the analysis of the technical and economical viability of substituting the existing lighting systems in a building of a university for more efficient ones, both at lighting quality and energetic consumption level.

Firstly, it will be done a survey of the existing lighting systems in every room of the building. The consumption of energy will be estimated through the installed power and the profile of the utilization of each room. The evaluation of the quality of lighting will be made with an experimental study, using a light meter and a program of numerical simulation, the DIALux. Then, it will be carried out an analysis of the energy consumption and the lighting quality of the type-spaces. From the results so obtained it can be verified that the systems which are installed in the building are not efficient enough in what energy is concerned and in some cases they don't assure the levels of illuminance recommend by the rule (EN12464-1, 2002). This is mainly caused by lack of maintenance, as the light system is over dimensioned in many rooms. Afterwards it will be done the technical and economical evaluation of a new lighting system in every kind of space, which should correct the levels of lighting for the recommended ones and be energetically more efficient than the present one. With this analysis it was possible to conclude that the quality of lighting in the rooms which need more visual capability (reading and writing for instances) is low, both in illuminance in the working place and uniformity of light in the room, because they use magnetic ballasts, which, if replaced by electronic ones would economize around 25% of the energetic consumption in lighting. Investing € 23279.47 and a payback of 2.91 years, by implementing the recommended system the Building of Engineering I of Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro will consume around 86984.57 kWh (a reduction in consumption of 39.45%) a year, which represents an annual saving of € 7934,23.

Keywords: Energetic survey, energetic efficiency, luminotech, artificial lighting, DIALux.

Agradecimentos

A realização desta Dissertação de Mestrado marca o fim de uma importante etapa da minha vida. Esta só foi possível graças à colaboração e ao contributo, de forma direta ou indireta, de várias pessoas, às quais gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento, em particular:

ao Professor Doutor José Manuel Ribeiro Baptista, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pela orientação, análise crítica, confiança e disponibilidade demonstradas ao longo deste trabalho.

ao Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, na qualidade de co-orientador desta dissertação, pelo seu apoio, pelas opiniões e críticas, total colaboração na solução de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho.

aos funcionários da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pelo acompanhamento nas visitas ao edifício objecto de estudo nesta dissertação.

aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esta fase, pelo companheirismo, força e apoio em certos momentos difíceis.

Por último, tendo consciência que sozinho nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento especial aos meus pais e namorada, por terem sido modelos de coragem, pelo seu apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foi surgindo. A eles dedico este trabalho.

Índice

Resumo.....	xi
Abstract	xiii
Agradecimentos.....	xv
Índice de Figuras.....	xxi
Índice de Tabelas	xxvii
Acrónimos e Abreviaturas	xxix
1 Introdução	1
1.1 Contexto atual do sector energético em Portugal	3
1.2 Motivações e objetivos	3
1.3 Organização da Dissertação.....	4
2 Auditoria Energética	5
2.1 Tipos de Auditoria	6
2.2 Metodologia de Realização da Auditoria	8
2.2.1 Visita à Instalação.....	8
2.2.2 Planeamento	8
2.2.3 Trabalho de Campo	9
2.2.4 Tratamento de Dados.....	10
2.2.5 Medições, Registos e Avaliação de Condição	12
2.2.6 Relatório	13
2.3 Políticas de Eficiência Energética	14
2.3.1 Racionalização da energia	14

2.3.2 Eficiência Energética	14
2.3.3 Eficiência energética em Sistemas de Iluminação	15
3 Conceitos e grandezas luminotécnicas fundamentais	17
3.1 Fluxo luminoso.....	17
3.2 Iluminância.....	18
3.3 Intensidade Luminosa	19
3.4 Luminância.....	20
3.5 Índice de reprodução de cor.....	20
3.6 Temperatura da cor.....	21
3.7 Propriedades luminotécnicas	23
3.8 Potência total instalada	24
3.9 Eficiência luminosa	24
3.10 Fator de depreciação.....	27
3.11 Vida útil	28
3.12 Sistemas de controlo de iluminação	29
3.12.1 Comando manual.....	29
3.12.2 Comando automático.....	29
3.13 Sistemas de Gestão Centralizada da Iluminação	32
3.14 Principais componentes de iluminação.....	32
3.14.1 Tipos de lâmpadas	32
3.14.2 Lâmpadas de Descarga.....	36
3.14.3 Lâmpadas de descarga de alta pressão	37
3.14.4 Lâmpadas de descarga de Baixa Pressão	44

3.15 Lâmpadas de indução	48
3.15.1 Lâmpada fluorescente de alta potência sem elétrodos	48
3.15.2 Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução	50
3.16 Lâmpada Led	50
3.17 Balastros	54
3.17.1 Balastros eletromagnéticos	54
3.17.2 Balastros eletrônicos	55
3.18 Luminárias	57
4 Caracterização do Sistema Atual de Iluminação do Edifício	59
4.1 Sistemas de iluminação existentes	59
4.2 Caracterização das luminárias atuais instaladas no edifício	62
4.3 Medição da iluminância dos espaços tipo	63
4.4 Avaliação da qualidade da iluminação atual	64
4.4.1 Parametrização no programa da iluminação dos espaços	64
4.4.2 Avaliação da iluminação de alguns espaços tipo	65
4.4.3 Tempo de utilização dos sistemas de iluminação instalados em cada espaço objeto de estudo	65
4.4.4 Iluminação da sala de aula E 1.02	66
4.4.5 Iluminação gabinete F 1.17	67
4.4.6 Iluminação do laboratório de termodinâmica I 1.02	67
4.4.7 Iluminação do anfiteatro G 0.03	68
4.5 Análise crítica aos sistemas atualmente instalados	68
5 Propostas de melhoria	71

5.1 Proposta 1 – Sistema Save It Easy.....	71
5.2 Proposta 2 – Sistema LEDtube	75
5.3 Seleção dos sistemas mais recomendados	76
5.4 Avaliação da qualidade da iluminação proposta	78
5.5 Iluminação da sala de aula E 1.02.....	78
5.6 Iluminação do gabinete F 1.17	80
5.7 Iluminação do laboratório de termodinâmica I 1.02.....	82
5.8 Iluminação do anfiteatro G 0.03.....	84
5.9 Incorporação de sistemas de controlo na iluminação.....	89
6 Conclusões.....	91
6.1 Medidas futuras de melhoria energética.....	93
7 Bibliografia.....	95
Anexo A	101

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Auditoria Preliminar.	6
Figura 2.2 – Auditoria Detalhada.	6
Figura 2.3 – Auditoria de Seguimento.	7
Figura 3.1 - Esquema representativo do fluxo luminoso [Fonte: (LLUM Bronziarte, 2012)]..	17
Figura 3.2 - Esquema representativo da iluminância [Fonte: (Osram, 2012)].	18
Figura 3.3 - (a) Representação dos planos C0/180 e C90/270 numa luminária axialmente simétrica [Fonte: (Ganslandt & Hofmann, 1992)]. (b) Distribuição da luz de uma luminária axialmente simétrica em 3D [Fonte: (DIALux)].	19
Figura 3.4 - Esquema representativo da luminância [Fonte: (Osram, 2012)].	20
Figura 3.5 – Índice de Reprodução de Cores [Fonte: (URGES, 2012)].	21
Figura 3.6 – Temperatura da cor [Fonte: (URGES, 2012)].	22
Figura 3.7 – Sistemas principais de iluminação artificial. (a) Iluminação geral. (b) Iluminação localizada. (c) Iluminação de tarefa.	23
Figura 3.8 – Eficiência luminosa [Fonte: (Philips, 2005)].	25
Figura 3.9 - Evolução da eficiência luminosa das fontes de luz. Adaptado de (Osram, 2012)..	25
Figura 3.10 - Aumento dos ganhos de eficiência luminosa da luminária com a diminuição do diâmetro das FT ou com a solução Enersave LED [Fonte: (Philips, 2005)].	26
Figura 3.11 – Representação do pé direito útil [Fonte: (Osram, 2012)].	27
Figura 3.12 - Depreciação do fluxo luminoso ao longo da vida útil das fontes de luz artificial [Fonte: (ATTOPSSL, 2012)].	28
Figura 3.13 Constituição de uma lâmpada incandescente [Fonte: (Philips, 2005)].	33

Figura 3.14 - Decomposição da energia consumida por uma lâmpada incandescente [Fonte: (Teixeira, 2006)].	33
Figura 3.15 - Constituição e operação das lâmpadas de tungstênio com refletor de baixa tensão [Fonte: (Teixeira, 2006)].	35
Figura 3.16 – Lâmpada de descarga [Fonte: (Rocha, 2007)].	36
Figura 3.17 – Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio [(Guerrini, 2009), (Teixeira, 2006)].	38
Figura 3.18 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [Fonte: (Teixeira, 2006)].	38
Figura 3.19 - Constituição de uma lâmpada de luz mista [Fonte: (Coletivourbane, 2013) e (Philips, 2005)].	40
Figura 3.20 – Constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [Fonte: (Teixeira, 2006) e (Philips, 2005)].	41
Figura 3.21 – Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [Fonte: (Teixeira, 2006) e (Osram, 2013)].	42
Figura 3.22 - Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [Fonte: (Teixeira, 2006)].	43
Figura 3.23 - Constituição da lâmpada fluorescente tubular [Fonte: (Teixeira, 2006)e (Philips, 2005)].	44
Figura 3.24 – Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas e sua constituição.	46
Figura 3.25 – Constituição da lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [Fonte: (Coletivourbane, 2013) e (Philips, 2005)].	47
Figura 3.26 – Constituição da Lâmpada fluorescente de alta potência sem eletrodos [Fonte: (Osetoreletrico, 2013) e (Philips, 2005)].	49
Figura 3.27 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [Fonte: (Pinto, 2008)].	51

Figura 3.28 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda [Fonte: (Pinto, 2008)].	52
Figura 3.29 – Visão interior de um LED [Fonte: (Harris, 2013)].	53
Figura 3.30 – Diagrama de um balastro eletrónico [Fonte: (EETT, 2007)].	55
Figura 3.31 – Exemplo de luminárias existentes no EEI-UTAD.	58
Figura 4.1 – Luminárias existentes no edifício em função do número e potência da lâmpada.	60
Figura 4.2 – Distribuição do número de lâmpadas existentes no edifício por potência da lâmpada.	61
Figura 4.3 – Balastro eletromagnético [Fonte: (Ilumina, 2013)].	61
Figura 5.1 – Sistema Save It Easy [Fonte: (Ploran, 2013)].	72
Figura 5.2 – Sistema Save It Easy instalado.	73
Figura 5.3 – Avaliação do consumo de energia eléctrica dos sistemas de iluminação.	77
Figura 5.4 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente na sala E 1.02.....	78
Figura 5.5 – Iluminância ao nível do plano de trabalho da sala E 1.02 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).	80
Figura 5.6 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no gabinete de docentes F 1.17.	81
Figura 5.7 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do gabinete de docentes F 1.17 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).	82
Figura 5.8 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no laboratório de termodinâmica I 1.02.....	83
Figura 5.9 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do laboratório de termodinâmica I 1.02 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).	84

Figura 5.10 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no anfiteatro G 0.03.....	85
Figura 5.11 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do Anfiteatro G 0.03 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).....	87
Figura 5.12 – Sistema de iluminação controlado por um sensor de luz. Adaptado de (Teixeira, 2006).....	90
Figura A.1 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual nos espaços de aulas. Adaptado de (Osram).....	103
Figura A.2 – Planificação dos custos do sistema de iluminação recomendado nos espaços de aulas. Adaptado de (Osram).	104
Figura A.3 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube nos espaços de aulas. Adaptado de (Osram).....	105
Figura A.4 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).	106
Figura A.5 – Planificação dos custos do sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).	107
Figura A.6 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação LEDtube aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).	108
Figura A.7 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação atual aplicado às áreas de circulação. Adaptado de (Osram).....	109
Figura A.8 – Planificação dos custos para as áreas de circulação tendo em conta o sistema de iluminação Save It Easy. Adaptado de (Osram).	110
Figura A.9 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação LEDtube aplicado às áreas de circulação. Adaptado de (Osram).	111
Figura A.10 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).....	112

Figura A.11 – Planificação dos custos referentes ao sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).....	113
Figura A.12 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).....	114
Figura A.13 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos restantes espaços. Adaptado de (Osram).....	115
Figura A.14 – Planificação dos custos do sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos restantes espaços. Adaptado de (Osram).	116
Figura A.15 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube aplicado aos restantes espaços. Adaptado de (Osram).	117
Figura A.16 – Valores globais dos parâmetros de cálculo tidos em conta para o estudo dos sistemas de iluminação.	118
Figura A.17 – Valores globais dos parâmetros de consumo energético tidos em conta para o estudo dos sistemas de iluminação.	119

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Comparação de fluxo luminoso para vários tipos de lâmpadas [Fonte: (Sá, 2010)].	18
Tabela 3.2 – IRC, exemplos de aplicação [Fonte: (URGES, 2012)]......	21
Tabela 3.3 – Relação entre a temperatura de cor e o nível de iluminação [Fonte: (Sá, 2010)]. .	22
Tabela 3.4 Principais características das fontes para diversas lâmpadas [Fonte: (Sá, 2010)]......	28
Tabela 3.5 – Comparação de vários controles de ocupação [Fonte: (Dilouie, 2005)]......	31
Tabela 3.6 – Classe de eficiência energética dos balastros [Fonte: (EET ^T , 2007)]......	57
Tabela 3.7 – Distribuição de luz por vários tipos de luminárias [Fonte: (Bradshaw, 2006)].	58
Tabela 4.1 – Potência máxima absorvida pelo conjunto lâmpada T8 + balastro eletromagnético classe B2 [Fonte: (Teixeira, 2006)]......	61
Tabela 4.2 – Custo dos dispositivos considerados na análise do sistema de iluminação atualmente instalado.	62
Tabela 4.3 – Levantamento das luminárias existentes no edifício.	63
Tabela 4.4 – Valores de iluminância medidos com o luxímetro nos espaços tipo sob estudo e os obtidos no mesmo ponto de medida no programa DIALux.	64
Tabela 4.5 – Resumo da avaliação do sistema atual de iluminação artificial do edifício (leituras efetuadas ao nível do plano de trabalho).	69
Tabela 5.1 – Potência máxima absorvida individualmente pelo sistema atual e o sistema proposto [Adaptado de: (Ploran, 2013)]......	74
Tabela 5.2 – Custo dos dispositivos considerados na análise dos sistemas de iluminação recomendados.	74
Tabela 5.3 – Custo dos dispositivos considerados na análise dos sistemas de iluminação da Alternativa 2.....	76

Tabela 5.4 – Resumo da avaliação económica das alternativas de iluminação mais recomendada.....	77
Tabela 5.5 – Características luminotécnicas da sala E 1.02 analisadas com o programa DIALux.	80
Tabela 5.6 – Características luminotécnicas do gabinete de docentes F 1.17 analisadas com o programa DIALux.	82
Tabela 5.7 – Valores das características luminotécnicas do laboratório de termodinâmica I 1.02 obtidos com o programa DIALux.	84
Tabela 5.8 – Características luminotécnicas do anfiteatro G 0.03 analisadas com o programa DIALux.	88
Tabela 5.9 – Características luminotécnicas dos espaços analisados com o programa DIALux.	89

Acrónimos e Abreviaturas

Lista de Acrónimos

Sigla	Expansão
ADENE	Agência para a Energia
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
CEE	Comunidade Económica Europeia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EEI-UTAD	Edifício de Engenharia I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
EN	European Norm
FT	Fluorescente Tubular
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LED	Light Emitting Diode
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PRE	Plano Racional de Energia
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios
IEE	Índice de Eficiência Energética

SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SIE	Save It Easy
STD	Standard
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
PRI	Período de Retorno de Investimento
UE	União Europeia
URE	Utilização Racional de Energia
VAL	Valor Atual Líquido

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado(s)
-------------	----------------

et al.	e outros (autores)
etc.	etecetera, outros
i.e.	isto é (de <i>id est</i>)
Obs.	Observação
p.ex.	por exemplo
F_60	Luminária Lâmpadas Tubulares Fluorescentes 60 cm e 18 W de potência

F_120	Luminária Lâmpadas Tubulares Fluorescentes 120 cm e 36 W de potência
F_150	Luminária Lâmpadas Tubulares Fluorescentes 150 cm e 58 W de potência
T8.1	Luminária constituída por uma lâmpada FT8
T8.2	Luminária constituída por duas lâmpadas FT8

1 Introdução

A gestão dos recursos de energia é hoje um dos principais desafios que a sociedade moderna enfrenta. O desenvolvimento económico caracterizou-se, nas últimas décadas, pela utilização muito intensa de energia produzida, em grande parte, a partir de recursos de origem fóssil. O impacto ambiental produzido e o facto de se tratar de recursos finitos, alertaram o mundo para a necessidade de procura de novas formas de energia que suportassem o atual modelo de desenvolvimento.

A globalização trouxe uma interdependência de fatores até há pouco considerados independentes, tais como o acesso à energia e a sua utilização, o desenvolvimento económico, o combate à pobreza e as preocupações ambientais e climáticas, entre outros. Novos caminhos têm que ser encontrados para manter os padrões de vida das sociedades desenvolvidas e as justas aspirações dos países em desenvolvimento, sem contudo comprometer o futuro das gerações vindouras. A maneira como utilizamos a energia de que dispomos é uma questão chave neste processo e por isso o aumento da eficiência energética das operações nas empresas é imprescindível para se atingirem os objetivos do novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pelo aumento dos correspondentes resultados económicos.

Numa auditoria energética pretende-se dar a conhecer tudo o que existe em termos de cargas, nomeadamente verificar e identificar disfuncionalidades assim como aconselhar medidas para que se possam diminuir os consumos e os encargos com a faturação energética, embora mantendo ou melhorando o nível de conforto, ou processos.

A Auditoria Energética surge como um instrumento fundamental na gestão do consumo de energia, na sequência do qual são conseguidos benefícios de vária ordem, como sejam: aumento da eficiência do sistema energético; redução da fatura energética; acréscimo da produtividade da empresa; conhecimento profundo das instalações e do custo energético de cada fase, processo ou sistema; aumento da competitividade, nos mercados internos e externos; redução do custo unitário de produção; identificar situações de desperdício de

energia e corrigi-las; contribuição para a redução dos impactos negativos sobre o ambiente, provocados pela utilização de energia.

No campo da eficiência energética existe uma aposta cada vez maior nos equipamentos com menor consumo, bem como na Utilização Racional de Energia (URE), no caso da iluminação, fator de análise nesta dissertação, há uma aposta em lâmpadas e equipamentos auxiliares mais eficientes. Através da URE podemos reduzir os consumos substancialmente, evitando gastos energéticos desnecessários, desligando por exemplo a iluminação nos períodos de ausência laboral.

Na UE a 27, o consumo de energia elétrica em iluminação no sector residencial representa mais de 12% do consumo total deste sector. Cerca de 20% da fatura de eletricidade de uma habitação é devida à iluminação e no sector dos serviços, essa percentagem, pode chegar até 60% (DGEG, 2012).

No nosso país, a situação é análoga. No sector doméstico a iluminação representa em termos médios cerca de 12% do consumo de energia elétrica e no sector dos serviços sobe para 20%, existindo em ambos os sectores um elevado potencial de economia de energia que devemos explorar (DGEG, 2012).

Logo, segundo a Direcção-Geral de Energia e Geologia, estima-se que, em média, a substituição dos sistemas de iluminação de um edifício de serviços por outros mais eficientes, resultaria numa poupança de energia na ordem de 20% do consumo total do edifício, identificando mesmo, que a substituição da mesma, como a medida de eficiência energética com maior impacto em termos da diminuição de consumos.

Neste âmbito a regulamentação em vigor do SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios) através da Diretiva n.º 2002/91/CE, DL 78/2006 de 4 de Abril, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios exige que os grandes edifícios de serviços, sejam eles novos, ou existentes apresentem consumos energéticos abaixo de determinados valores limite (ADENE, 2012).

1.1 Contexto atual do sector energético em Portugal

O procedimento a seguir nos edifícios já existentes passa pela análise da eficiência do sistema de iluminação e, no caso de ser economicamente viável, pela substituição de equipamentos menos eficientes e possivelmente aquisição de equipamento para controlo do sistema. O objetivo principal desta dissertação consiste na análise da viabilidade técnica e económica da substituição dos sistemas de iluminação existentes num edifício de um estabelecimento de ensino, por outros mais eficientes, quer em termos de consumo energético, quer em termos de iluminância.

1.2 Motivações e objetivos

Tendo em conta o contexto europeu e em particular o contexto português, no que se refere à eficiência energética de edifícios, nomeadamente a eficiência dos sistemas de iluminação, torna-se necessário adoptar medidas urgentes que contribuam para a redução de consumos de eletricidade em sistemas de iluminação.

Nos edifícios novos o projeto dos sistemas de iluminação deve ter em conta a adopção de tecnologias mais eficientes e permitir o aproveitamento de iluminação natural devido ao reduzido custo associado e assegurar o nível de conforto visual.

No caso de edifícios já existentes, o procedimento a seguir passa pela análise da eficiência do sistema de iluminação e, no caso de ser economicamente viável, pela substituição de equipamentos menos eficientes.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho consiste no estudo da eficiência energética dos sistemas de iluminação do EEI-UTAD.

Foram realizadas análises aos sistemas de iluminação de um edifício e propostas soluções que contribuem para a melhoria da sua eficiência.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos e um anexo além deste introdutório, divididos consoante o tema a tratar.

No Capítulo 2 desenvolve-se o conceito de Auditoria Energética, Metodologias de Realização de AE e Políticas de Eficiência Energética.

No Capítulo 3 abordam-se Conceitos e Grandezas Luminotécnicas Fundamentais, Propriedades Luminotécnicas, bem como os Principais Componentes de Iluminação.

No Capítulo 4 faz-se o levantamento e caracterização dos sistemas de iluminação instalados no EEI-UTAD.

No Capítulo 5 desenvolve-se o estudo dos níveis de iluminação para os vários espaços (salas, gabinetes, laboratórios, etc.), conseguidos com os sistemas atualmente instalados e comparação com os níveis recomendados para esse tipo de espaços. Análise a efetuar com recurso a um luxímetro e através de um programa de simulação (DIALux). Apresentam-se e desenvolve-se o estudo das propostas de melhoria.

Finalmente, no Capítulo 6 apresentam-se as conclusões baseadas nos resultados obtidos através dos estudos efetuados bem como sugestões de trabalhos futuros.

No Anexo A apresenta-se o desenvolvimento dos estudos.

2 Auditoria Energética

Uma Auditoria Energética (AE) consiste numa abordagem de todos os aspectos relacionados com o uso da energia, ou que de alguma forma contribuam para a caracterização dos fluxos energéticos. Como tal, auditoria energética pode definir-se como um exame detalhado das condições de utilização de energia numa instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detetadas.

Uma AE tem por objetivos a caracterização energética da instalação e sistemas instalados, assim como identificar e estudar as medidas com viabilidade técnico-económica a introduzir, de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade. Estas medidas serão integradas num plano estratégico de intervenção que definirá claramente as medidas a tomar e os objetivos anuais a alcançar, no que respeita à redução dos consumos energéticos (CMFG, 2012).

A condução eficaz de uma AE é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência correta, que vão desde a análise detalhada dos consumos de energia e produção dos cinco anos antecedentes à auditoria, passando pela análise detalhada das faturas de energia dos 12 meses que antecedem a auditoria, pela análise física dos equipamentos geradores e/ou consumidores de energia, as suas condições de operação e controlo, assim como os cuidados de manutenção e o seu tempo de funcionamento, até à fase final do estudo no qual são indicados os resultados e medidas a tomar para a redução dos consumos energéticos (CMFG, 2012).

2.1 Tipos de auditoria

Existem vários tipos de auditorias, as preliminares, as detalhadas, as especiais e as de seguimento, observando-se as suas principais fases nas Figuras 2.1, 2.2 e 2.3.

- A preliminar ou de pré-diagnóstico consiste no diagnóstico rápido das oportunidades de reduzir consumos e custos económicos.

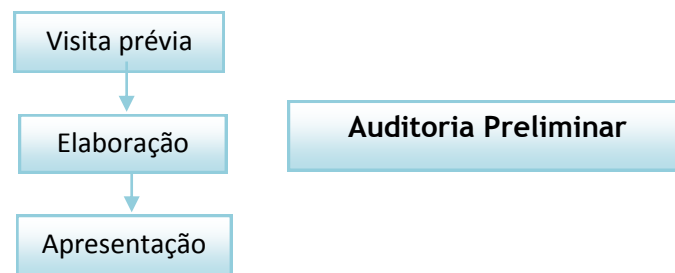


Figura 2.1 – Auditoria Preliminar.

- A detalhada corresponde à avaliação detalhada das oportunidades de redução de consumos e custos energéticos.
- A auditoria especial é uma auditoria detalhada de uma secção específica de uma empresa.

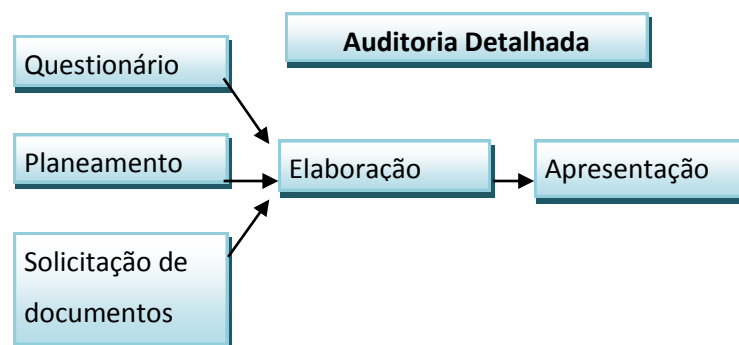


Figura 2.2 – Auditoria Detalhada.

- A auditoria de seguimento consiste na assistência à implementação de recomendações e avaliação dos seus efeitos.

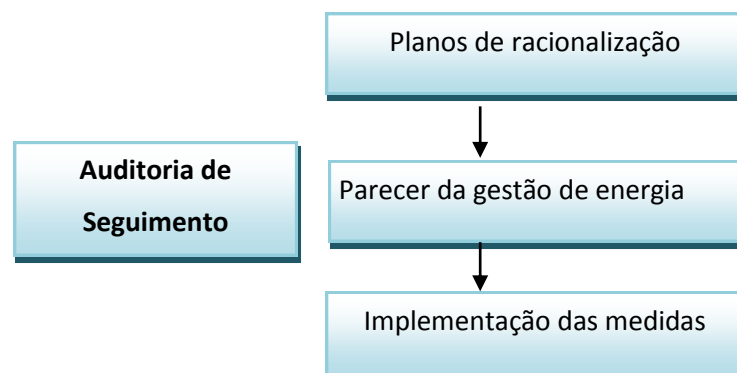


Figura 2.3 – Auditoria de Seguimento.

A auditoria preliminar, também chamada de diagnóstico energético, é a mais rápida e elementar forma de auditoria. Envolve entrevistas com o pessoal operador de maquinaria, uma revisão de faturas de energia e outros dados considerados importantes, e vistorias no local de forma a identificar possíveis áreas de desperdício ou de ineficiência energética. Tipicamente apenas os problemas com maior visibilidade serão detetados neste tipo de auditoria. As medidas corretivas serão descritas sucintamente e os custos estimados da implementação de medidas, os potenciais de poupança e os períodos de retorno do investimento, são calculados de forma simplificada. Estas auditorias apresentam um papel relevante em empresas que se encontrem numa fase inicial de gestão energética permitindo estabelecer prioridades de atuação e determinar a necessidade de auditorias mais detalhadas.

A auditoria detalhada, ou auditoria técnica, estende-se da auditoria geral através da criação de um modelo dinâmico da utilização de energia nas condições atuais de exploração e também para todas as medidas de eficiência energética identificadas. O modelo é calibrado de encontro aos dados de serviço reais de forma a fornecer uma base realista para a qual vão ser calculadas as reduções de custos associadas às medidas propostas. É dada especial atenção à compreensão das características de todos os sistemas consumidores de energia e também a situações que possam causar variações nos perfis de carga em bases diária e anual. Estas medidas deverão ter uma Seleção/Prioridade segundo um nível de inversão, rentabilidade e facilidade de execução.

A auditoria de seguimento destina-se a avaliar a adequabilidade e os resultados das medidas corretivas decorrentes das não conformidades verificadas em auditorias anteriores. Assistência à implementação de recomendações e avaliação dos seus efeitos.

Sendo o auditor a implementar as conclusões.

2.2 Metodologia de realização da auditoria

A AE é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência corretas:

- Visita à Instalação
- Planeamento
- Trabalho de Campo
- Tratamento de Dados
- Medições, Registos e Avaliação de Condição
- Relatório

2.2.1 Visita à Instalação

Durante a visita prévia devem esclarecer-se dúvidas relativas ao questionário e efetuar uma visita às instalações para reconhecimento das mesmas, podendo então estabelecer-se a duração da auditoria. Deve-se também identificar a informação a obter (faturas energéticas) e a existência ou não de pontos de medição.

2.2.2 Planeamento

A fase de planeamento de uma auditoria reveste-se de grande importância, constituindo uma etapa decisiva para a qualidade do trabalho a desenvolver. Entre as diversas

tarefas a realizar nesta fase, destacam-se o estabelecimento de objetivos, a seleção da equipa auditora e a atribuição das respetivas responsabilidades (Gaspar, 2004).

Deve começar-se por reunir alguma informação da empresa, enviando um questionário para preenchimento, que normalmente é completado com uma visita prévia às instalações. Estas informações vão servir para prever a duração da auditoria, a especialização da equipe auditora e o equipamento de medida necessário (Gaspar, 2004).

A fase de planeamento resume-se a:

- Definição de objetivos;
- Seleção da equipa de auditoria;
- Recolha de dados históricos (últimos 12 meses);
- Contabilidade energética (últimos 12 meses);
- Definição de um plano de atuação e medições;

2.2.3 Trabalho de campo

Já nas instalações fabris e sempre que tal seja necessário, a equipa de auditores deverá começar por completar e corrigir a informação previamente solicitada à empresa (Gaspar, 2004).

Como já foi dito anteriormente, a realização de uma auditoria energética pressupõe o conhecimento correto da estrutura dos consumos de energia da instalação auditada, dos consumos típicos globais e de cada um dos equipamentos que a utilizam. Assim, os fluxogramas surgem como uma ferramenta essencial no estudo do processo produtivo que permite saber onde e como são utilizadas as formas de energia consumidas (Gaspar, 2004).

Esta fase compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, começando por fazer todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia, analisando as operações ou os equipamentos mais consumidores de energia. O auditor deve também familiarizar-se com o processo de fabrico e as tecnologias que a ele estão associadas. A experiência mostra que a maioria das

empresas não dispõe ainda de instrumentação de medida adequada e calibrada à realização das medições e registos necessários (Gaspar, 2004).

Torna-se assim indispensável recorrer ao uso de instrumentos de medida portáteis.

Nesta fase devem-se recolher todos os elementos necessários para a elaboração de um balanço global à instalação e quando existirem equipamentos grandes consumidores de energia deve também fazer-se um balanço de massa e energia a esses equipamentos, com o intuito de determinar a quantidade de energia consumida, tendo em vista a sua regulação, controlo e manutenção mais adequada, assim como a implementação de sistemas de recuperação de energia (Gaspar, 2004).

O levantamento dos dados energéticos é agrupado por secções de equipamentos e estabelecem-se os diagramas de fluxo quantificando os fluxos de massa e energia. A eficácia da auditoria depende fortemente da qualidade do trabalho desenvolvido nesta fase. Para além de uma formação na área da energia, a intervenção no local exige um conhecimento, mais ou menos profundo, dos processos produtivos a analisar e das tecnologias de processo disponíveis. O trabalho de campo requer ainda uma atenção permanente da parte do auditor, de modo a que todas as situações passíveis de correção sejam detetadas (Gaspar, 2004).

A fase de Trabalho de Campo engloba a:

- Recolha de informação;
- Monitorização de consumos;
- Análise de equipamentos;
- Detecção de economias de energia.

2.2.4 Tratamento de dados

Após a intervenção no local, os auditores deverão organizar e tratar toda a informação recolhida ao longo das duas primeiras fases. O tratamento da informação deve privilegiar a produção de um conjunto de indicadores e outros resultados, de natureza quantitativa, susceptíveis de permitir uma avaliação rigorosa do desempenho energético da instalação (Gaspar, 2004).

A equipa de auditores deverá realizar os cálculos dos consumos específicos de energia por equipamento, produto, por sector produtivo e o global da instalação. Serão também determinadas as eficiências energéticas dos equipamentos de maior consumo de energia, que deverão ser analisadas criticamente e comparadas com equipamentos comercializados que apresentem bons rendimentos (Gaspar, 2004).

Será necessário analisar detalhadamente o processo de fabrico no sentido de verificar a correção dos procedimentos e identificar possíveis alterações que conduzam a um incremento da eficiência energética sem colocar em causa os níveis de produção e a qualidade dos mesmos.

Detetadas as situações de má utilização de energia, o auditor estudará as possíveis soluções a implementar para corrigir as anomalias. Deverá ser realizada uma análise técnico-económica a todas as soluções que eventualmente possam ser implementadas e quantificadas as potenciais economias de energia (Gaspar, 2004).

O tratamento da informação resume-se a:

- Sistema de Contabilidade e controlo energético dos vários sectores bem como dos equipamentos da instalação;
- Estabelecimento de normas de manutenção;
- Desenvolvimento de um conjunto de ações/procedimentos de formação dos colaboradores da instalação;
- Identificação de medidas inerentes à economia de energia:
 - Identificação da ação;
 - Identificação do equipamento em causa;
 - Relação benefício/investimento;
 - Identificadores económicos (PRI, TIR, VAL).

2.2 5 Medições, registos e avaliação de condição

O trabalho de campo compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, devendo ser efetuadas todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia.

Assim, a necessidade de determinar os consumos de energia sob diferentes formas, constitui um requisito básico para a realização de uma auditoria energética. Controlar os fluxos de energia que entram, circulam e saem da empresa é extremamente importante para quantificar as perdas de energia (Gaspar, 2004).

As diversas formas de energia adquiridas pela empresa auditada são conhecidas, uma vez que são medidas e faturadas pela empresa fornecedora. No entanto a desagregação dos consumos por utilização, secção ou equipamento e a avaliação das perdas de energia necessitam ser contabilizada, ou seja, medidas (Gaspar, 2004).

Para cada situação de medição existem diversas soluções, mas para que a escolha da mais apropriada, é imprescindível conhecer as possibilidades e as características dos equipamentos de medição (Gaspar, 2004).

Constatando que normalmente as empresas não dispõem de equipamentos de medição/contadores, são utilizados equipamentos portáteis de medição de gases, temperatura, humidade, rotação, grandezas elétricas, etc. (Gaspar, 2004).

Portanto, o que é importante reter é que o equipamento a utilizar ou a adquirir deverá ter as capacidades para garantir a qualidade mínima para a obtenção de parâmetros necessários para a elaboração de uma auditoria energética (Gaspar, 2004).

Nas medições, registos e avaliação de condições, fazem-se as seguintes análises:

- Análise dos principais equipamentos consumidores (térmica e elétrica);
- Análise dos serviços auxiliares;
- Instalação de ar comprimido, de frio e de vapor;
- Rede elétrica;

- Sistemas de iluminação;
- Climatização;
- Verificação do estado das instalações de transporte e distribuição de energia;
- Análise dos sistemas de gestão de energia da instalação;
- Produção de energia de origem renovável.

2.2.6 Relatório

Findo todo este processo, torna-se necessário elaborar um relatório onde conste de forma organizada toda a informação recolhida, a análise sobre a situação energética da empresa, as situações encontradas, a identificação das anomalias e propostas as medidas consideradas mais convenientes para as anular ou diminuir. Este documento deverá apresentar aos gestores da empresa, de uma forma organizada, clara e concisa, toda a informação relevante sobre a situação energética da instalação (Gaspar, 2004).

Ao elaborar o relatório, o auditor deverá ter presente a ideia de que a AE constitui o primeiro passo para a implementação de um processo contínuo de gestão de energia (Gaspar, 2004).

O relatório final deverá conter um sumário executivo, apresentando desde logo uma síntese dos resultados alcançados e a formulação de recomendações. Desta forma permite ao leitor ter uma visão global do conteúdo do relatório (Gaspar, 2004).

A estrutura de um relatório de auditoria é necessariamente afetada pelas características específicas do subsector de atividade e da instalação auditada, devendo constar os seguintes elementos (Gaspar, 2004):

- Objetivos e enquadramento da auditoria;
- Identificação da instalação;
- Contabilidade energética;
- Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;

- Cálculo de consumos específicos de energia por produto fabricado e a sua comparação com os valores legislados.

2.3 Políticas de eficiência energética

É de suma importância a referência às Políticas de Eficiência Energética intimamente ligadas à racionalização da energia e eficiência energética nos sistemas de iluminação.

2.3.1 Racionalização da energia

O conceito de racionalização não consiste só em fazer uma economia de energia elétrica. Racionalizar é economizar sem perda de conforto e eficiência. Veja-se por exemplo a redução da iluminação pública, não é uma medida aconselhável nem eficiente, uma vez que diminui a segurança do cidadão. Sendo muito mais aconselhável a troca das lâmpadas existentes por outras que consumam menos energia e que permitam a regulação do fluxo luminoso emitido, pela utilização de Reguladores de Fluxo. Deste modo a qualidade da iluminação aumenta e a vida útil das lâmpadas também.

Tendo em consideração o aumento constante do consumo energético a nível nacional, a gestão de energia tornou-se, assim, um imperativo, a criação de legislação que rege o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril.

O SGCIE é aplicável a toda e qualquer instalação Consumidora Intensiva de Energia (CIE) que no ano civil imediatamente anterior tenha tido um consumo energético superior ou igual a 500 toneladas equivalentes de petróleo (tep). Este sistema tem como principais objetivos o incentivo à promoção da eficiência energética e a monitorização dos consumos energéticos de instalações CIE.

2.3.2 Eficiência energética

Eficiência Energética pode ser definida como uma atividade que procura otimizar o uso das fontes de energia. Consiste em usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia, desde a sua transformação até à utilização.

A eficiência energética acompanha todo o processo de produção, distribuição e utilização da energia.

No âmbito da eficiência energética, Portugal através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, implementou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) – <<Portugal Eficiência 2015>>, o qual prevê uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10% (DL, 29/2011) do consumo final de energia até 2015.

2.3.3 Eficiência energética em sistemas de iluminação

Nos grandes edifícios de serviços a iluminação chega a ser responsável por mais de 30% dos gastos energéticos (DGEG, 2012). O consumo elétrico da iluminação pode mesmo chegar ao dobro, visto que a energia elétrica que não é convertida em luz é desperdiçada sob a forma de calor.

No âmbito da promoção da eficiência energética dos edifícios apareceram novos regulamentos, tais como o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que vieram impor novas regras e medidas no projeto de execução de novos edifícios e edifícios existentes. O objetivo final destes regulamentos são o de obter uma etiqueta de classe energética o mais alta possível, dentro da Diretiva do Conselho 92/75/CEE de 22 de Setembro.

Devido à existência de um leque variado de alternativas na área da iluminação com diferentes níveis de eficiência energética para o mesmo tipo de utilização, foi criada uma taxa sobre as lâmpadas de baixa eficiência, através do Decreto-Lei n.º 108/2007 de 12 de Abril, promovendo uma utilização mais racional da energia, visando motivar o cidadão para uma opção mais eficiente e globalmente mais económica, levando a uma compensação dos custos

decorrentes do consumo ineficiente de energia que as mesmas imputam ao ambiente. Como apoio ao cidadão a Diretiva 2010/30/UE de 19 de Maio, veio implementar a rotulagem dos equipamentos consumidores de energia (DGEG, 2012).

Nos edifícios já existentes, a substituição e a instalação de sistemas de controlo de iluminação artificial, poderão ser economicamente vantajosos. Baseado no consumo e custos de eletricidade efetua-se uma estimativa do consumo destinado ao sistema de iluminação, as exigências de cada tarefa deverão ser consideradas, ou seja, diferentes atividades visuais necessitam de luminárias diferentes. Os espaços deverão ser iluminados segundo a norma Europeia EN 12464-1 que estabelece os níveis médios de iluminância recomendados (EN 12464-1, 2002).

Simplificadamente um sistema de iluminação energeticamente eficiente baseia-se na minimização de duas variáveis, o tempo de utilização e a potência instalada. A minimização da potência instalada obtém-se através da utilização de componentes do sistema de iluminação artificial energeticamente eficientes, como lâmpadas com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas, balastros e sistemas de distribuição de controlo.

3 Conceitos e Grandezas Luminotécnicas Fundamentais

Neste Capítulo descrevem-se alguns conceitos inerentes ao estudo da aplicação de sistemas de iluminação nos espaços, designadamente as características fotométricas e as propriedades de cálculo luminotécnico, bem como esclarecimentos sobre características técnicas das lâmpadas, balastros e luminárias.

3.1 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso Φ é a quantidade total de energia luminosa Q [J] emitida a cada segundo por uma fonte luminosa, sendo a sua unidade o Lúmen [lm], na Tabela 3.1 pode-se observar comparativamente o fluxo luminoso para vários tipos de lâmpadas. A Figura 3.1 apresenta um esquema representativo do fluxo luminoso.

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (1)$$



Figura 3.1 - Esquema representativo do fluxo luminoso [Fonte: (LLUM|Bronziarte, 2012)].

Tabela 3.1 - Comparação de fluxo luminoso para vários tipos de lâmpadas [Fonte: (Sá, 2010)].

Lâmpada	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)
Descarga sódio baixa pressão	250	27000
Descarga iodetos metálicos	250	19000
Fluorescente standard	58 W/830*	5200
Fluorescente standard	58 W/865*	5000
Incandescente standard	300	4820
Fluorescente compactas	27 W/865*	1700
Incandescente standard	100	1340

*- Temperatura da cor da lâmpada

3.2 Iluminância

A iluminância E é o fluxo luminoso que incide sobre a área A da superfície por segundo, podendo ser medida com o auxílio de um luxímetro. Podemos considerar a existência de uma Iluminância média E_m , pois a intensidade do fluxo luminoso não é igual em toda a área onde incide o mesmo, considerando também que, com o tempo de uso, o mesmo se reduz devido tanto ao desgaste, quanto ao acumular de poeira na luminária. Devido a este facto, em Setembro de 2002 o Parlamento Europeu legislou a Norma EN 12464-1 estabelecendo um valor mínimo para a E_m segundo ambientes e atividades exercidas nos mesmos. Sendo a sua unidade de medida o Lux [lx]. Na Figura 3.2 encontra-se um esquema representativo da iluminância.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

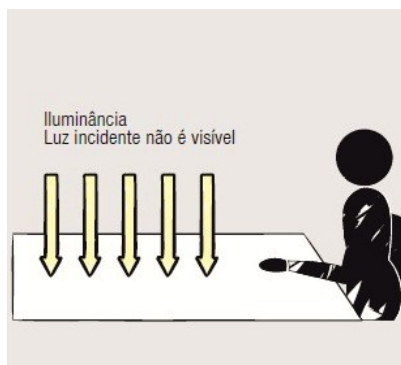


Figura 3.2 - Esquema representativo da iluminância [Fonte: (Osram, 2012)].

3.3 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa I é o fluxo luminoso concentrado numa direção específica compreendido na unidade de ângulo sólido ω (no qual é emitido). A sua unidade é o candela [$\text{cd} = \text{lm}/\text{sr}$].

Sendo sr o ângulo sólido que, tendo seu vértice no centro de uma esfera, intercepta sobre a superfície desta esfera uma área igual à de um quadrado que tem por lado o raio da esfera.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (3)$$

A representação gráfica da intensidade luminosa em todos os ângulos é designada por curva de distribuição luminosa (CDL). As luminárias necessitam de pelo menos duas curvas para se conhecer a sua completa distribuição fotométrica, definida pelos planos C0/180 e C90/270, i.e., os planos transversal e longitudinal da luminária, respectivamente (Figura 3.3).

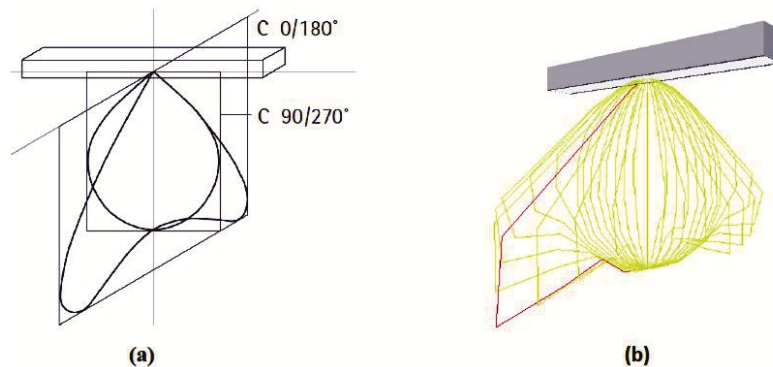


Figura 3.3 - (a) Representação dos planos C0/180 e C90/270 numa luminária axialmente simétrica [Fonte: (Ganslandt & Hofmann, 1992)]. (b) Distribuição da luz de uma luminária axialmente simétrica em 3D [Fonte: (DIALux)].

A representação gráfica em coordenadas polares da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num determinado plano é designada por CDL. São representadas no plano transversal e longitudinal.

3.4 Luminância

A luminância L define-se como a sensação de claridade emitida por uma superfície, provocada pelo reflexo dos raios de luz não visíveis. Determina-se através da razão entre a intensidade I emitida por uma fonte luminosa ou por uma superfície refletora e a sua área aparente A_a . A área aparente é a área projetada num plano perpendicular à direção de observação (Teixeira, 2006). Tem a unidade [cd/m^2]. Nas Figura 3.4, encontra-se representado um esquema representativo da luminância.

$$L = \frac{I}{A_a} = \frac{I}{A \times \cos \theta} \quad (4)$$

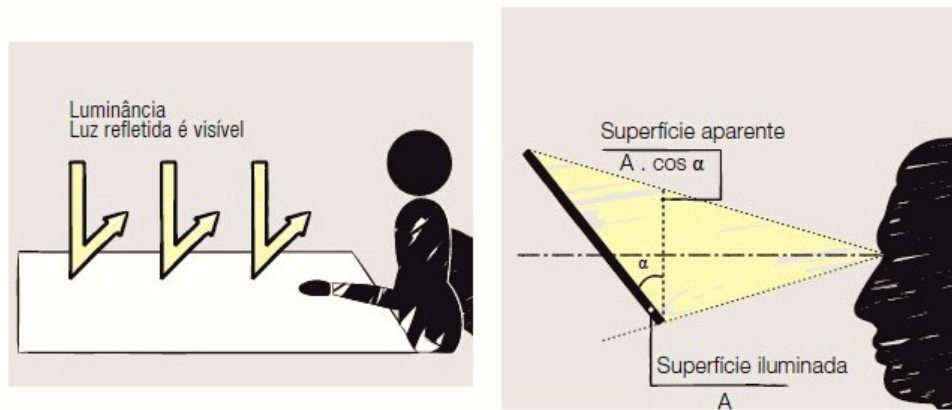


Figura 3.4 - Esquema representativo da luminância [Fonte: (Osram, 2012)].

Em que θ é o ângulo entre superfície iluminada e a área aparente.

3.5 Índice de reprodução de cor

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) ou Índice de Restituição Cromática R_a visa quantificar as variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes. A quantificação do IRC está definida numa escala qualitativa em função da luz natural, que vai de 0 a 100 (reprodução fidedigna). Segundo a norma europeia EN 12464-1, referente à iluminação de interiores, recomenda um valor não inferior a 80% de IRC . A Figura 3.5 apresenta um esquema de IRC e a Tabela 3.2 apresenta exemplos de aplicação em função do IRC .

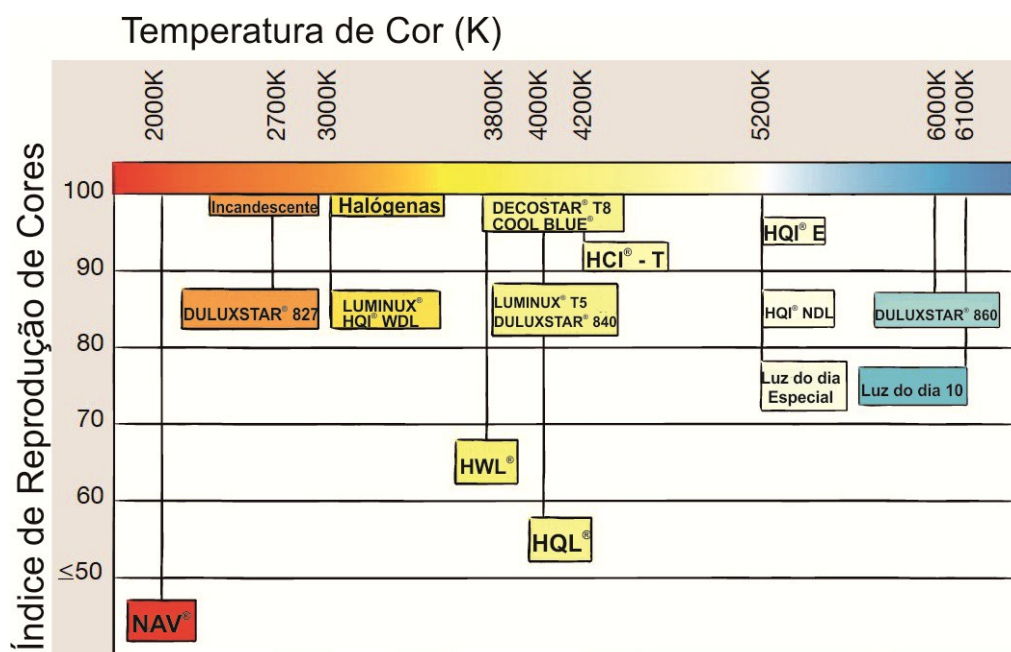


Figura 3.5 – Índice de Reprodução de Cores [Fonte: (URGES, 2012)].

Tabela 3.2 – IRC, exemplos de aplicação [Fonte: (URGES, 2012)].

IRC	Qualidade	Usos
100	excelente/muito bom	testes de cor, lojas, residências, escritórios
80	bom/razoável	áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios
60	regular	depósitos, postos de gasolina, indústrias
40	má	vias de tráfego, canteiros de obra, estacionamentos

A escolha do IRC de uma dada fonte luminosa depende da função a exercer, no caso de um edifício escolar como o que é objeto de estudo nesta dissertação e segundo a Norma Europeia EN 12464-1, o nível de IRC recomendado será variável entre 80 a 100%.

3.6 Temperatura da cor

A temperatura da cor T_c é utilizada para caracterizar a cor da luz por comparação com a cor do corpo negro, a uma determinada temperatura, a sua unidade de medida é o Kelvin (K).

Por exemplo, a cor da chama de uma vela é similar à de um corpo negro à temperatura de 1800 K, pelo que se diz que a T_c da chama de uma vela é de 1800 K.

A T_c só pode ser aplicada às fontes de luz que tenham semelhança com a cor de um corpo negro, como p.ex. a luz das lâmpadas incandescentes e a luz das lâmpadas fluorescentes.

A cor aparente da luz é um conceito que está ligado à T_c (K), e que traduz a sensação de tonalidade de cor (Paes, 2008).

Quanto maior for a temperatura de cor, mais clara será a tonalidade de cor da luz branca, é de salientar que a temperatura da cor não influencia a eficiência energética da lâmpada.

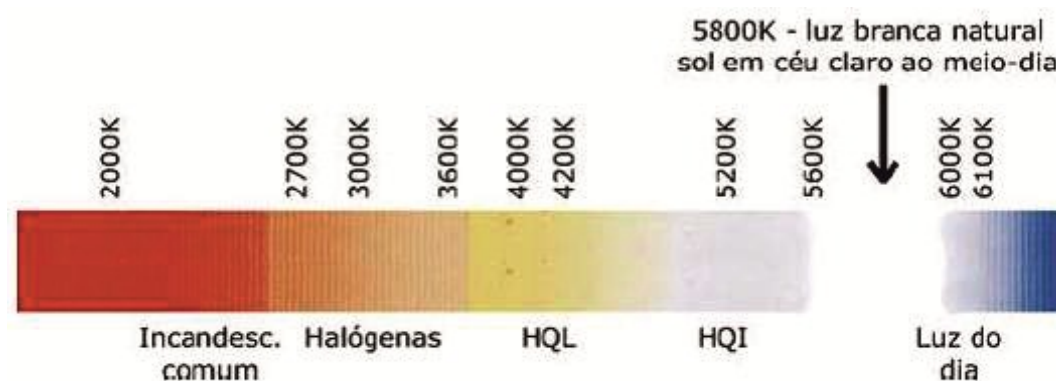


Figura 3.6 – Temperatura da cor [Fonte: (URGES, 2012)].

Tabela 3.3 – Relação entre a temperatura de cor e o nível de iluminação [Fonte: (Sá, 2010)].

Nível de iluminação (lx)	Quente	Intermédia	Fria
$E < 1000$	Agradável	Neutra	Fria
$1000 \leq E \leq 3000$	Estimulante	Agradável	Neutra
$E > 3000$	Artificial	Estimulante	Agradável

Observando a Figura 3.6 e a Tabela 3.3, verificamos que a referência a cores “quentes” ou “frias” tem o significado inverso ao valor da T_c .

Para se atingir uma iluminação de qualidade a temperatura de cor das lâmpadas a utilizar deve estar relacionada com o nível de iluminância. Quanto maior a iluminância do

ambiente, maior deve ser a temperatura da cor e consequentemente mais fria a aparência da cor (Teixeira, 2006).

3.7 Propriedades luminotécnicas

Um sistema de iluminação artificial divide-se em três grupos: o sistema principal, o sistema secundário e o sistema terciário. O sistema principal, que visa garantir as necessidades de conforto luminoso tem, por isso, um carácter mais funcional. Neste sistema insere-se a iluminação geral, a localizada e a de tarefa, apresentadas na Figura 3.7. O sistema secundário é responsável pela criação do ambiente sendo, por isso, de uma abordagem mais criativa e livre, p.ex., a luz decorativa e arquitectónica. O terceiro sistema de iluminação é o de segurança que, em caso de emergência ou de avaria da iluminação normal, indica o caminho para o exterior e permite a intervenção de equipas de socorro.

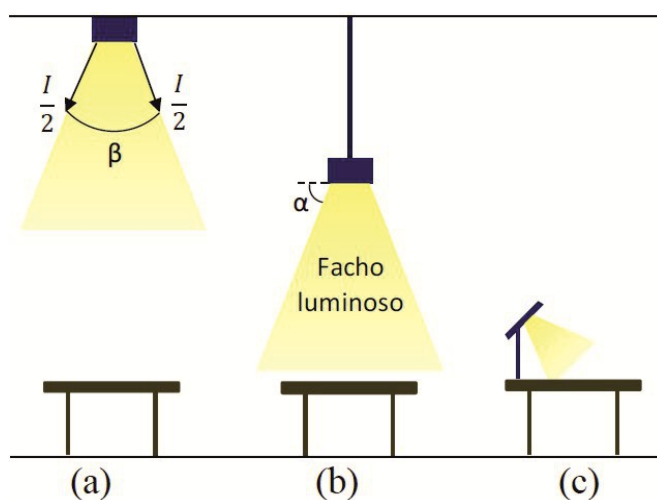


Figura 3.7 – Sistemas principais de iluminação artificial. (a) Iluminação geral. (b) Iluminação localizada. (c) Iluminação de tarefa.

Na Figura 3.7, o α representa o ângulo limite da CDL (*cut-off angle*) e β o ângulo do fecho luminoso para metade dos valores de intensidade luminosa (*beam spread*).

3.8 Potência total instalada

Potência total instalada ou fluxo energético, P_t , é a potência de todos os equipamentos instalados que fazem parte do sistema de iluminação, nomeadamente as fontes de luz, o equipamento auxiliar e os comandos de circuitos de iluminação. A sua unidade é o Watt [W] e é definida por:

$$P_t = \sum_{i=1}^n n_i \times P_i \quad (5)$$

em que n_i é a quantidade de equipamentos instalados do tipo i no sistema de iluminação e P_i [W] a potência destes. A densidade de potência, D , indica a potência total instalada consumida por metro quadrado de área. A sua unidade é o Watt por metro quadrado [W/m^2] e é definida por:

$$D = \frac{P_t}{A} \quad (6)$$

em que A é a área de pavimento do espaço. Esta grandeza é frequentemente utilizada para os cálculos de dimensionamento de sistemas de ar-condicionado e de projetos elétricos de uma instalação.

Quando é necessária a comparação entre dois espaços em que não existe o mesmo nível de iluminação, utiliza-se a densidade de potência relativa D_r que é a densidade de potência total instalada por cada 100 lx de iluminância (produzidos no espaço). A sua unidade é o Watt por metro quadrado por 100 lx [$W/(m^2 \cdot 100 \text{ lx})$] e é dada por:

$$D_r = \frac{D}{E_m/100} = \frac{P_t \times 100}{A \times E_m} \quad (7)$$

sendo A a área total de pavimento do espaço e E_m a iluminância média nesse espaço [lx].

3.9 Eficiência luminosa

A Eficiência luminosa η_w é o quociente entre o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa em lúmen (lm), pela potência consumida em Watt (W). A sua unidade é [lm/W]. A Figura 3.8 ilustra um esquema representativo da eficiência luminosa.

$$\eta_w = \frac{\Phi_l}{P_l} \quad (8)$$

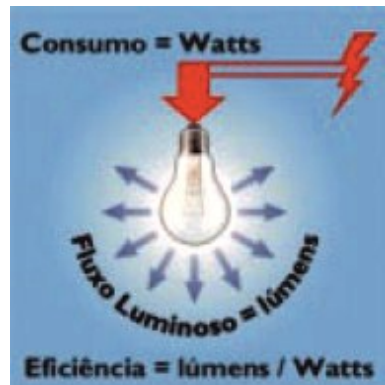


Figura 3.8 – Eficiência luminosa [Fonte: (Philips, 2005)].

Na Figura 3.9 apresenta-se a eficiência luminosa de algumas lâmpadas existentes, sendo que a barra de cor de laranja significa a oscilação dos valores de eficácia dentro de cada tipo de lâmpada.

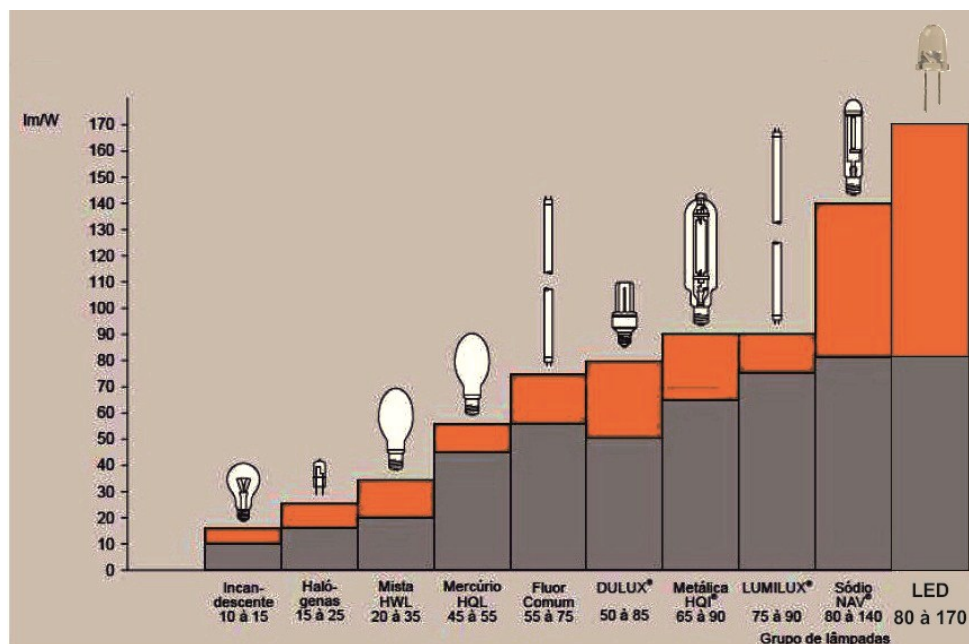


Figura 3.9 - Evolução da eficiência luminosa das fontes de luz. Adaptado de (Osram, 2012).

Quanto maior o valor da eficiência de uma determinada lâmpada, maior será a iluminância produzida com o mesmo consumo.

A eficiência luminosa de uma luminária η_L é dada pela razão entre o fluxo luminoso que sai da luminária (Φ_L) e o fluxo luminoso (Φ_l) produzido pela fonte de luz dessa luminária (ou seja, pela lâmpada).

$$\eta_L = \frac{\Phi_L}{\Phi_l} \quad (9)$$

A título de exemplo apresenta-se na Figura 3.10 a influência do diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares (FT) e da luz hemisférica da lâmpada LED na eficiência luminosa de uma luminária.

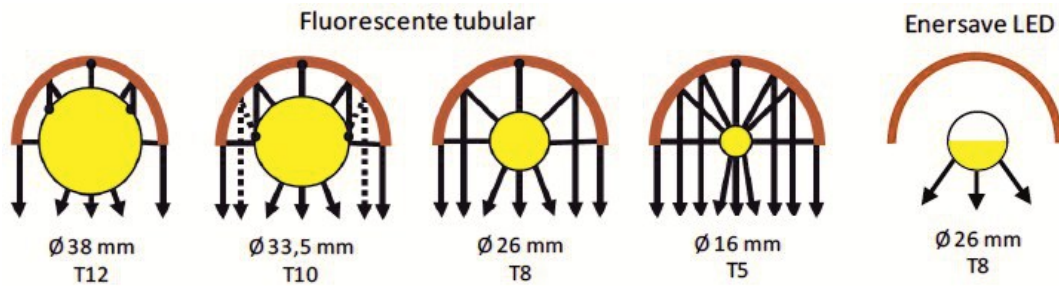


Figura 3.10 - Aumento dos ganhos de eficiência luminosa da luminária com a diminuição do diâmetro das FT ou com a solução Enersave LED [Fonte: (Philips, 2005)].

Para determinar a eficiência energética de um sistema de iluminação deve ser levado em consideração o aproveitamento da luz natural, a eficácia luminosa das fontes de luz artificial, a eficiência luminosa das luminárias e a eficiência do recinto.

A eficiência do recinto, η_R , relaciona a CDL de uma luminária com o coeficiente de reflexão ρ das paredes, teto, chão e com o índice do recinto. O índice do recinto Kr é a relação entre as dimensões do local e é dada por:

para a iluminação direta:

$$K_{rd} = \frac{a \times b}{h(a + b)} \quad (10)$$

para iluminação indireta:

$$K_{ri} = \frac{3 \times a \times b}{2 \times h'(a + b)} \quad (11)$$

Nas equações anteriores a representa o comprimento do recinto [m], b a largura [m], h o pé direito útil [m], sendo este o valor do pé direito total (H) menos a altura do plano de trabalho (h_{pt}), menos a altura do pendente da luminária (h_{pend}), isto é a distância real entre a luminária e o plano de trabalho, h' é a distância do teto ao plano de trabalho [m]. É possível constatar que quanto maior a área do espaço, menor é a eficiência luminosa do recinto (Osram, 2012). Na Figura 3.11 ilustra-se mais pormenorizadamente o pé direito útil.

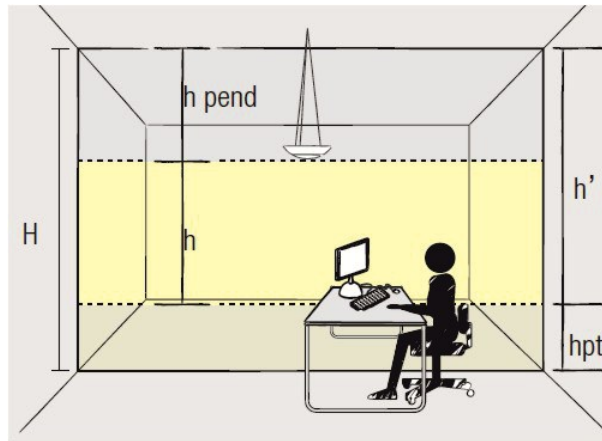


Figura 3.11 – Representação do pé direito útil [Fonte: (Osram, 2012)].

3.10 Fator de depreciação

O factor de depreciação (Fd) do fluxo luminoso deve-se essencialmente à diminuição do fluxo luminoso emitido pelas fontes de luz artificial ao longo da sua vida útil, à acumulação de sujidade ou de poeiras, que se depositam na luminária e à diminuição do poder refletor das paredes e teto, como consequência do seu escurecimento progressivo. Apresenta-se na Figura 3.12 a depreciação do fluxo luminoso de várias fontes de luz artificial.

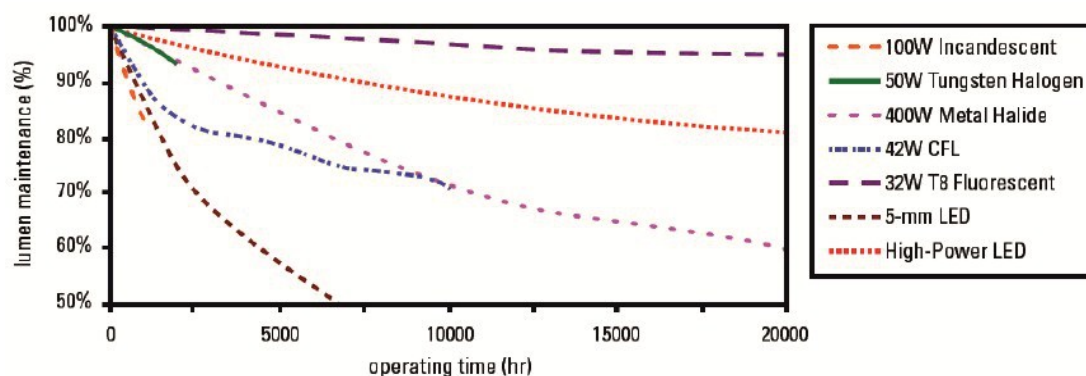


Figura 3.12 - Depreciação do fluxo luminoso ao longo da vida útil das fontes de luz artificial [Fonte: (ATTOPSSL, 2012)].

3.11 Vida útil

A vida útil corresponde à durabilidade em horas das lâmpadas e balastros. Corresponde ao número de horas, no qual o fluxo luminoso das lâmpadas testadas sofreu uma depreciação na ordem dos 25%. Assim sendo, a vida útil é o tempo recomendado para o uso de uma lâmpada mantendo a sua eficiência luminosa (Philips, 2005).

De modo a explicar a importância das características das fontes luminosas, referidas anteriormente, a Tabela 3.4 sintetiza alguns critérios fundamentais para a avaliação das diferentes tecnologias de iluminação.

Tabela 3.4 Principais características das fontes para diversas lâmpadas [Fonte: (Sá, 2010)].

Tipos de lâmpada	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/w)	Vida útil (h)	Temperatura da cor (K)
Incandescentes	100	10 a 20	1000	2400 a 3100
Halogêneas	100	15 a 22	2000	3000
Vapor de mercúrio de baixa pressão	80 a 85	45 a 75	9000 a 28000	3000 a 4000
Mista	55 a 60	20 a 35	6000	3000 a 4100
Multivapores metálicos	80 a 85	65 a 90	8000	3000 a 4200
Fluorescentes				
Comum	70 a 85	60 a 82	7500	4000 a 6100
Indução magnética	80 a 89	80 a 110	60000	4000
Compactas	82 a 85	59 a 68	8000	2700
Sódio de alta pressão	20 a 39	70 a 130	24000	2000

Ao analisar a Tabela 3.4, em termos de eficiência energética, verifica-se que as lâmpadas fluorescentes de sódio em alta pressão apresentam uma elevada eficiência. Porém, ao relacionar com as outras características esta não será a melhor opção em termos de conjunto, visto que a escolha depende também da sua finalidade.

3.12 Sistemas de controlo de iluminação

Os sistemas de controlo permitem regular a operação do sistema de iluminação. A escolha apropriada do sistema de controlo da iluminação proporciona poupanças elevadas que podem atingir 50% do consumo (EETT, 2007). Sendo que os mesmos podem ser de comando manual e automático

3.12.1 Comando manual

A utilização do sistema “*on / off*” é a estratégia mais antiga do comando de iluminação em função da luz natural disponível. Esta função de controlo básico é realizado recorrendo a interruptores. O grau em que essa função é executada depende de outras variáveis como o reconhecimento de ocupação e do bom senso dos utilizadores desse espaço. Por isso, define-se como um sistema pouco eficiente (IEA, 2006).

3.12.2 Comando automático

3.12.2.1 Controlo temporizado

Com este sistema a iluminação é ligada e desligada automaticamente mediante um horário pré-definido, coincidindo com o horário em que normalmente é utilizado o espaço em questão. Dentro deste sistema são geralmente utilizados os interruptores horários, que permitem comandar circuitos de iluminação num horário pré-determinado. Estes interruptores podem ser analógicos ou digitais, mas estes últimos são mais caros, pois permitem guardar o programa em memória, com um ou mais canais, permitindo comandar mais do que um circuito. No entanto deve-se sempre prever a possibilidade de ativar manualmente a iluminação fora do período estabelecido (IEA, 2006) e (EETT, 2007).

Estes sistemas constituem muitas vezes uma solução simples e eficiente, quer do ponto de vista energético, quer da produtividade e até da própria segurança (IEA, 2006).

3.12.2.2 Controlo sensível à ocupação

Este sistema liga a iluminação durante um determinado período de tempo, apenas quando deteta a ocupação do espaço em causa (EETT, 2007). Para efetuar este tipo de controlo é necessário dispor de sensores que podem ser de três tipos diferentes: infravermelhos passivos, ultra-sónicos e híbridos. Os sensores infravermelhos passivos reagem à emissão de calor pelos corpos em movimento no campo de visão, enquanto os sensores ultra-sónicos emitem ondas ultra-sónicas para detetar a presença de ocupantes. Já os híbridos utilizam ambas as tecnologias, minimizando o risco de falsos disparos. Contudo, todos estes tipos de sensores baseiam-se na presença de movimento que desligam as lâmpadas automaticamente em ambientes desocupados, acendendo-as, da mesma forma, quando o ambiente é ocupado o que se traduz numa poupança de energia (IEA, 2006). As poupanças alcançadas dependem do espaço e do perfil da ocupação, variando normalmente entre 35 e 45%. Este sistema de controlo por norma é utilizado em espaços em que a sua ocupação é irregular (EETT, 2007).

3.12.2.3 Controlo sensível ao nível de iluminação

Os sensores de luminosidade podem ser instalados no interior ou no exterior da instalação, podendo controlar várias luminárias ou serem instalados localmente. Este sistema pode ser dividido em duas categorias: interruptores crepusculares e reguladores de fluxo “*dimming*” (EETT, 2007). Os interruptores crepusculares permitem comandar circuitos de iluminação a partir de um dado nível de iluminância medido com uma célula fotoelétrica. Estes dispositivos permitem fazer um aproveitamento da luz natural e devem ser usados em conjunto com interruptores horários nas situações em que o horário de trabalho não coincida com as horas em que a iluminação é suficiente (Dilouie, 2005). Nos sistemas de “*dimming*” existe a associação de reguladores de fluxo luminoso com sensores de luz natural. Neste sistema, o nível de iluminação é adaptado para valor global pretendido, assegurando que com conjunto da iluminação natural e artificial, mantém a mesma luminosidade no local (EETT, 2007).

Estes sistemas permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto visual necessários em cada local. Tendo como a principal desvantagem um custo de investimento muito elevado (Dilouie, 2005).

Há uma infinidade de particularidades e modelos de sensores que podem determinar a escolha do sensor apropriado para um determinado ambiente.

A escolha de um sistema de gestão de iluminação revela-se particularmente difícil porque depende de numerosos parâmetros tais como a iluminação natural disponível, os tipos de lâmpadas utilizadas, o tipo e disposição das armaduras, o modo de ocupação do espaço, as dimensões do local e o número de ocupantes (Dilouie, 2005).

Tanto os comandos automáticos como os manuais contribuem para a diminuição do tempo de vida das lâmpadas. Contudo este efeito é mínimo quando comparado com as poupanças proporcionadas por um adequado sistema de controlo.

Tabela 3.5 – Comparação de vários controlos de ocupação [Fonte: (Dilouie, 2005)].

	Sensibilidade de ocupação	Seleção do nível de luz	Potencial de poupança de energia	Gestão de dados	Capacidade de integração	Adaptação ao espaço	Custo
Interruptores (on/off)	Bom	Razoável	Razoável	Não	Não	Fraco	Médio
Sistemas de controlo (on/off) automático de edifícios	Fraco	Fraco	Fraco	Sim	Sim	Bom	Baixo
Controladores à base de temporizadores programáveis	Excelente	Razoável	Bom	Sim	Sim	Bom	Médio
Reguladores de fluxo baseados em controlos programáveis	Excelente	Excelente	Excelente	Sim	Sim	Bom	Elevado
Sistema baseado em sensores de ocupação	Excelente	Fraco	Bom	Não	Não	Fraco	Elevado

Os sistemas de controlo por regulação do fluxo luminoso, embora de maior custo, apresentam as melhores características a longo prazo, contudo os sistemas temporizadores constituem muitas vezes a solução mais eficiente, quer do ponto de vista energético, quer da economia.

3.13 Sistemas de gestão centralizada da iluminação

Em termos de gestão, a arquitetura dos novos sistemas de iluminação caracteriza-se por um controlo local por grupos, permitindo um registo inicial de cenários luminosos na memória da unidade de gestão. Um sistema de gestão centralizada apresenta três grandes vantagens: permite registar informações úteis para a gestão energética e para a manutenção das fontes luminosas, assegura a integração do sistema de iluminação no sistema de gestão centralizada do edifício e por último confere uma grande flexibilidade ao sistema. No entanto este sistema de gestão centralizado da iluminação apresenta duas desvantagens: elevado investimento inicial e exige uma separação dos circuitos de potência (IEA, 2006) e (Dilouie, 2005).

3.14 Principais componentes de iluminação

Nesta secção apresentam-se esclarecimentos sobre os aspectos mais teóricos, como o princípio de funcionamento das fontes de luz artificial.

3.14.1 Tipos de lâmpadas

3.14.1.1 Lâmpadas Incandescentes

Desenvolvida no final do século XIX, a lâmpada incandescente é uma das maiores invenções da história da humanidade (Hordeski, 2003). Possui uma ampola de vidro bastante fino em cujo interior existe um filamento feito de tungsténio e enrolados em dupla ou tripla helicóide para aumentar a eficiência luminosa, o qual é aquecido pela circulação de corrente elétrica, que quando levado à incandescência produz luz e calor (Guerrini, 2009) e (IEA,

2006). A sua oxidação é evitada pela presença de um gás inerte ou em vácuo (ELCFED, 2012) e (Alvarez-Caicoya et al., 2011).

Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na Figura 3.13.

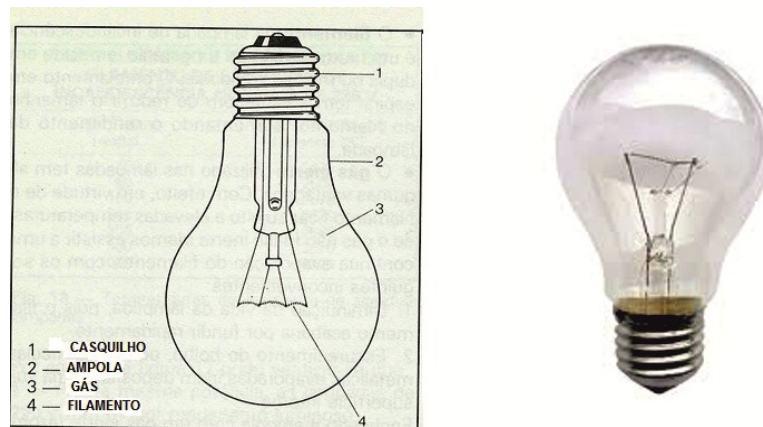


Figura 3.13 Constituição de uma lâmpada incandescente [Fonte: (Philips, 2005)].

Estas lâmpadas são pouco eficientes porque, apenas 10% da energia é transformada em radiação visível, enquanto que grande parte da energia consumida é dissipada sob a forma de calor ou em radiações não visíveis pelo olho humano, como se pode observar na Figura 3.14.

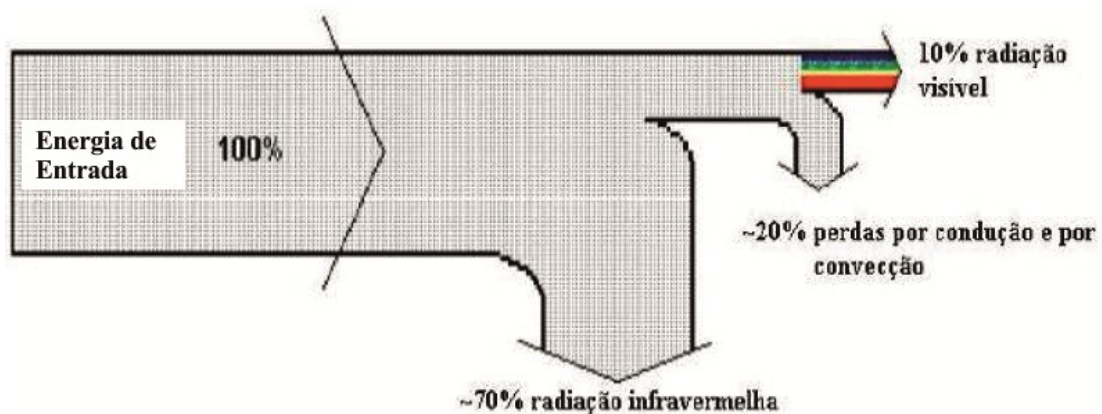


Figura 3.14 - Decomposição da energia consumida por uma lâmpada incandescente [Fonte: (Teixeira, 2006)].

Este tipo de lâmpadas apesar de garantirem uma iluminação de qualidade e terem um baixo custo inicial, bem como de reposição, têm como principal desvantagem uma vida relativamente curta, são pouco eficientes e são caras de explorar (Hordeski, 2003) e (Bradshaw, 2006).

Uma das vantagens destas lâmpadas é arrancarem instantaneamente.

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (Hordeski, 2003) e (EETT, 2007):

- Potência: 15 a 1 000 W;
- Eficiência Luminosa: 9 a 25 lm/W;
- IRC: 100%
- Temperatura de cor: 2700 K;
- Tempo de vida útil: 1000 horas.

Devido ao facto de as lâmpadas de incandescência possuírem muito baixa eficácia luminosa, a União Europeia publicou uma Diretiva (Diretiva 2005/32/CE) e um Regulamento (Regulamento 2009/244/CE) para a eliminação progressiva do uso das lâmpadas incandescentes e das de halogéneo. Atualmente em Portugal a comercialização deste tipo de lâmpadas está muito condicionada e sujeita a taxas elevadas (Decreto-Lei 108/2007, Portaria 54/2008, Portaria 63/2008).

3.14.1.2 Lâmpadas de halogéneo

As lâmpadas halogéneas possuem um filamento de tungsténio e uma ampola de quartzo resistente às altas temperaturas, sendo preenchidas com gases inertes (iodo, cloro e bromo). O composto halogéneo captura os átomos de tungsténio que são ejetados do filamento transportando-os de volta para o filamento, promovendo uma regeneração do mesmo. Tal efeito faz com que este tipo de lâmpada tenha uma durabilidade até duas vezes maior do que as tradicionais lâmpadas incandescentes, além de permitir uma ótima manutenção do fluxo luminoso, uma vez que este ciclo regenerativo serve para evitar o escurecimento da ampola e prolongar a vida da lâmpada (Philips, 2005).

O resultado é uma maior eficiência energética e uma luz mais brilhante e uniforme ao longo de toda a vida. Todavia, o fluxo luminoso mantém-se próximo dos 95% do seu valor inicial até ao final da sua vida útil.

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (IEA, 2006) e (EETT, 2007):

- Potência: 5-150 W;
- Eficiência Luminosa: 18 a 33 lm/W;
- IRC: 100%
- Temperatura de cor: 3000 K;
- Tempo de vida útil: 2000 a 4000 horas.

Algumas lâmpadas de halogéneo possuem um refletor incorporado, com espelho dicróico que desvia grande parte do calor produzido para trás da lâmpada, sendo estas denominadas de lâmpadas de halogéneo com refletor, sendo que algumas destas lâmpadas são alimentadas a 12 ou 24 V, pelo que precisam de um transformador auxiliar para fazer a ligação à rede, conseguindo índices de eficiência ligeiramente superiores. A Figura 3.15 mostra este tipo de lâmpada.



Figura 3.15 - Constituição e operação das lâmpadas de tungsténio com refletor de baixa tensão [Fonte: (Teixeira, 2006)].

3.14.2 Lâmpadas de descarga

Este tipo de lâmpadas é constituído por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois eléctrodos colocados nos extremos de um tubo como indicado na Figura 3.15. Quando uma diferença de potencial é aplicada aos eléctrodos dá-se uma descarga eléctrica produzindo excitação dos electrões o que leva à ionização do gás existente que, por sua vez, dá origem à emissão de luz. A primeira descarga eléctrica precisa de maior tensão para ionizar pela primeira vez, pelo que estas lâmpadas necessitam de um arrancador que gera uma sobretensão quando se liga a lâmpada.

Outro equipamento necessário para o uso deste tipo de lâmpadas é o balastro, que limita a corrente fornecida à lâmpada após o arranque. Após a formação do arco, a impedância da lâmpada desce e o balastro impede a ocorrência de um curto-circuito (Guerrini, 2009) e (ELCFED, 2012).

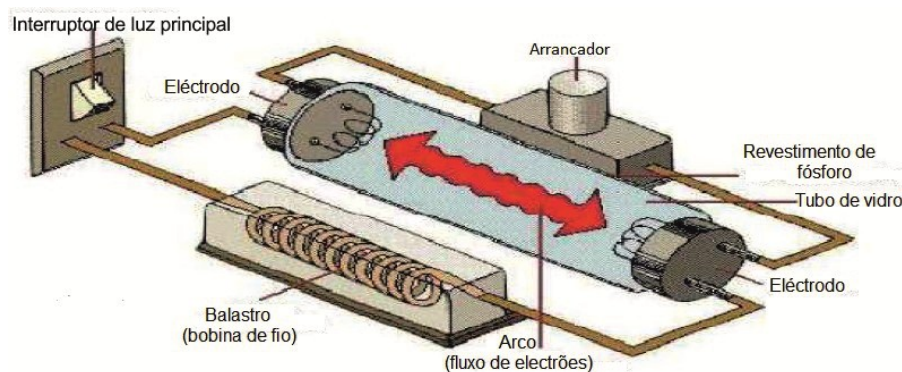


Figura 3.16 – Lâmpada de descarga [Fonte: (Rocha, 2007)].

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Guerrini, 2009):

- Eficiência Luminosa: 30 a 140 lm/W;
- Temperatura de cor: 2000 a 6000 K;
- Tempo de vida útil: 2000 a 12000 horas.

Os tipos mais comuns de lâmpadas de descarga possuem um gás ou vapor metálico de alta pressão e de baixa pressão (Teixeira, 2006).

Das lâmpadas de descarga de alta pressão fazem parte os seguintes tipos:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio;
- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

Enquanto que, nas lâmpadas de descarga de baixa pressão incluem-se os seguintes tipos:

- Lâmpadas fluorescentes tubulares (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão.

3.14.3 Lâmpadas de descarga de alta pressão

3.14.3.1. Lâmpadas de vapor de mercúrio

As lâmpadas de descarga de alta pressão usaram-se durante muitos anos, como fonte de descarga, o vapor de mercúrio, ao qual se adicionava uma pequena quantidade de gás inerte de fácil vaporização a fim de facilitar o arranque (Teixeira, 2006).

Esta lâmpada tem dentro do tubo de descarga vapor de mercúrio e argon e quatro eletrodos: dois principais e dois auxiliares. A luz desta lâmpada é caracterizada por falta de radiações vermelhas, tomando uma cor branco – azulada (este inconveniente pode ser melhorado com a junção em série de um filamento de tungstênio, originando a chamada lâmpada mista) (Guerrini, 2009). A Figura 3.17 mostra a constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio.

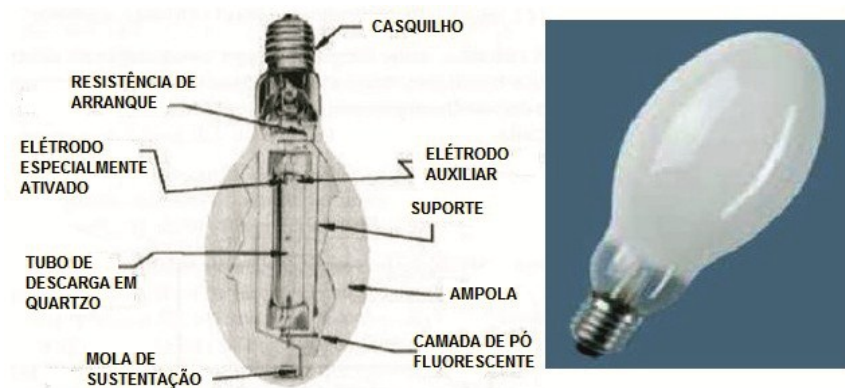


Figura 3.17 – Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio [(Guerrini, 2009), (Teixeira, 2006)].

Neste tipo de lâmpadas 50% da energia é transformada em radiação, dos quais 15% correspondem a radiação visível, 15% correspondem a radiação infravermelha e 20% a radiação ultravioleta. A outra metade da potência consumida corresponde a perdas como indica a Figura 3.18, (Teixeira, 2006).

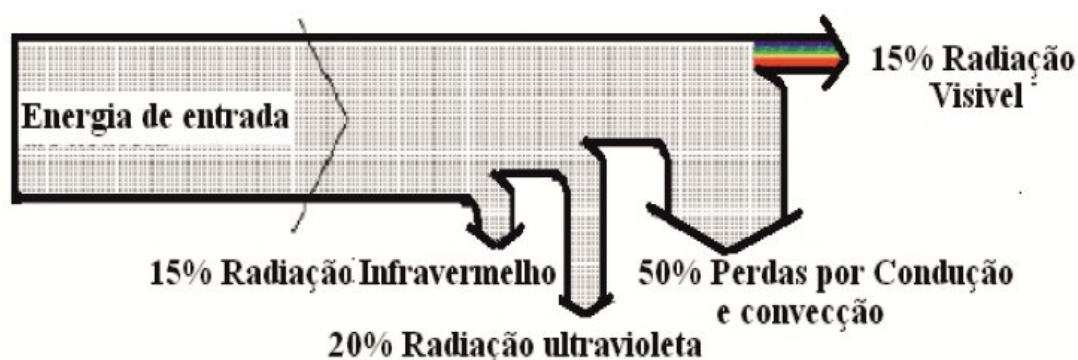


Figura 3.18 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [Fonte: (Teixeira, 2006)].

Este tipo de lâmpadas são consideradas de baixa eficiência energética, pois apenas 15% da energia elétrica consumida é transformada em luz, sendo os restantes 85% transformados em calor e radiação não visível (Teixeira, 2006).

As principais características deste tipo de lâmpadas são [(Philips, 2005), (Ping, 2006) e (Teixeira, 2006)]:

- Potência: 50 a 1 000 W;
- Eficiência Luminosa: 40 a 60 lm/W;
- IRC: 40%;
- Temperatura da cor: 3550 a 4100 K;
- Tempo de vida útil: 6000 a 28000 horas.

Este tipo de lâmpadas têm grande aplicação na iluminação de estradas, aeroportos, grandes naves industriais e geralmente em grandes espaços exteriores.

3.14.3.2 Lâmpadas de luz mista

As lâmpadas de luz mista são constituídas de um tubo de descarga a vapor de mercúrio conectado em série com um filamento de tungsténio, ambos encapsulados por um bulbo ovóide, cujas paredes internas são recobertas por uma camada de fosfato de ítrio vanadato. Esse tipo de lâmpada tem as características básicas das lâmpadas incandescentes. O seu filamento atua como fonte de luz de cor quente, ao mesmo tempo em que funciona como limitador do fluxo de corrente, tornando o uso do balastro desnecessário (Teixeira, 2006).

As lâmpadas de luz mista combinam a elevada eficiência das lâmpadas de descarga com as vantagens da excelente reprodução de cores características das lâmpadas de filamento de tungsténio.

São, alternativas de maior eficiência para a substituição de lâmpadas de incandescência de altas potências.

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (EETT, 2007) e (Teixeira, 2006):

- Potência: 160-500 W;
- Eficiência Luminosa: 19 a 28 lm/W;
- IRC: 60 a 69%;
- Temperatura de cor: 3400 a 4100 K;

- Tempo de vida útil: 10000 horas.

Na Figura 3.19 pode-se observar a constituição de uma lâmpada de luz mista.

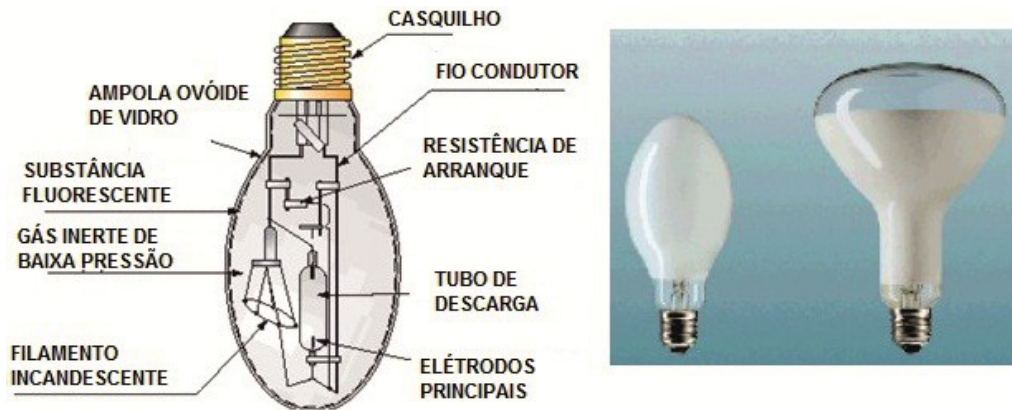


Figura 3.19 - Constituição de uma lâmpada de luz mista [Fonte: (Coletivourbane, 2013) e (Philips, 2005)].

As lâmpadas mistas são usadas frequentemente em iluminação interior, em substituição da lâmpada de incandescência.

3.14.3.3 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

Este tipo de lâmpada é semelhante às lâmpadas de mercúrio de alta pressão com a vantagem de o vapor de sódio possibilitar uma proporção mais elevada da radiação visível.

O tubo de descarga neste tipo de lâmpada contém excesso de sódio, para dar condições de saturação do vapor quando a lâmpada funciona. Também é usado um excesso de mercúrio para proporcionar um gás de proteção e o xénon é incluído sob baixa pressão para facilitar o arranque e limitar a condução do arco de descarga para a parede do tubo. Assim, também nesta lâmpada metade da potência é convertida em radiação, mas enquanto a energia da radiação visível obtida é de cerca de 15% no caso da descarga de vapor de mercúrio, no caso da de sódio é o dobro, cerca de 30% (Teixeira, 2006).

A luz destas lâmpadas apresenta uma cor amarelo-alaranjada devido ao sódio se encontrar em altas pressões e são usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis e aeroportos porque é no amarelo que há uma maior percepção do contraste.

Sendo o preço da lâmpada de sódio de alta pressão em média mais baixo em relação à de vapor de mercúrio (devido à Eco-Taxa Eficiência Energética aplicada às lâmpadas de vapor de mercúrio), e a sua alta eficiência luminosa, torna-a gradualmente mais solicitada em numerosas aplicações. O tempo de arranque é de 5 minutos e o re-arranque faz-se em 1 minuto. Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura seguinte.

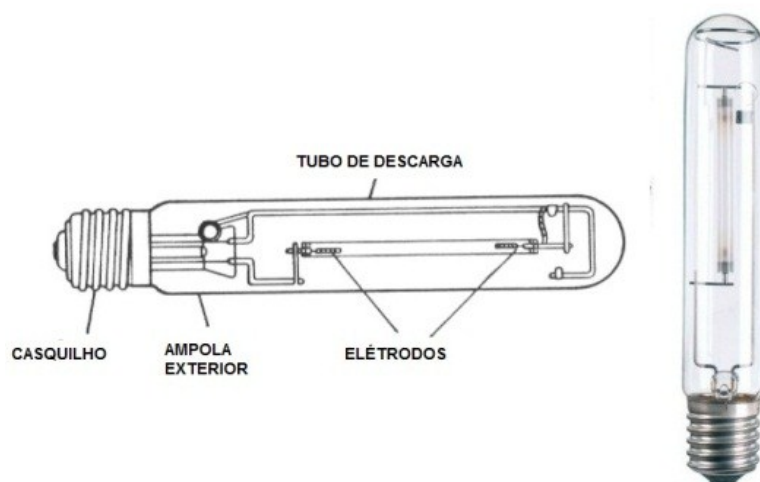


Figura 3.20 – Constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [Fonte: (Teixeira, 2006) e (Philips, 2005)].

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (EETT, 2007) e (Teixeira, 2006):

- Potência: 50 a 1 000 W;
- Eficiência Luminosa: 80 a 150 lm/W;
- IRC: 60 a 69%; 80% para as lâmpadas de luz branca;
- Temperatura de cor: 2000 a 2500 K;

- Tempo de vida útil: 24000 horas.

Este tipo de lâmpadas são uma alternativa à lâmpada de vapor de mercúrio sem iodetos metálicos. A substituição resulta em média numa redução de 10% no consumo de energia elétrica e um acréscimo de 60% no fluxo luminoso, possibilitando maior eficiência energética, maior percepção de contrastes e economia na iluminação pública, embora com inferior qualidade de reprodução cromática (Luz, 2012).

3.14.3.4 Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos

As lâmpadas de vapor de mercúrio e as lâmpadas de vapor de sódio não são apropriadas sempre que seja exigido um elevado índice de restituição de cores. São lâmpadas que ao combinarem iodetos metálicos, apresentam uma altíssima eficiência e excelente reprodução da cor. O mercúrio mantém-se no tubo de descarga, mas pouco contribui para que seja obtida a radiação pretendida. A maioria das lâmpadas de descarga de gás necessita de pelo menos um eletrão livre, combinado com um impulso para iniciar a operação da lâmpada e para produzir luz (Hordeski, 2003) e (Teixeira, 2006). A constituição deste tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na Figura 3.21.

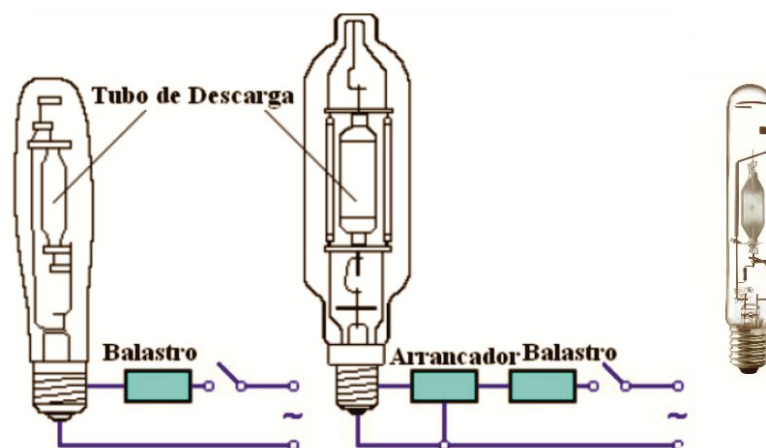


Figura 3.21 – Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [Fonte: (Teixeira, 2006) e (Osram, 2013)].

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Rocha, 2007), (Luz, 2012) e (Hordeski, 2003):

- Potência: 10 a 18000 W;
- Eficiência Luminosa: 50 a 100 lm/W;
- IRC: 80 a 100%;
- Temperatura de cor: 3000 a 7000 K;
- Tempo de vida útil: 9000 a 15000 horas.

Este tipo de lâmpadas pode atingir um IRC aproximado do ideal, introduzindo no gás de uma lâmpada de descarga de vapor de mercúrio de alta pressão uma mistura de cloreto e iodeto de estanho. Estas lâmpadas apresentam uma longa durabilidade e baixa carga térmica, podendo ser considerada como uma lâmpada de vapor de mercúrio aperfeiçoada.

Neste tipo de lâmpadas apenas 25% da energia é convertida em radiação visível, apresentando assim uma maior eficiência energética em relação às de mercúrio. Tem um tempo de arranque de 4 minutos e tempo de re-arranque de 10 minutos. Na Figura 3.22 está representado a decomposição da energia consumida por este tipo de lâmpadas (Teixeira, 2006).

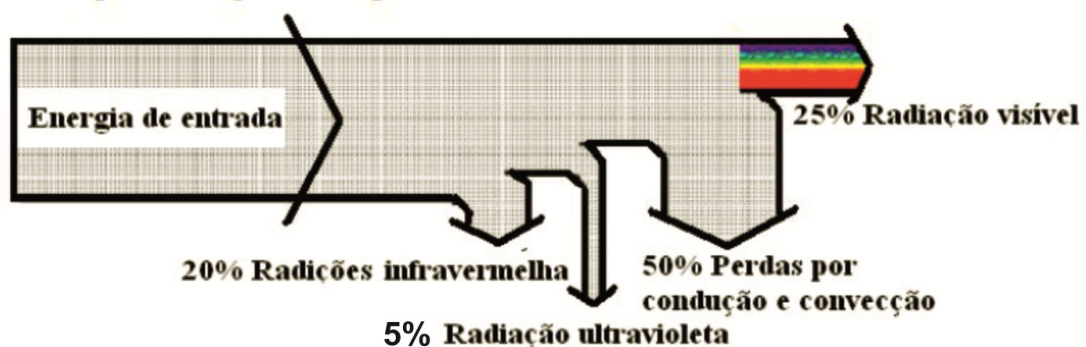


Figura 3.22 - Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [Fonte: (Teixeira, 2006)].

Estas lâmpadas são especialmente recomendadas quando se pretende ótima qualidade na reprodução de cores, como em lojas, supermercados, estádios e pistas de corrida.

De seguida, apresentam-se alguns tipos de lâmpadas de descarga de baixa pressão.

3.14.4 Lâmpadas de descarga de baixa pressão

3.14.4.1 Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

A lâmpada fluorescente tubular é uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão, que consiste num tubo de vidro de descarga revestido internamente com fósforo e eléctrodos de fio de tungsténio revestidas de um emissor térmico selado em cada extremidade do tubo.

É preenchido com um gás ou mais gases inertes (geralmente árgon) e vestígios de mercúrio. A superfície interior do tubo de descarga está revestida com uma substância fluorescente que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em luz visível por intermédio da fluorescência, como se pode visualizar na Figura 3.23.

Este tipo de lâmpadas tem maior eficiência luminosa quanto menor for o diâmetro do tubo de descarga, devido ao aumento do número de reflexões. O arranque e re-arranque são praticamente instantâneos.

O tipo mais comum da lâmpada fluorescente tubular é uma lâmpada de luz branca fria, com um tom ligeiramente azul (Hordeski, 2003).

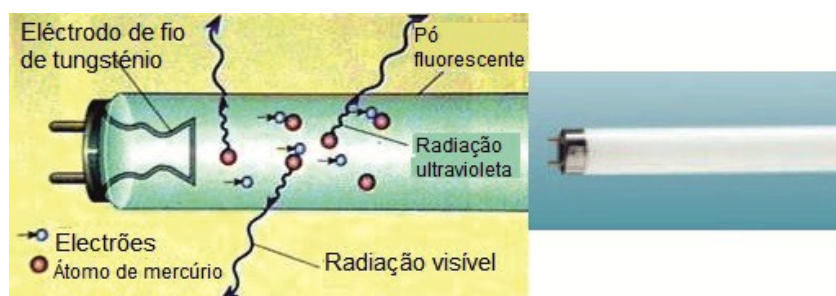


Figura 3.23 - Constituição da lâmpada fluorescente tubular [Fonte: (Teixeira, 2006)e (Philips, 2005)].

As lâmpadas fluorescentes necessitam de arrancador, para regular a entrada de corrente e tensão, de maneira a iniciar a lâmpada de descarga e manter o nível exigido (IEA,

2006).

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (Guerrini, 2009) e (EETT, 2007):

- Potência: 10 a 140 W;
- Eficiência Luminosa: 60 a 100 lm/W;
- IRC: 60 a 90%;
- Temperatura de cor: 2700 a 6000 K;
- Tempo de vida útil: 8000 horas.

3.14.4.2 Lâmpadas fluorescentes compactas

Estas lâmpadas apresentam a mesma tecnologia das lâmpadas fluorescentes comuns, embora sejam constituídas por um tubo de descarga curvo ou por uma combinação de vários tubos de menor dimensão, tornando-as mais compactas.

Estas lâmpadas podem ser de dois tipos: fluorescentes compactas integradas com alimentação incorporada, geralmente eletrônica, não necessitando de acessórios externos para o seu funcionamento (balastro, arrancador e condensador) e fluorescentes compactas não integradas, que necessitam de acessórios externos, para o arranque normal ou balastro eletrônico.

A vantagem das lâmpadas não integradas em relação às outras é que, para além de serem mais leves, também são mais económicas porque o sistema de arranque é separado, possibilitando a sua reutilização mesmo quando a duração de vida da lâmpada termina (Teixeira, 2006) e (Quellette et al., 2002).

Em relação às principais características, as relevantes deste tipo de lâmpada são (Philips, 2005), (Guerrini, 2009) e (EETT, 2007):

- Potência: 3 a 55 W;
- Eficiência Luminosa: 50 a 69 lm/W;
- IRC: 85%;

- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 8000 horas.

A Figura 3.24, ilustra os diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes compactas e sua constituição.

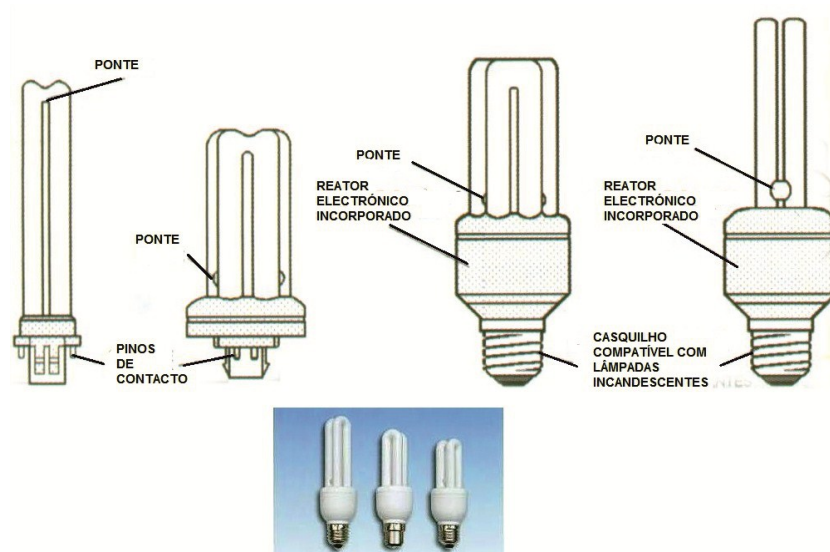


Figura 3.24 – Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas e sua constituição.

As lâmpadas fluorescentes compactas apresentam as mesmas vantagens das tubulares. No entanto, têm uma instalação compatível com os casquilhos tradicionais usados para as lâmpadas incandescentes, tornando-as numa alternativa com maior eficiência e economia, sendo mesmo energeticamente mais eficientes que as lâmpadas de halógeno.

São ideais para substituição das lâmpadas incandescentes em uso residencial, por serem práticas, de grande economia de energia e alta durabilidade. O equipamento auxiliar (arrancador), já vem incorporado na lâmpada, o que permite a troca e o manuseio da lâmpada de maneira fácil e segura (Philips, 2005).

3.14.4.3 Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

Estes tipos de lâmpadas são comparáveis às lâmpadas a vapor de mercúrio de baixa pressão (lâmpadas fluorescentes) na forma como são construídas, mas diferenciam-se no funcionamento, pois utilizam vapor de sódio. Assim, esta lâmpada é constituída por uma ampola, dentro da qual existe um tubo de descarga com gás (néon ou árgon) e sódio depositado nas suas paredes, de acordo com a Figura 3.25. A ionização do gás desta lâmpada tem e ser feita com uma tensão relativamente elevada (superior à da rede), pelo que se utiliza para seu arranque um transformador.

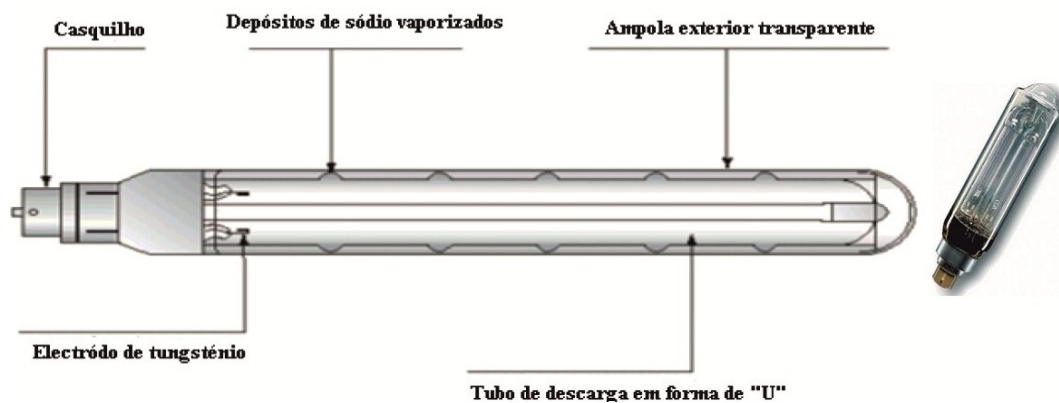


Figura 3.25 – Constituição da lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [Fonte: (Coletivourbane, 2013) e (Philips, 2005)].

As principais características deste tipo de lâmpadas são (Philips, 2005), (EETT, 2007) e (Teixeira, 2006):

- Potência: 50 a 1000 W;
- Eficiência Luminosa: 80 a 200 lm/W;
- IRC: 10%;
- Temperatura de cor: 2800 K;
- Tempo de vida útil: 12000 a 18000 horas.

Estas lâmpadas possuem a vantagem na sua extremamente elevada eficiência luminosa, devido à sua longevidade constituem uma luz mais eficiente e económica.

A desvantagem óbvia destas lâmpadas consiste na sua restituição de cores extremamente pobre, sendo praticamente nula (Philips, 2005).

Estas lâmpadas têm tempo de arranque de 10 minutos e são usadas em iluminação pública.

3.15 Lâmpadas de indução

A lâmpada de indução eletromagnética é uma fonte luminosa que apresenta interessantes aspectos práticos e de fiabilidade, que emite luz instantaneamente, mesmo após uma interrupção de funcionamento, evidenciando-se uma inovação fundamental para o próprio conceito de sistemas de iluminação. Baseada no princípio da descarga de gás a baixa pressão, a principal característica desta lâmpada é o facto de prescindir da necessidade de eléctrodos para originar a ionização do gás (IEA, 2006) e (Teixeira, 2006).

Existem na atualidade dois sistemas distintos para produzir esta nova ionização do gás sem eléctrodos:

- Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos;
- Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução.

Ambos os sistemas apresentam-se como a última geração de lâmpadas económicas. Estes tipos de lâmpadas, sendo energeticamente mais eficientes que as incandescentes, são similares às lâmpadas fluorescentes menos eficientes. Assim, estas lâmpadas são utilizadas em locais de difícil acesso e são uma boa solução para substituir lâmpadas incandescentes refletoras devido à sua longa duração (EETI, 2007).

3.15.1 Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos

A descarga é feita por energia fornecida por um campo eletromagnético externo, sem eléctrodos ou ligações a filamentos, sendo constituída ou por uma ampola com mercúrio com uma bobina interna, que excita o mercúrio, ou simplesmente por um tubo fechado com duas

bobinas enroladas nas extremidades da lâmpada, como ilustra a Figura 3.26. O campo magnético é produzido em dois anéis de ferrite, o que constitui uma vantagem importante para a duração da lâmpada (Guerrini, 2009), (EETT, 2007) e (Teixeira, 2006).

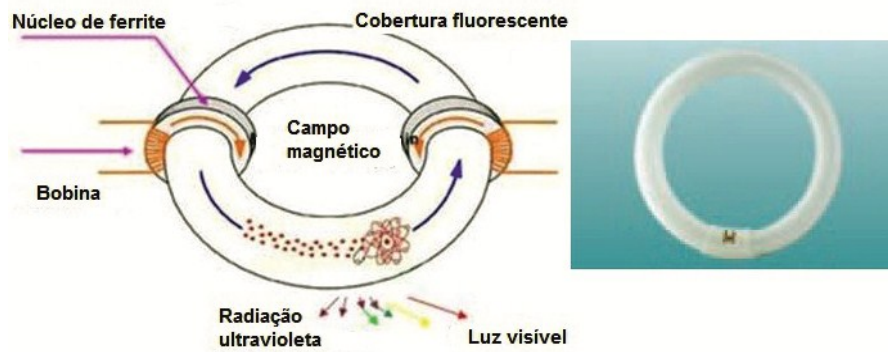


Figura 3.26 – Constituição da Lâmpada fluorescente de alta potência sem eletrodos [Fonte: (Osetoreletrico, 2013) e (Philips, 2005)].

As características principais desta lâmpada são (Teixeira, 2006), (Guerrini, 2009) e (EETT, 2007):

- Potência: 100 a 150 W;
- Eficiência Luminosa: até 80 lm/W;
- IRC: 80%;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 6000 horas.

Este tipo de lâmpadas são utilizadas em estradas, pátios, pontes, viadutos, isto é, iluminação exterior.

3.15.2 Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução

Este tipo de lâmpada consiste num recipiente de descarga que contém gás a baixa pressão e num núcleo cilíndrico de ferrite, que cria um campo magnético induzindo uma corrente elétrica no gás provocando a sua ionização. A energia suficiente para iniciar e manter a descarga é fornecida à antena por um gerador de alta frequência (2,65 MHz), mediante um cabo coaxial de comprimento determinado, já que faz parte do circuito oscilador.

As características principais desta lâmpada são (Teixeira, 2006):

- Potência: 100 a 150 W;
- Eficiência Luminosa: até 80 lm/W;
- IRC: 80%;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 6000 horas.

3.16 Lâmpada Led

Os Díodos Emissores de Luz (LED - *Light Emitting Diode*) são dispositivos semicondutores constituídos por camadas de material semicondutor, em que os eletrões se movem através da chamada junção P-N do semicondutor. Nesta junção, o lado P contém essencialmente lacunas (ou falta de eletrões), enquanto o lado N contém essencialmente cargas negativas (ou excesso de eletrões). A Figura 3.27 ilustra um diagrama do processo (Guerrini, 2009) e (Pinto, 2008).

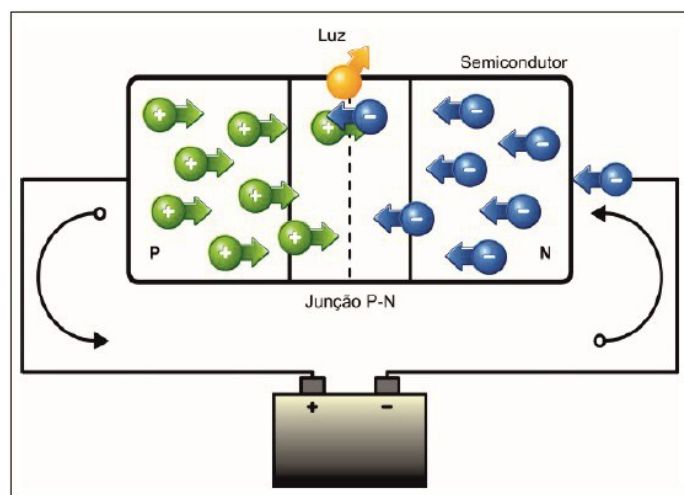


Figura 3.27 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [Fonte: (Pinto, 2008)].

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado com o tipo de material utilizado na composição do semicondutor (gálio, alumínio, arsénio, fósforo, índio e nitrogénio). Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro. O espectro de radiação e as cores correspondentes, encontram-se ilustrados na Figura 3.28. A cor branca é conseguido pela excitação de um composto de fósforo conversor no LED azul, passando da luz amarela para a branca (Guerrini, 2009) e (Pinto, 2008).

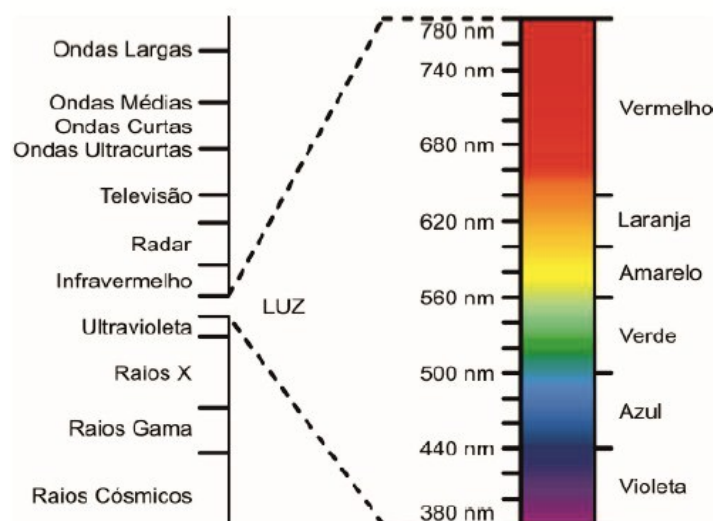


Figura 3.28 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda
[Fonte: (Pinto, 2008)].

Os LEDs podem ser de baixa (0,1 W), média (0,2 W a 0,5 W) e de alta potência (acima de 0,5 W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos. Os de alta potência já podem ser aplicados em iluminação geral (Araújo, 2013).

As principais vantagens dos LEDs, relativamente às restantes fontes de luz são:

- Tamanho reduzido;
- Funcionamento em corrente contínua para tensões muito baixas (< 33 V);
- Baixo consumo (entre 0,75 e 3 A) e uma eficiência energética (em torno de 50 lm/W);
- Maior tempo de vida útil (50000 horas) e consequente baixa manutenção;
- Funcionamento fiável a todas as temperaturas (desde os -30° C aos +60° C);
- Temperatura de cor (3000 a 6000 K);
- Não emitem luz ultravioleta;
- Não emitem radiação infravermelha, causando um feixe luminoso frio;

- Resistência a impactos e vibrações;
- Maior segurança.

Por outro lado, as desvantagens são:

- Custo de aquisição elevado, caso a aplicação seja desadequada;
- Índice de restituição de cor (*IRC*) pode não ser o mais adequado (60 a 90%);
- Necessidade de fontes de alimentação ou *interface* (transformador ou driver), que converte as características de alimentação de uma tomada comum para um padrão adequado ao funcionamento do LED;
- Necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos LEDs de alta potência (a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura).

Devido ao baixo consumo de energia, robustez, tempo de vida útil longo e ao facto de não conterem mercúrio, os díodos emissores de luz (LEDs) representam novas oportunidades nas aplicações para iluminação (Araújo, 2013). O LED encontra-se ilustrado na Figura 3.29.

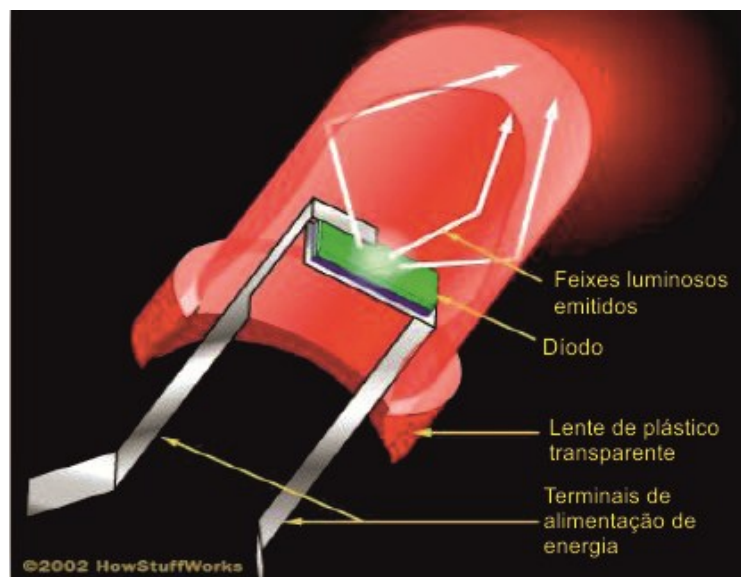


Figura 3.29 – Visão interior de um LED [Fonte: (Harris, 2013)].

A eficiência energética das lâmpadas LEDs coloridas ultrapassa qualquer fonte de luz convencional. A eficiência do LED branco está a aumentar a um ritmo constante, pelo que a substituição das lâmpadas incandescentes convencionais por LEDs se tornará numa boa alternativa (Osram, 2012). Esta lâmpada oferece muitos benefícios para a iluminação, visto que tem um baixo consumo energético e não contém elementos perigosos (mercúrio).

Adicionalmente, ao assegurar uma maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a tecnologia LED reduz o consumo e, consequentemente, as emissões de CO_2 para a atmosfera, um fator preponderante para se alcançar a necessária sustentabilidade energética.

3.17 Balastros

Os balastros são dispositivos que têm por função limitar a corrente das lâmpadas de descarga. De forma a garantir o arranque, o balastro eleva a tensão de forma a estabelecer uma tensão suficientemente elevada entre os elétrodos para dar origem ao aparecimento de um arco elétrico (descarga) (EETT, 2007).

A correta aplicação dos balastros garante melhor desempenho para os projetos elétricos e luminotécnico, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso e vida útil da lâmpada. Podem incluir equipamentos auxiliares para compensação do fator de potência.

Existem duas grandes categorias de balastros: eletromagnéticos e eletrónicos.

3.17.1 Balastros eletromagnéticos

Os balastros eletromagnéticos são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica (IEA, 2006).

Há vários tipos de balastros eletromagnéticos disponíveis: os mais usuais são apropriados para o funcionamento com arrancadores, enquanto os menos vulgares são os

destinados ao funcionamento com lâmpadas de arranque rápido, com elétrodos pré-aquecidos e com circuito semi-ressonante. Em relação às perdas os balastros eletromagnéticos podem ser classificados em 3 Classes: B (baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas). Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto através da Diretiva nº 2000/55/CE foi a redução da energia consumida pelas fontes de iluminação fluorescente, proibindo gradualmente até ao ano 2005 os balastros eletromagnéticos de menor eficiência, substituindo-os por outros de maior eficiência energética (DL, 327/2001). Os balastros da classe D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados a partir de 20 de Maio de 2002 e desde 21 de Novembro de 2005 passou a ser proibida a venda dos balastros da classe C (magnéticos standard) (Teixeira, 2006).

3.17.2 Balastros eletrónicos

Os balastros eletrónicos são constituídos por um andar de filtragem, um retificador, um ondulador e um circuito de detecção de falhas (monitorização), como mostra a Figura 3.30.

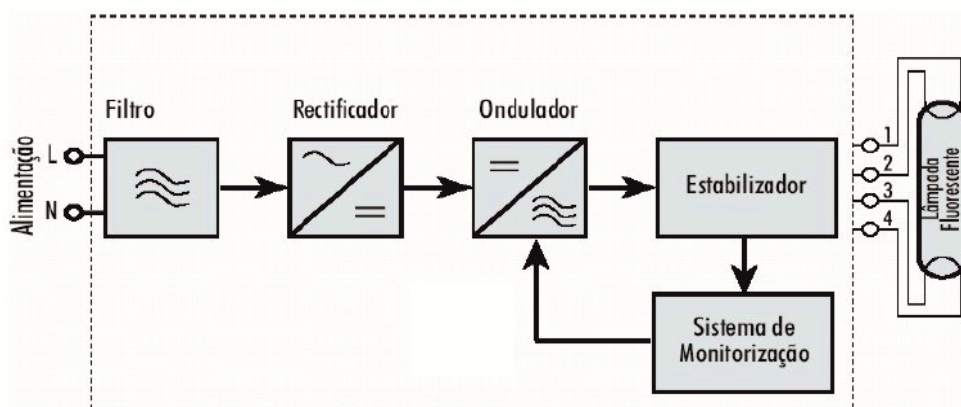


Figura 3.30 – Diagrama de um balastro eletrónico [Fonte: (EETT, 2007)].

Estes balastros convertem a frequência de 50 Hz numa alta frequência, aumentando assim a eficiência da lâmpada (operando a uma frequência de 20 kHz, a eficiência da lâmpada aumenta 10%) (EETT, 2007). Os balastros eletrónicos podem ser classificados nas seguintes

classes: A1 (balastros eletrônicos com regulação), A2 (balastros eletrônicos com baixas perdas) e A3 (balastros eletrônicos standard).

A utilização de balastros eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, entre as quais (EETT, 2007):

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do ruído audível pois estes balastros funcionam acima da gama audível de frequências;
- Menor potência absorvida;
- Aumento do tempo de vida da lâmpada porque efetua um pré-aquecimento dos elétrodos diminuindo o desgaste do material emissor de eletrões;
- Controlo versátil do fluxo luminoso;
- Diminuição de peso e tamanho;
- Não necessitam de equipamentos para compensação do fator de potência.

Os balastros eletrônicos proporcionam maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim estes balastros em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os balastros eletromagnéticos (Araújo, 2013).

Quanto à classificação (potência máxima admissível para um balastro de 36 W) temos as seguintes classes:

Tabela 3.6 – Classe de eficiência energética dos balastros [Fonte: (EETT, 2007)].

Classe	Descrição	Potência máxima admissível para um balastro de 36 W (W)
A1	Balastros eletrônicos com regulação de fluxo	≤ 38 (a funcionar a 100%) ≤ 19 (a funcionar a 25%)
A2	Balastros eletrônicos de perdas reduzidas	≤ 36
A3	Balastros eletrônicos	≤ 38
B1	Balastros eletromagnéticos de perdas muito reduzidas	≤ 41
B2	Balastros eletromagnéticos de perdas reduzidas	≤ 43
C	Balastros eletromagnéticos convencionais	≤ 45
D	Balastros eletromagnéticos de perdas elevadas	≥ 45

Através da análise da Tabela 3.6, verifica-se que os balastros com regulação de fluxo são os melhores segundo a classificação em função de um índice de eficiência energética (IEE).

3.18 Luminárias

Luminária é um dispositivo elétrico que além de servirem para suportar as lâmpadas, dirige a distribuição da luz emitida por uma ou mais fontes de luz. Devem incluir todos os elementos necessários para a fixação e proteção das lâmpadas e para a sua ligação ao circuito de alimentação. Dois desses dispositivos são os refletores e os difusores.

O difusor evita que a luz seja enviada diretamente da lâmpada para os objetos ou pessoas, enquanto um refletor é uma superfície que existe no interior duma luminária e que reflete a luz.

Desta forma, a luz é melhor aproveitada, pois a porção da luz emitida para cima, no caso duma lâmpada pendurada no teto, é reenviada para baixo.

Assim, para cada uso e para cada efeito que se deseja obter, existe um tipo de luminária mais adequada. Ao efetuar a escolha da luminária deve-se ter especial atenção, o consumo de energia elétrica que o modelo requer. Embora haja uma grande variedade de luminárias, estas podem ser divididas em cinco categorias de acordo com a forma como elas controlam ou

distribuem a luz, apresentam-se as mesmas na Tabela 3.7 (EETT, 2007), (Bradshaw, 2006) e (Araújo, 2013):

Tabela 3.7 – Distribuição de luz por vários tipos de luminárias [Fonte: (Bradshaw, 2006)].

Tipo	Distribuição de luz emitida por luminárias	
	Para cima (%)	Para baixo (%)
Indireta	90 a 100	0 a 10
Semi-indireta	60 a 90	10 a 40
Difusa ou Mista	40 a 60	40 a 60
Semi-direta	10 a 40	60 a 90
Direta	0 a 10	90 a 100

Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o fluxo luminoso final disponível é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que são construídas as luminárias. Logo, a seleção da luminária revela a importância no ponto de vista da redução de perdas (Osram, 2012).

A eficiência energética depende da luminária e da configuração da lâmpada. Por exemplo, se a lâmpada for instalada na luminária errada, mesmo que esta seja muito eficiente pode funcionar de forma ineficiente (IEA, 2006) e (Hordeski, 2003). Apresentam-se na Figura 3.31 exemplos de luminárias existentes no EEI-UTAD.

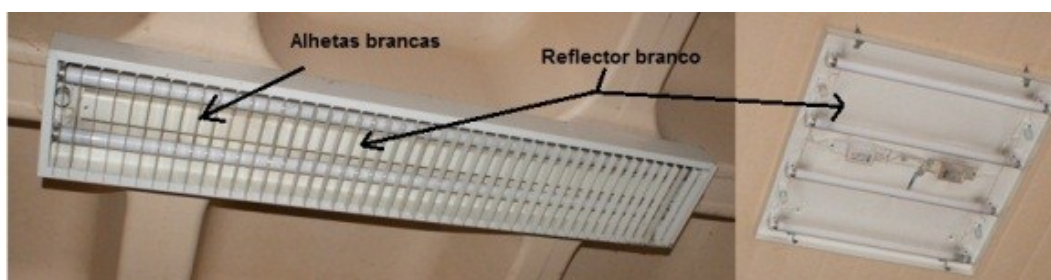


Figura 3.31 – Exemplo de luminárias existentes no EEI-UTAD.

4 Caracterização do Sistema Atual de Iluminação do Edifício

Selecionou-se como edifício para o qual se pretende analisar a viabilidade técnica e económica da substituição dos sistemas de iluminação atuais por outros energeticamente e luminotecnicamente mais eficientes, o imóvel em que funciona a Escola de Ciências e Tecnologia, EEI-UTAD, construído em 1989 e com uma área útil de pavimento de $3492,5 \text{ m}^2$ (Obs.: os espaços de circulação (corredores, halls, escadas) não estão mencionados). Para se caracterizar o sistema atual de iluminação do edifício teve que se determinar vários parâmetros, assim como fazer o levantamento do equipamento luminotécnico instalado no edifício. Descrevem-se no seguimento deste Capítulo as técnicas utilizadas, os valores obtidos, os parâmetros estimados e a análise dos sistemas atuais de iluminação do edifício. Por uma questão de síntese apresenta-se apenas um resumo das técnicas de análise utilizadas e os valores obtidos.

4.1 Sistemas de iluminação existentes

Mediu-se a área de pavimento (A) e o pé direito (Pd) dos espaços objeto de estudo do edifício com o auxílio de um medidor de distâncias a laser. Foi efetuada uma auditoria exaustiva à iluminação instalada no edifício, da qual se segue apenas um resumo, para informação mais pormenorizada remete-se para o Anexo A.

Efetuiu-se o levantamento de todas as luminárias existentes no edifício.

Contabilizaram-se no total 867 luminárias, cuja agregação por tipos de lâmpada se apresenta na Figura 4.1. Constatou-se que as luminárias existentes no edifício possuem todas lâmpadas tubulares fluorescentes (FT8) das quais: 160 luminárias com uma lâmpada FT8 de 58 W, 69 luminárias com uma lâmpada FT8 de 36 W, 74 luminárias com uma lâmpada FT8 de 18 W, 436 luminárias com duas lâmpadas FT8 de 58 W, 80 luminárias com duas lâmpadas

FT8 de 36 W, 28 luminárias com três lâmpadas FT8 de 36 W e 20 luminárias com quatro lâmpadas FT8 de 18 W, perfazendo o total de 1499 lâmpadas.

Na secção 4.2 encontra-se a informação detalhada sobre as características do sistema de iluminação existente.

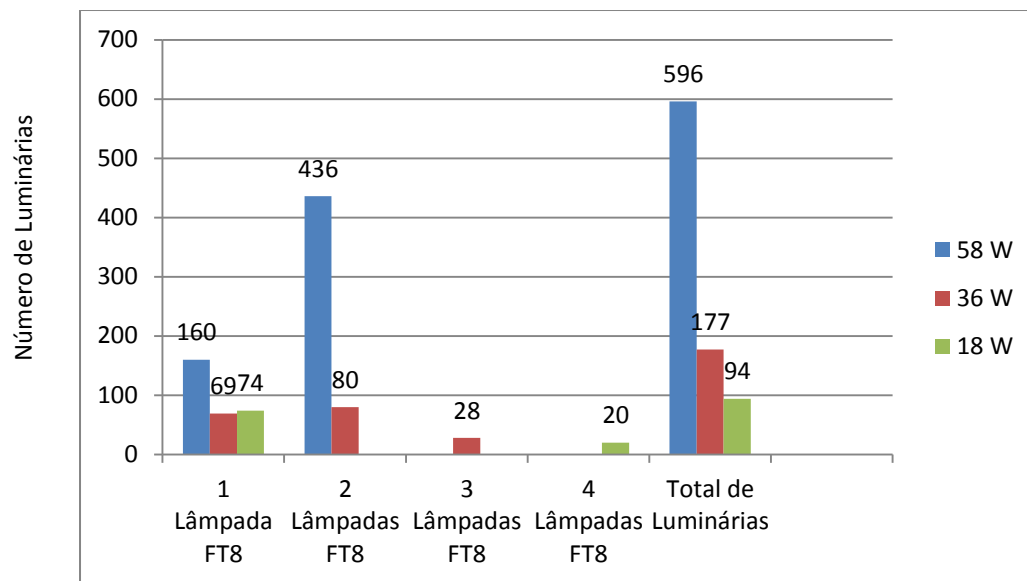


Figura 4.1 – Luminárias existentes no edifício em função do número e potência da lâmpada.

Na Figura 4.2, encontra-se a distribuição do número de lâmpadas por potência.

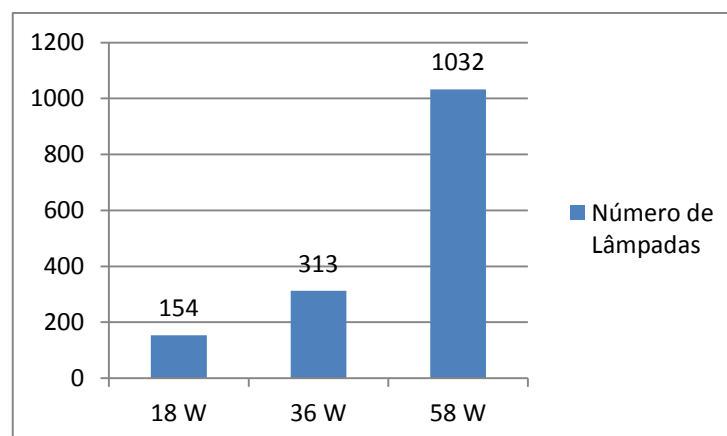


Figura 4.2 – Distribuição do número de lâmpadas existentes no edifício por potência da lâmpada.

Tendo em conta a eficiência dos sistemas de iluminação instalados, antevê-se desde já, um potencial enorme de poupança no consumo de energia elétrica do edifício com a substituição destas lâmpadas e/ou do equipamento auxiliar.

O edifício só possui luminárias com balastos simples, ou seja, cada lâmpada está equipada com um balastro electromagnético classe B2. A Figura 4.3 ilustra o balastro electromagnético instalado nas luminárias.



Figura 4.3 – Balastro eletromagnético [Fonte: (Ilumina, 2013)].

A Tabela 4.1 indica a potência máxima absorvida pelo conjunto lâmpada fluorescente tubular T8 + balastro para a classe B2 instalados no edifício.

Tabela 4.1 – Potência máxima absorvida pelo conjunto lâmpada T8 + balastro eletromagnético classe B2 [Fonte: (Teixeira, 2006)].

Potência da lâmpada do tipo T8	Potência da lâmpada T8 + balastro eletromagnético B2
18 W	≤ 26 W
36 W	≤ 43 W
58 W	≤ 67 W

Assim, para todo o edifício contabilizou-se, a quantidade de luminárias, o número de lâmpadas por luminária, o número total de lâmpadas, a potência de cada lâmpada e a potência da lâmpada com o equipamento auxiliar.

Apresenta-se na tabela 4.2, o custo unitário (sem IVA) e global dos dispositivos que foram considerados no estudo económico do sistema de iluminação atualmente instalado no EEI-UTAD, bem como a quantidade para aquisição.

Tabela 4.2 – Custo dos dispositivos considerados na análise do sistema de iluminação atualmente instalado.

Material	Custo unitário [€]	Quantidade	Custo global [€]
Balastro Eletromagnético Van Cliff B2 (18 W – 36 W)	2,10	467	980,7
Balastro Eletromagnético Van Cliff B2 (58 W)	3,22	1032	3323,04
Osram TL8 18 W/865* + Arrancador	2,32	154	357,28
Osram TL8 36 W/865* + Arrancador	2,32	313	726,16
Osram TL8 58 W/865* + Arrancador	2,72	1032	2807,04

*- Temperatura da cor da lâmpada

4.2 Caracterização das luminárias atuais instaladas no edifício

Na Tabela 4.3, L representa o tipo de luminária, l o tipo de lâmpada, n_l o número de lâmpadas na luminária, P_l a potência da lâmpada, P_e a potência do equipamento auxiliar, P_{le} a potência do conjunto lâmpada e equipamento auxiliar, P_L a potência da luminária e Q_L o número de luminárias existentes no edifício.

Tabela 4.3 – Levantamento das luminárias existentes no edifício.

L	I	n_l	P_l [W]	P_e [W]	P_{le} [W]	P_L [W]	Q_L
F0_60	FT8	1	18	8	26	26	74
	FT8	4	18	8	26	104	20
F0_120	FT8	1	36	7	43	43	69
	FT8	2	36	7	43	86	80
	FT8	3	36	7	43	129	28
F0_150	FT8	1	58	9	67	67	160
	FT8	2	58	9	67	134	436

4.3 Medição da iluminância dos espaços tipo

Não sendo viável analisar todos os espaços do edifício, optou-se por analisar apenas os espaços representativos e de maior relevância. Na sequência deste processo de seleção, analisam-se apenas os espaços: Sala de aula E 1.02; Gabinete F 1.17, Laboratório de Termodinâmica I 1.02 e o Anfiteatro G 0.03.

Para medir a área de pavimento (A) e o pé-direito (Pd) dos espaços foi utilizado um medidor de distâncias a laser da marca *Black & Decker*, modelo BDM 100 com uma faixa de medição de 61cm a 12 m e uma exatidão de medição de $\pm 0,5\%$. A luminosidade na zona do plano de trabalho dos espaços foi medida com um luxímetro da marca *Velleman*, modelo DVM 1300, que possui uma faixa de medição de 0,01 a 50 000 lx, com várias alternativas de gama de leitura: (i) 0 a 200 lx; (ii) 0 a 2 000 lx; (iii) 0 a 20 000 lx; e (iv) 0 a 50 000 lx. A exatidão de medição do aparelho depende da gama de leitura, sendo de $\pm 5\%$ da leitura + 10 últimos dígitos para leituras até 10 000 lx e $\pm 10\%$ da leitura + 10 últimos dígitos para valores superiores a 10 000 lx. A resolução do indicador depende da gama de leitura e vai de 0.1 lx (para medições até 200 lx) até 100 lx (para medições acima de 20 000 lx).

Na Tabela 4.4 apresentam-se os valores de iluminância medidos nos espaços tipo sob estudo e os obtidos no mesmo ponto de medida no programa DIALux.

Tabela 4.4 – Valores de iluminância medidos com o luxímetro nos espaços tipo sob estudo e os obtidos no mesmo ponto de medida no programa DIALux.

Espaço	$E_{\text{luxímetro}}$ [lx]	E_{DIALux} [lx]
Sala de aula E 1.02	483	720
Gabinete F 1.17	225	1080
Laboratório de Termodinâmica I 1.02	413	600
Anfiteatro G 0.03	342	606

4.4 Avaliação da qualidade da iluminação atual

Com esta secção pretende-se avaliar se a iluminação atualmente instalada no edifício é adequada para os fins a que se destina. Para este propósito recorreu-se a um *software* apropriado para o efeito, o programa DIALux que simula o sistema de iluminação para um espaço e apresenta uma interface gráfica do cenário de iluminação. O DIALux é um programa gratuito, de código fechado, financiado por mais de 90 fabricantes de luminárias, com o objetivo de auxiliar os engenheiros e arquitetos nos projetos de iluminação interior e exterior. Este programa permite o cálculo dos níveis de iluminação, da densidade de potência, da densidade de potência relativa, da quantidade de luminárias necessárias para garantir a iluminância média requerida e da uniformidade da iluminação, etc.

4.4.1 Parametrização no programa da iluminação dos espaços

Os parâmetros mais influentes analisados pelo DIALux são a geometria do espaço (A e Pd), o coeficiente de reflexão das superfícies (chão, paredes e teto), o fator de depreciação Fd , a distribuição fotométrica das luminárias, a altura do plano de trabalho e a altura de montagem da luminária. O valor de Fd está relacionado com a seleção do tipo de ambiente limpo/sujo e do período de manutenção (neste caso selecionou-se “espaço de limpeza médio”, que corresponde a um $Fd = 0,81$), (Osram, 2012).

Como *output*, o programa calcula o nível de iluminação no plano de trabalho, a uniformidade da luz no espaço ($E_{\min}/E_m$), que por norma não deve ser inferior a 1/3, a densidade relativa, entre outros. A uniformidade de iluminação é medida pela relação entre a iluminância mínima e a média obtida na área iluminada. Uma boa uniformidade na iluminação

é necessária, pois evita sombras acentuadas e assegura conforto visual para a prática da atividade exercida. O espaçamento entre as luminárias e o distanciamento delas em relação às paredes têm uma contribuição direta no resultado da uniformidade da iluminação. Relativamente à simulação de iluminação natural, o programa tem como *inputs* a localização dos envidraçados no espaço, as coordenadas geográficas do espaço, a sua orientação, o horário de verão, os fatores de obstrução dos envidraçados (p.ex., tipo de vidro e tipo de palas) e o índice de claridade (espaço situa-se num local rural ou citadino).

4.4.2 Avaliação da iluminação de alguns espaços tipo

Na sequência do processo de seleção referido na secção 4.3, analisam-se apenas os seguintes espaços: Sala de aula E 1.02 secção (4.4.4); Gabinete F 1.17 secção (4.4.5), Laboratório de Termodinâmica I 1.02 secção (4.4.6) e Anfiteatro G 0.03 secção (4.4.7). De acordo com a tarefa a realizar e a sua exigência em termos visuais, para gabinetes de docentes e o laboratório uma iluminância de 500 lx (segundo a norma EN 12464-1: 2002). Para a sala de aula é recomendada uma iluminância de 300 a 500 lx, sendo 500 lx se as aulas forem lecionadas para adultos ou no período noturno.

4.4.3 Tempo de utilização dos sistemas de iluminação instalados em cada espaço objeto de estudo

O tempo de utilização dos sistemas de iluminação durante o ano de 2012 foi calculado de acordo com o tipo de espaço em estudo e o tempo de regime laboral anual.

Na seguinte equação mostram-se os parâmetros tidos em consideração para o cálculo do tempo de utilização dos espaços de aula, sendo que o mesmo contempla 30 semanas de aulas (N_{sa}) com 10 horas de utilização diária (P_a), 55 dias para a realização de exames (D_{ex}) com a utilização diária de 3 horas (P_{ex}), perfazendo o total de 1665 horas de utilização anual.

$$(N_{sa} \times P_a) + (D_{ex} \times P_{ex}) \quad (12)$$

Para os gabinetes dos docentes o tempo de utilização diária (P_{ud}) foi determinado, contemplando todos os dias do ano (T_{da}) e ponderando o perfil de ocupação de 5 horas por dia nos cinco dias úteis de todas as semanas do ano, subtraindo-se os dias pertencentes aos

fins de semana (F_{ds}) do ano e os 22 dias correspondentes ao período de férias (P_f), totalizando 1195 horas anuais.

$$(T_{da} - F_{ds} - P_f) \times P_{ud} \quad (13)$$

Para as áreas de circulação foi contabilizado o tempo de utilização de 13 horas por dia (P_{ud}) nos cinco dias úteis de todas as semanas do ano, todos os dias do ano (T_{da}), subtraindo-se os dias do período de férias(P_f) e os dias correspondentes aos fins de semana (F_{ds}), correspondendo ao total de 3107 horas de utilização anual.

$$(T_{da} - F_{ds} - P_f) \times P_{ud} \quad (14)$$

Para as áreas de gabinetes de secretaria e bar foi contabilizado o tempo de utilização de 8 horas por dia (P_{ud}) nos cinco dias úteis de todas as semanas do ano, todos os dias do ano (T_{da}), subtraindo-se os dias do período de férias(P_f) e os dias correspondentes aos fins de semana (F_{ds}), correspondendo ao total de 1912 horas de utilização anual.

$$(T_{da} - F_{ds} - P_f) \times P_{ud} \quad (15)$$

Para os restantes espaços (arrumos, garagem e áreas técnicas) foi contabilizado o tempo de utilização de 1 hora diária (P_{ud}) nos cinco dias úteis de todas as semanas do ano, todos os dias do ano (T_{da}), subtraindo os 22 dias do período de férias(P_f) e os 104 dias de todos os fim de semanas do ano (F_{ds}), totalizando 239 horas anuais.

$$(T_{da} - F_{ds} - P_f) \times P_{ud} \quad (16)$$

4.4.4 Iluminação da sala de aula E 1.02

Escolheu-se como representativa das salas a sala E 102. Esta sala possui uma área de pavimento de 57,10 m², um pé-direito de 3,05 m e um tempo de utilização de 1665 h/ano que leva a um consumo anual de eletricidade de 2231,1 kWh. Este espaço está equipado com 9 luminárias no teto do tipo T8.2 (luminária com 2 lâmpadas FT8) e com 2 luminárias do tipo T8.1 (luminária com 1 lâmpada FT8) na parte superior do quadro. Ambos os tipos de luminária abrigam lâmpadas FT8 de 58 W com $IRC = 80$ e $T_c = 6\ 500$ K e balastros eletromagnéticos da classe B2. As cores do espaço são predominantemente claras, sendo o teto de cor bege, as paredes de cor branco creme, o chão em painéis de madeira escura e as

mesas de cor verde-escuro, correspondendo ao coeficiente de reflexão de 70%, 50% e 10% respectivamente, (chão, paredes e teto), a altura do plano de trabalho é 80 cm.

4.4.5 Iluminação do gabinete F 1.17

No edifício existem gabinetes de vários tipos e com diversas configurações. Existe, especialmente, uma grande diferença entre os gabinetes destinados aos serviços administrativos (secretarias, etc.) e os atribuídos aos docentes. Na impossibilidade de apresentar todos os tipos e configurações, descreve-se apenas a avaliação da iluminação atual do gabinete F 1.17 atribuído a um docente. Este espaço tem uma área de pavimento de 13,02 m², um pé-direito de 3,05 m. Este gabinete está equipado com 4 luminárias do tipo T8.2 que abrigam balastros eletromagnéticos B2 e lâmpadas FT8 de 58 W com $IRC = 80$ e $T_c = 6\ 500$ K e tem um tempo de utilização de 1195 h/ano, levando a um consumo anual de 640,52 kWh. O teto é de cor bege, as paredes de cor branco creme, o chão em azulejo cor de tijolo, o tampo da mesa é de madeira escura correspondendo ao coeficiente de reflexão de 70%, 50% e 10% respectivamente e plano de trabalho de 80 cm.

4.4.6 Iluminação do laboratório de termodinâmica I 1.02

Os laboratórios do edifício estão repartidos por várias salas, as quais nem sempre apresentam as mesmas características geométricas, de mobiliário, de iluminação natural e de sistemas de iluminação artificial. Deste modo, não existe nenhuma sala de laboratório que possa ser assumida como representativa. Na impossibilidade de analisar todas as salas dos laboratórios, será analisada apenas a sala do laboratório de termodinâmica localizada no 1º piso do edifício. Esta sala tem uma área de pavimento de 62,96 m², um pé-direito de 3,05 m e é iluminada por 8 luminárias do tipo T8.2 que consomem 134 W (duas lâmpadas FT8 de 58 W + balastro eletromagnético B2 com um consumo de 9 W) cada. Este espaço apresenta um tempo de utilização de 1665 h/ano, produzindo um consumo anual de 1784,88 kWh. O teto é de cor bege, as paredes em azulejo de cor branca e o chão possui painéis de tijoleira vermelha correspondendo ao coeficiente de reflexão de 70%, 67% e 10% respectivamente, com o plano de trabalho a 100 cm.

4.4.7 Iluminação do anfiteatro G 0.03

Escolheu-se como sala representativa dos auditórios o anfiteatro G 0.03. Este espaço apresenta uma área de pavimento de 100,94 m^2 , um pé-direito médio de 4,8 m e um tempo de ocupação anual de 1665 horas, que leva a um consumo de 3489,84 kWh/ano. Este anfiteatro está equipado com 15 luminárias no teto do tipo F0_150, com 2 luminárias (réguas) na parte superior do quadro do tipo F0_120, usando lâmpadas FT8 e balastros eletromagnéticos B2 como equipamento auxiliar. O teto é de cor bege, as paredes de cor branco creme, o chão em painéis de madeira escura, o tampo da mesa é de madeira escura correspondendo ao coeficiente de reflexão de 70%, 50% e 10% respectivamente e plano de trabalho de 74 cm em cada nível de bancada.

4.5 Análise crítica aos sistemas atualmente instalados

Face ao exposto, verifica-se que a iluminação atual do edifício consome mais energia elétrica do que seria desejável e nem sempre proporciona um nível de iluminação adequado às funções dos espaços. Este excesso de consumo de eletricidade deve-se, principalmente, ao facto de os balastros serem indutivos (magnéticos), e o número de luminárias instaladas é em alguns casos superior ao que o programa DIALux recomenda/calcula, enquanto a fraca iluminância se deve à inexistência de um cronograma de manutenção, nomeadamente de limpeza das luminárias e substituição de lâmpadas fundidas.

Apresenta-se na Tabela 4.5 um resumo do consumo e da qualidade do sistema atual de iluminação do edifício, baseada nos níveis de iluminância mínimos e máximos obtidos pelo luxímetro e, nalguns espaços tipo com funcionalidade e tempo de utilização comuns, complementada pela simulação com o programa DIALux., para informação mais pormenorizada dos cálculos consulte-se o Anexo A.

Conclui-se, que os sistemas de iluminação instalados no edifício são energeticamente ineficientes, sobredimensionados, e mesmo assim, a qualidade de iluminação num número significativo de espaços é fraca. Neste sentido, apresentam-se na secção 6 alguns sistemas de iluminação que, a serem instalados, elevam a iluminação dos espaços para os níveis recomendados e, ao mesmo tempo, reduzem substancialmente o consumo de energia elétrica.

Tabela 4.5 – Resumo da avaliação do sistema atual de iluminação artificial do edifício (leituras efetuadas ao nível do plano de trabalho).

Espaços	Consumo anual de energia [kWh/ano]	Qualidade da iluminação (luxímetro) [lx]	Qualidade da iluminação espaço tipo (E) (DIALux) [lx]
Espaços de aulas	68453,15 (47,65%)	Fraca a Alta $170 \leq E \leq 483$	Média a Alta $241 \leq E \leq 1091$
Gabinetes de docentes	22906,96 (15,94%)	Fraca a Média $184 \leq E \leq 532$	Média a Alta $404 \leq E \leq 1297$
Áreas de circulação	38887,75 (27,07%)	Fraca a Alta $82 \leq E \leq 245$	-
Gabinetes (secretarias) e bar	11626,87 (8,09%)	Fraca a Alta $34 \leq E \leq 587$	-
Restantes espaços (áreas técnicas, etc)	1782,94 (1,24%)	Média a Alta $103 \leq E \leq 160$	-
Global	143657,67 (100%)		

5 Propostas de melhoria

Apresentam-se e analisam-se neste Capítulo propostas de melhoria do sistema atual de iluminação do edifício. Começa-se com a identificação/sugestão de correções pontuais.

Procedeu-se à identificação e análise para a substituição dos sistemas atuais de iluminação de todo o edifício por outros energeticamente mais eficientes mas que, mesmo assim, garantem iguais ou melhores níveis de luminosidade. No Anexo A apresenta-se mais detalhadamente a formulação para a obtenção da rentabilidade das propostas apresentadas, bem como os custos inerentes aos sistemas instalados atualmente.

5.1 Proposta 1 – Sistema Save It Easy

Esta alternativa consiste na utilização de uma lâmpada T5, um arrancador, conetor/adaptador T8 para T5 e um balastro eletrónico Save It Easy (SIE), este é um inovador balastro eletrónico de acoplagem direta à lâmpada, destinado à requalificação de iluminação baseada em lâmpadas fluorescentes e com os tradicionais balastros eletromagnéticos, promovendo a economia energética e a preservação do ambiente.

A alternativa 1 oferece uma proposta menos dispendiosa a nível de investimento

A Figura 5.1 mostra o sistema Save It Easy:



Figura 5.1 – Sistema Save It Easy [Fonte: (Ploran, 2013)].

As principais vantagens deste sistema são (Ploran, 2013):

- Tempo de instalação mínimo: - São instalados em luminárias convencionais já existentes, adaptando-as tecnicamente para o funcionamento com lâmpadas T5 de alta frequência e elevada eficiência energética;
- Explora a mais moderna tecnologia de iluminação: - As lâmpadas T5 instaladas com este sistema têm uma intensidade luminosa equivalente ou superior às lâmpadas com balastros eletromagnéticos, apresentando um consumo elétrico bastante inferior e aumentando substancialmente o seu tempo de vida;
- Poupa energia e custos: - Este sistema proporciona um fator de potência de 100%, sendo por isso classificado com um índice de eficiência energética classe A.
- Funciona com todos os tamanhos de luminárias: - Ajustam a lâmpada T5 às luminárias concebidas para lâmpadas T8, aproveitando dessa forma todas as luminárias instaladas.

A utilização das lâmpadas T5 instaladas com os dispositivos SIE têm uma intensidade luminosa equivalente ou superior às lâmpadas T8 convencionais que se encontram instalados no edifício.

Estes dispositivos têm um tempo de vida médio de 50000 horas tendo 2 anos de garantia contra falhas operacionais ou erros de fabrico, quando utilizados com as lâmpadas T5

adequadas. Na Figura 5.2, apresenta-se um esquema representativo de um exemplo de instalação do sistema Save It Easy.

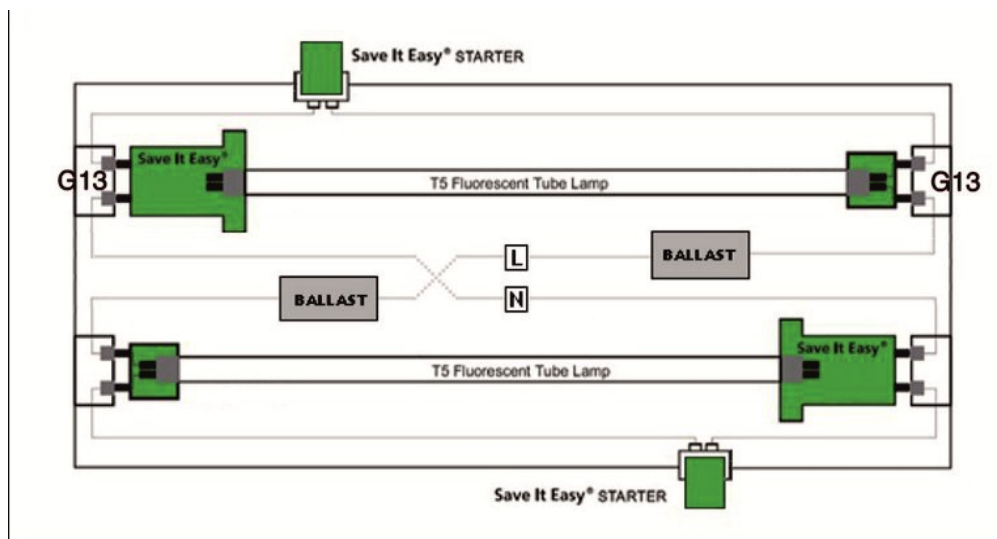


Figura 5.2 – Sistema Save It Easy instalado.

Com a implementação dos balastros eletrônicos SIE, a substituição das lâmpadas fluorescentes por outras mais eficientes, designadamente as fluorescentes tubulares com diâmetro de 26 mm (T8) para 16 mm (T5), conseguindo-se, assim, uma redução significativa no consumo e o aumento da eficiência da luminária (conforme se pode ver na Tabela 5.1), para além dos benefícios ambientais, pois as lâmpadas T5 possuem menos 70% de vapor de mercúrio que as T8.

Tabela 5.1 – Potência máxima absorvida individualmente pelo sistema atual e o sistema proposto
[Adaptado de: (Ploran, 2013)].

Lâmpadas T8	Consumo da Lâmpada T8	Consumo da Lâmpada T8 + Balastro Eletromagnético	Consumo da Lâmpada T5 de Alta Eficiência	Consumo da Lâmpada T5 de Alta Eficiência + Balastro SIE	Redução em watts	% Energia Economizada
T8 590 mm	18 W	26 W	14 W	16,5 W	9,5 W	36,54%
T8 1200 mm	36 W	43 W	28 W	30,0 W	13 W	30,23%
T8 1500 mm	58 W	67 W	35 W	39,0 W	28 W	41,79%

Apresenta-se na tabela 5.2, o custo unitário (sem IVA) e global dos dispositivos que foram considerados no cálculo da viabilidade económica dos sistemas de iluminação recomendados, bem como a quantidade para aquisição.

Tabela 5.2 – Custo dos dispositivos considerados na análise dos sistemas de iluminação recomendados.

Material	Custo unitário [€]	Quantidade	Custo global [€]
Balastro Eletrónico Save It Easy	12,95	1499	19412,05
Philips Master TL5 HE 14 W/865*	2,58	154	397,32
Philips Master TL5 HE 28 W/865*	2,58	313	807,54
Philips Master TL5 HE 35 W/865*	2,58	1032	2662,56
Total	-	-	23279,47

*- Temperatura da cor da lâmpada

Determinou-se a viabilidade económica desta alternativa para todos os espaços tipo do edifício. Para a implementação destes sistemas, foram pedidas propostas de orçamento a algumas empresas especializadas em iluminação. A empresa que apresentou a proposta de orçamento mais económica foi a Magalhães & CA LDA de Vila Real, cujos valores foram de

23279,47 € S/IVA com um período de retorno simples de 2,91 anos. Com a instalação destes sistemas, o edifício passa a ter um consumo anual com a iluminação de 86984,57 kWh/ano, correspondendo a um gasto em energia de 12177,84 €/ano (poupança de 7934,23 €/ano e redução no consumo de 39,45 %), no Anexo A encontra-se informação mais detalhada dos cálculos efetuados. O período de retorno simples é uma forma mais conservadora de calcular a viabilidade económica de um investimento, pois não considera as taxas de atualização (como a inflação da tarifa de eletricidade ao longo dos anos). Portanto, os valores apresentados no qual o investimento começa a dar lucro podem perfeitamente ser inferiores ao apresentado.

Para efeitos de análise da viabilidade económica, o valor do investimento a efetuar é considerado igual ao custo de aquisição dos materiais sem IVA e sem contabilizar o gasto em mão-de-obra pois a universidade possui eletricitistas próprios. Estimou-se a poupança de energia elétrica com a implementação dos sistemas alternativos, utilizando a taxa de eletricidade “equivalente” do ano de 2012 (i.e., reunindo as várias tarifas de consumo horário, tais como as horas de vazio, horas de ponta, etc.) atribuída pela EDP de 0,14 €/kWh.

5.2 Proposta 2 – Sistema LEDtube

A alternativa 2 consiste na implementação de sistemas de iluminação que originam um grande impacto de redução no consumo de energia, nomeadamente a substituição dos sistemas de luz artificial existentes no edifício, por sistemas de LEDtube. Este sistema consiste na substituição da lâmpada e o seu arrancador por um tubo LED e respectivo arrancador. Contudo, como os sistemas de iluminação do EEI-UTAD não apresentam longos períodos operacionais (como os hotéis ou hospitais). Para a implementação destes sistemas, foram pedidas propostas de orçamento a algumas empresas especializadas em iluminação. A empresa que apresentou a proposta de orçamento mais económica foi a Magalhães & CA LDA de Vila Real, cujos valores foram de 76624,10 € S/IVA com período de retorno simples de 9,8 anos.

Com a instalação destes sistemas, o edifício passa a ter um consumo anual com a iluminação de 72384,38 kWh/ano o que corresponde a um gasto de 10133,81 €/ano (poupança de 9978,26 €/ano e redução no consumo de 49,61 %).

Apresenta-se na tabela 5.3, o custo unitário (sem IVA) e global dos dispositivos que foram considerados no cálculo da viabilidade económica dos sistemas de iluminação recomendados nesta alternativa, bem como a quantidade para aquisição.

Tabela 5.3 – Custo dos dispositivos considerados na análise dos sistemas de iluminação da Alternativa 2.

Material	Custo unitário [€]	Quantidade	Custo global [€]
Master LEDtube GA300 11 W/865* + Arrancador	24,85	154	3826,9
Master LEDtube GA300 22 W/865* + Arrancador	36,40	313	11393,2
Master LEDtube GA210 34 W/840* + Arrancador	59,50	1032	61404
Total	-	-	76624,10

*- Temperatura da cor da lâmpada

5.3 Seleção dos sistemas mais recomendados

Os sistemas mais recomendados são os apresentados na alternativa 1 tendo em conta os valores de PRI e o custo operacional anual. Apresenta-se na Tabela 5.4 um resumo da avaliação económica da alternativa de iluminação mais recomendada para todo o edifício. Pelo artigo nº 32 do RSECE, se aquando da certificação energética obrigatória do edifício este não se encontrar regulamentar, é necessária a elaboração de um PRE (plano de racionalização energética). Todas as medidas de eficiência energética, identificadas nesse plano, que tenham um período de retorno igual ou inferior a oito anos são de implementação obrigatória. Como tal, apresenta-se a alternativa 2 apenas como termo de comparação.

Tabela 5.4 – Resumo da avaliação económica das alternativas de iluminação mais recomendada.

	Custo de aquisição [€]	Custo operacional anual [€/ano]	Poupança anual [€/ano]	Período de retorno de investimento [anos]
Sistema atual	8194,22	20438,84		
Alternativa 1	23279,47	12450,08	7988,76	2,91
Alternativa 2	76624,10	12673,98	7764,86	9,86

Apresenta-se na Figura 5.3, o consumo anual estimado de energia eléctrica pelo sistema de iluminação atual e das alternativas propostas a implementar do edifício, tendo em consideração os horários de funcionamento definidos no ponto 4.9. Como se pode ver a energia eléctrica anual consumida pelo sistema de iluminação atual é de 143657,67 kWh, pelo proposto na alternativa 1 é de 86984,57 kWh e 72384,38 kWh pelo proposto na alternativa 2. Constata-se uma poupança anual estimada de 56673,10 kWh na implementação da alternativa 1 e de 71273,29 kWh se se implementar a alternativa 2.

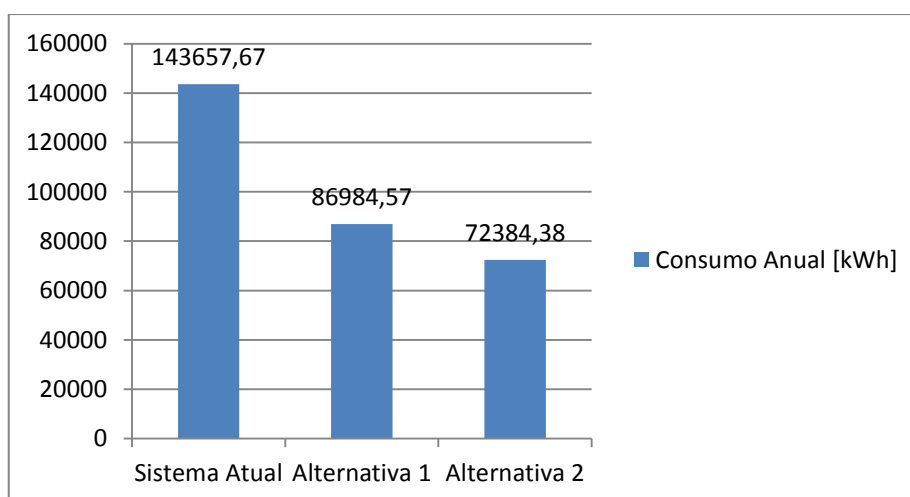


Figura 5.3 – Avaliação do consumo de energia eléctrica dos sistemas de iluminação.

5.4 Avaliação da qualidade da iluminação proposta

Com recurso ao programa DIALux, segue-se a demonstração de que para além da poupança energética relatada na secção 5.3, o sistema proposto aproxima-se da qualidade de iluminação exigida para os espaços tipo anteriormente considerados. Para o efeito, apresentam-se a seguir os resultados obtidos para a potência luminosa ao nível do plano de trabalho para os mesmos espaços considerados aquando da análise da qualidade dos sistemas existentes no edifício (apresentados na secção 4.4). A análise foi efetuada para a situação de iluminação mais exigente, i.e., sem a contribuição da luz natural. Esta via de análise também reduz o erro de simulação, visto que só é efetuado a simulação ao sistema artificial e não a ambos.

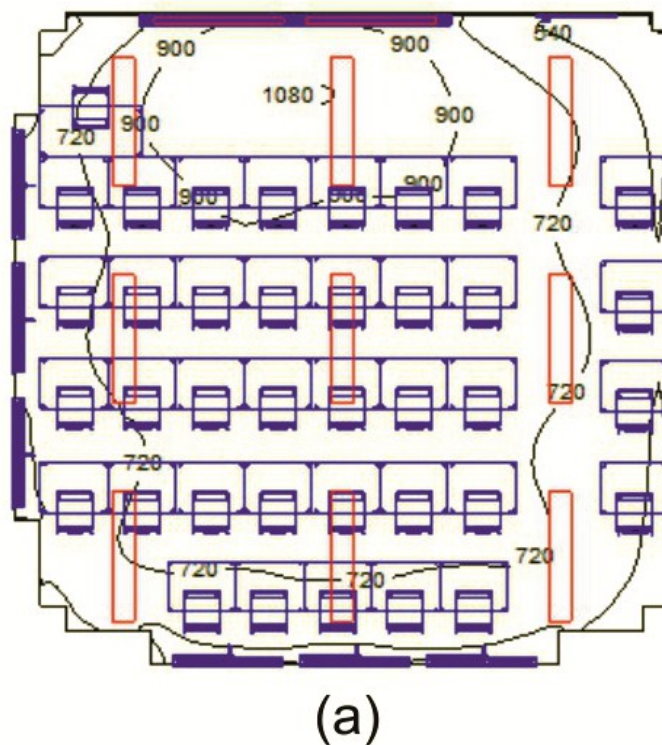
5.5 Iluminação da sala de aula E 1.02

Apresenta-se na Figura 5.4 a simulação do sistema de iluminação artificial existente na sala de aula E 1.02, efetuado no programa DIALux.



Figura 5.4 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente na sala E 1.02

A iluminância que este programa apresenta para o nível do plano de trabalho (altura das mesas é de 0,80 m), assegurada pelo sistema de iluminação artificial existente e recomendado é apresentada na Figura 5.5. Dado que para o sistema atual e para o sistema recomendado (alternativa 1) apenas se efetuou uma mudança de equipamento para um energeticamente mais eficiente, o nível de iluminação diminui, mas mesmo assim mantém-se a um nível bastante superior ao nível médio exigido pela Norma EN 12464-1 (300 lx). Constatando-se que o sistema de iluminação existente esta sobredimensionado. Apresentam-se os valores obtidos através da simulação no programa DIALux de forma mais pormenorizadamente na Tabela 5.5, onde E_m corresponde à iluminância média, E_{min} é a iluminância mínima, E_{max} a iluminância máxima e u_0 a uniformidade da luz.



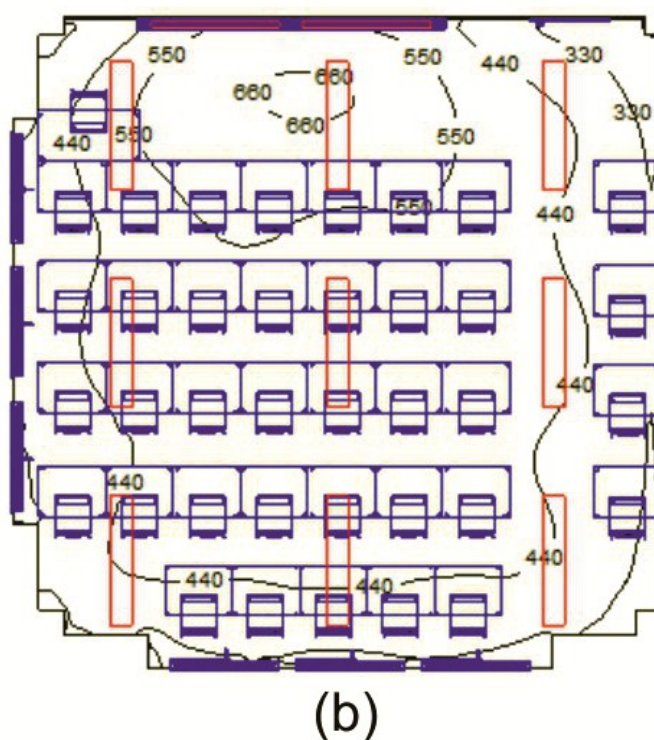


Figura 5.5 – Iluminância ao nível do plano de trabalho da sala E 1.02 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).

Tabela 5.5 – Características luminotécnicas da sala E 1.02 analisadas com o programa DIALux.

Plano de Trabalho	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
Sistema Atual	750	241	1091	0,321
Alternativa 1	465	149	677	0,321

5.6 Iluminação do gabinete F 1.17

Apresenta-se na Figura 5.7.a, o sistema de iluminação artificial existente no gabinete de docentes F 1.17, simulado no programa DIALux. A iluminância que o programa prevê para o nível do plano de trabalho do gabinete é apresentada na Figura 5.7.b. Dado que, para o sistema atual e para o sistema recomendado (alternativa 1) apenas se efetuou uma mudança de equipamento para um energeticamente mais eficiente, o nível de iluminação no plano de trabalho diminuiu, mas aproximou-se da média exigida (500 lx). Na Tabela 5.6, apresentam-se os valores obtidos para as características luminotécnicas ao nível do plano de trabalho.

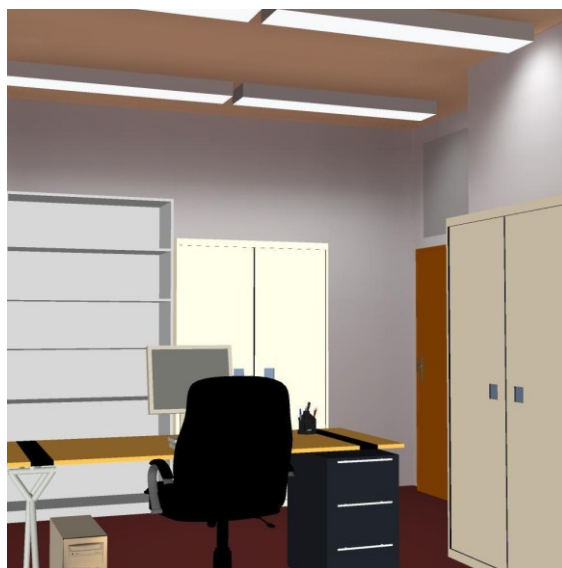
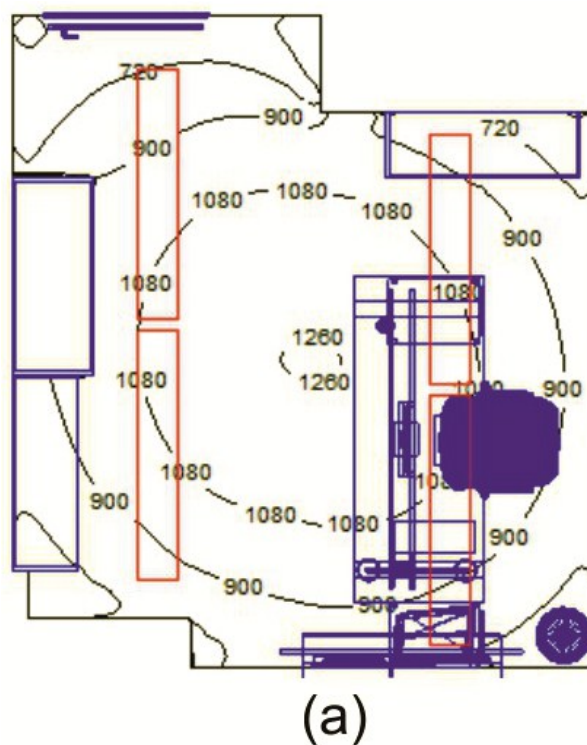


Figura 5.6 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no gabinete de docentes F 1.17.



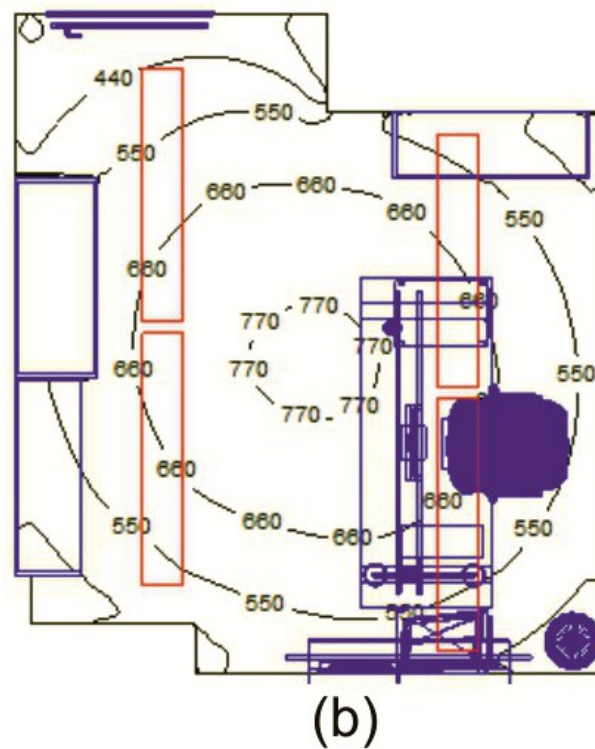


Figura 5.7 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do gabinete de docentes F 1.17 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).

Tabela 5.6 – Características luminotécnicas do gabinete de docentes F 1.17 analisadas com o programa DIALux.

Plano de Trabalho	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
Sistema Atual	949	404	1267	0,426
Alternativa 1	588	251	786	0,427

5.7 Iluminação do laboratório de termodinâmica I 1.02

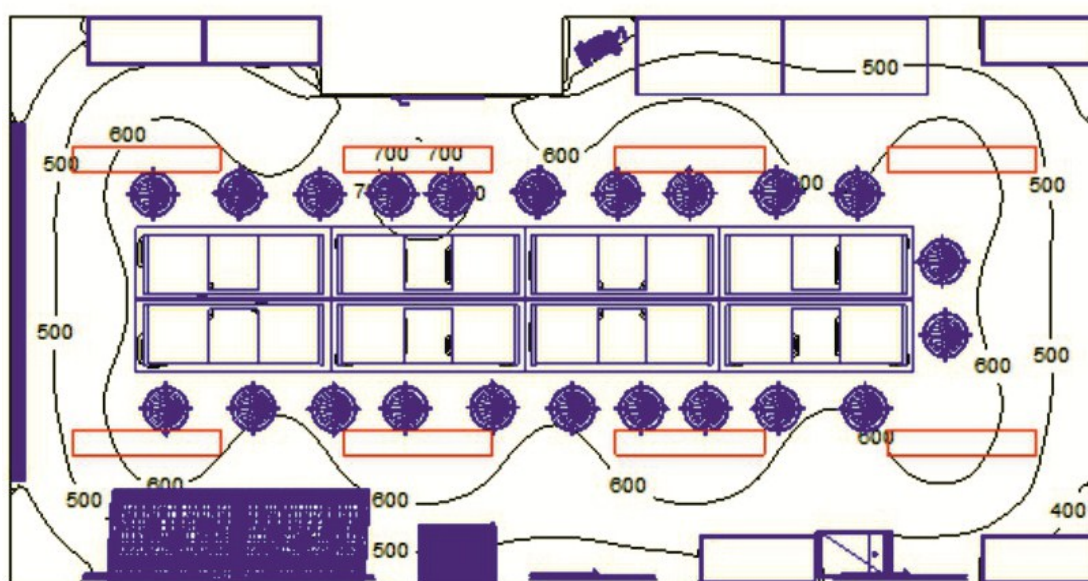
Apresenta-se na Figura 5.8 a simulação para o caso do sistema de iluminação artificial existente no laboratório de termodinâmica.

Apresenta-se na Figura 5.9.b, a iluminância que o programa DIALux prevê para o nível do plano de trabalho do laboratório de termodinâmica, no caso de serem instalados os

sistemas recomendados. O sistema recomendado teria como alterações, a instalação de uma fileira de três luminárias iguais às atuais, com os equipamentos recomendados (alternativa 1) compensando a perda de iluminância. Quando comparado com o assegurado pelo sistema atual (representado na Figura 5.9.a, verifica-se que a qualidade da iluminação, mas manteve-se dentro dos parâmetros exigidos pelas normas (500 lx). A Tabela 5.7 apresenta os valores das características luminotécnicas ao nível do plano de trabalho, obtidos a partir do programa DIALux.



Figura 5.8 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no laboratório de termodinâmica I 1.02.



(a)

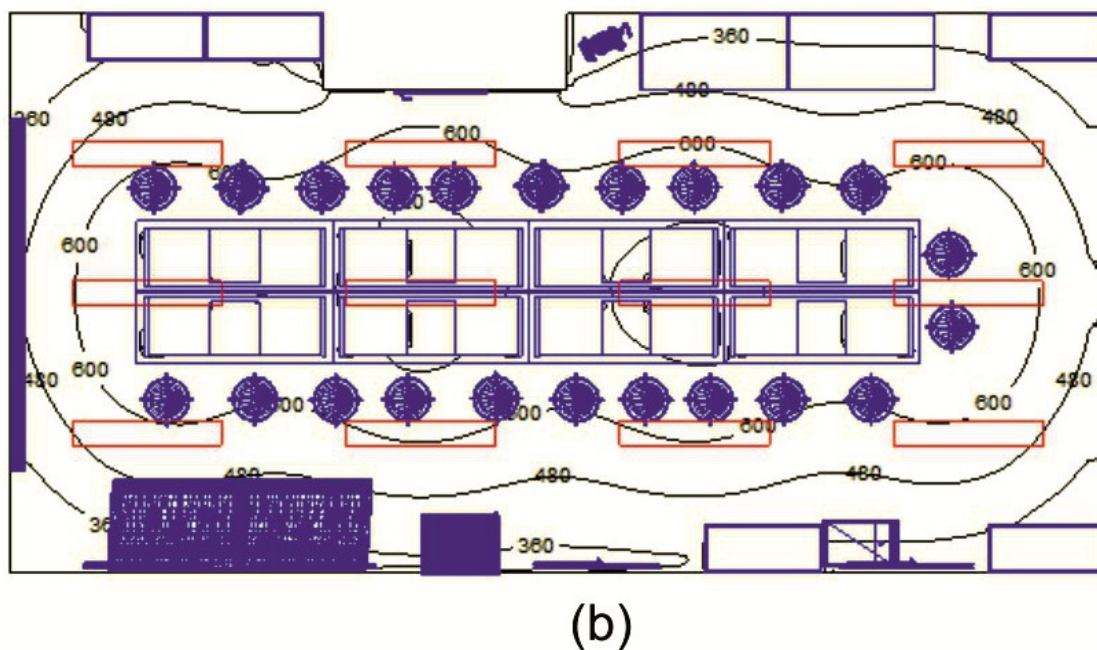


Figura 5.9 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do laboratório de termodinâmica I 1.02 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).

Tabela 5.7 – Valores das características luminotécnicas do laboratório de termodinâmica I 1.02 obtidos com o programa DIALux.

Plano de Trabalho	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
Sistema Atual	572	283	734	0,494
Alternativa 1	534	225	776	0,421

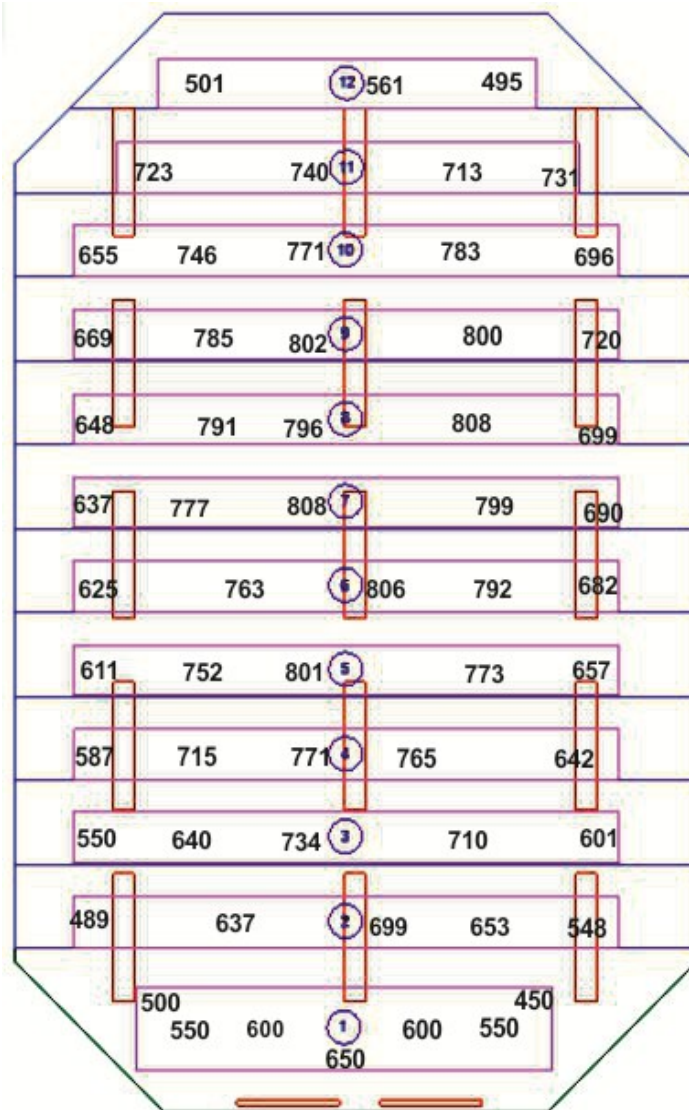
5.8 Iluminação do anfiteatro G 0.03

Apresenta-se na Figura 5.10 o sistema de iluminação artificial existente no anfiteatro G 0.03, simulado no programa DIALux.

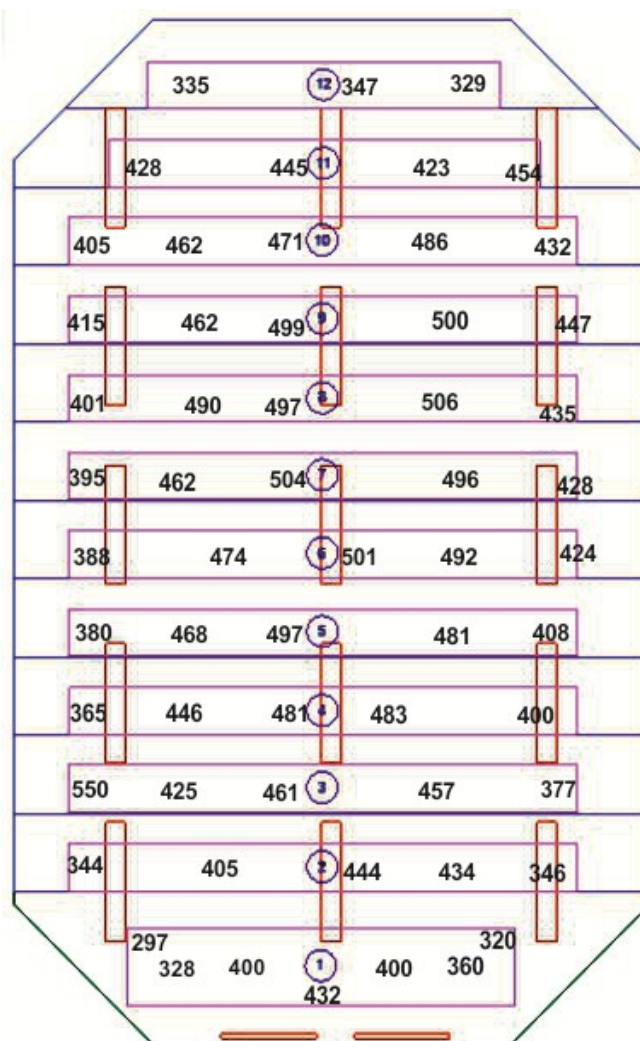


Figura 5.10 – Simulação, efetuada pelo DIALux, do sistema de iluminação artificial existente no anfiteatro G 0.03.

A iluminância que o programa DIALux na Figura 5.11.a, vemos os níveis de superfícies de cálculo do anfiteatro que estabelecemos para calcular o valor de iluminância no plano de trabalho em cada nível de bancada no sistema atualmente instalado e na Figura 5.11.b, o mesmo método de cálculo mas com o sistema recomendado. Mais uma vez deparamo-nos com um sistema sobredimensionado e muito acima dos níveis de iluminância exigidos. Quando comparado verificamos que o nível de iluminância baixa significativamente, mas mesmo assim acima dos valores recomendado (300 lx) pela norma EN 12464-1: 2002.



(a)



(b)

Figura 5.11 – Iluminância ao nível do plano de trabalho do Anfiteatro G 0.03 assegurado pelo sistema de iluminação existente (a) e recomendado (b).

Na Tabela 5.8, encontra-se de uma forma mais detalhada os valores das características luminotécnicas do anfiteatro G 0.03, em que E_m corresponde à iluminância média, E_{min} é a iluminância mínima, E_{max} a iluminância máxima e u_0 a uniformidade da luz (E_{min}/E_{max}) ao nível do plano de trabalho de cada bancada do anfiteatro G 0.03.

Tabela 5.8 – Características luminotécnicas do anfiteatro G 0.03 analisadas com o programa DIALux.

Níveis de plano de trabalho	Sistema de iluminação	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
1	Existente	575	415	662	0.722
	Recomendado	377	267	436	0.710
2	Existente	622	480	711	0.771
	Recomendado	395	302	452	0.764
3	Existente	676	533	746	0.789
	Recomendado	423	333	467	0.787
4	Existente	713	568	787	0.796
	Recomendado	444	354	490	0.796
5	Existente	737	592	807	0.804
	Recomendado	458	368	502	0.804
6	Existente	750	601	812	0.801
	Recomendado	466	373	505	0.801
7	Existente	758	612	817	0.807
	Recomendado	471	380	507	0.807
8	Existente	764	623	821	0.816
	Recomendado	474	386	509	0.814
9	Existente	764	631	811	0.825
	Recomendado	474	391	503	0.824
10	Existente	740	624	788	0.842
	Recomendado	459	386	490	0.841
11	Existente	698	646	753	0.926
	Recomendado	433	401	467	0.926
12	Existente	474	403	564	0.849
	Recomendado	294	250	350	0.849

Apresentam-se na Tabela 5.9, as características luminotécnicas em que o nível atual de iluminação foi analisado, com recurso ao programa DIALux. Nesta tabela, P_t representa a potência total instalada, D a densidade de potência, D_r a densidade de potência relativa, E_m a iluminância média e u_0 a uniformidade da luz no plano de trabalho. A comparação da eficiência energética a nível do consumo energético, entre os sistemas de iluminação é efetuada

com a densidade de potência relativa D_r , podendo observar-se que existe uma diminuição do consumo ao se implementar o sistema de iluminação recomendado, mantendo-se os níveis de iluminação dentro dos exigidos pela norma EN 12464-1: 2002.

Tabela 5.9 – Características luminotécnicas dos espaços analisados com o programa DIALux.

Espaço	Sistema de iluminação	P_t [W]	D [W/m ²]	D_r [W/(m ² .100 lx)]	E_m [lx]	u_0
Sala de aula E 1.02	Existente	1340	23,47	3,13	750	0,321
	Recomendado	780	13,66	2,94	465	0,321
Gabinete F 1.17 (docente)	Existente	536	41,17	4,34	949	0,426
	Recomendado	312	23,97	4,07	588	0,427
Laboratório de termodinâmica I 1.02	Existente	1072	17,03	2,98	572	0,494
	Recomendado	936	14,87	2,78	534	0,421
Anfiteatro G 0.03	Existente	2096	20,76	3,00	692	0,582
	Recomendado	1230	12,18	2,81	433	0,577

5.9 Incorporação de sistemas de controlo na iluminação

Independentemente da proposta de melhoria a considerar, é possível reduzir o consumo de energia com a iluminação, recorrendo a sistemas de controlo. Entre estes destaca-se o Sistema DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), que consiste principalmente na regulação do fluxo luminoso das fontes de luz artificial, consoante as necessidades de luz no instante (iluminação dinâmica). Presentemente é o sistema mais eficiente em termos de racionalização de energia, porque permite a dimerização (formação de uma molécula a partir de duas menores). automática (célula fotoelétrica) ou manual das fontes de luz artificial, em função do aproveitamento da luz natural, conforme se apresenta na Figura 5.12.

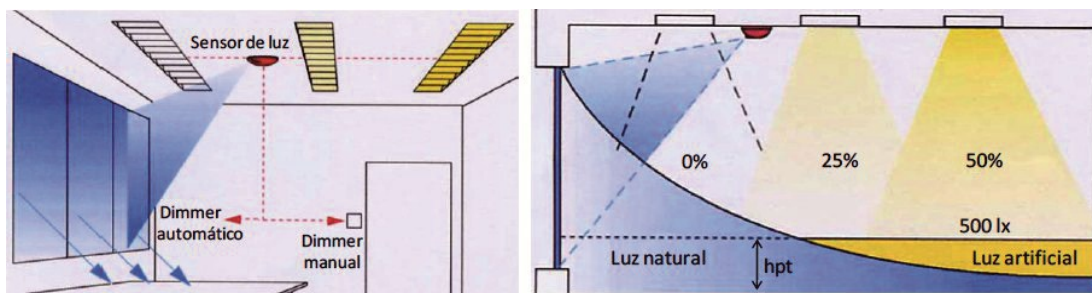


Figura 5.12 – Sistema de iluminação controlado por um sensor de luz. Adaptado de (Teixeira, 2006).

Os sensores de luz podem ser internos ou externos e têm a função de manter o nível de iluminação pretendido (p.ex., 500 lx), quer haja a contribuição de luz natural ou não. Este sistema também permite a memorização de cenários de iluminação (p.ex., palestra ou aula prática) e possibilita o controlo da temperatura de cor, de modo a simular a luz solar ao longo do dia, ajustando os ritmos cronobiológicos do Ser Humano e melhorando, desta forma, o rendimento e satisfação dos utilizadores no local de trabalho. Também disponibiliza um controlo automático do circuito de iluminação, através de detetores de presença, levando a que não seja necessária a utilização de interruptores manuais.

6 Conclusões

Os sistemas de iluminação têm como finalidade iluminar convenientemente os espaços, de forma a garantir a boa produtividade, a saúde e o bem-estar dos ocupantes. Idealmente, devem fazê-lo consumindo o mínimo de energia elétrica possível. Da análise dos sistemas de iluminação atualmente instalados no edifício EEI-UTAD e tendo em consideração os respetivos períodos de funcionamento, conclui-se que:

- O consumo de eletricidade com a iluminação é de cerca de 143,65 MWh, não se pôde contabilizar qual a percentagem correspondente ao consumo de energia global do EEI-UTAD, pois não foi possível ter acesso ao mesmo. Como resultado, o gasto anual com a iluminação é de cerca de 20112,07 €, sem contabilizar com o eventual consumo adicional de eletricidade pelos equipamentos de arrefecimento do ar interior, devido ao calor gerado pela iluminação. Para uma caracterização mais completa do consumo de energia no edifício, seria necessária uma auditoria energética completa, que identificasse e quantificasse os restantes consumidores (p.ex., os equipamentos laboratoriais, informáticos, de AVAC, etc.). Só com a desagregação de consumos é que se estaria em condições de propor uma correta gestão energética do edifício. Para além disto, também ajudaria a detetar e a corrigir possíveis anomalias/perdas energéticas. Uma auditoria energética completa também permitiria seleccionar ou dar prioridade aos sistemas com mais impacto em termos de gastos energéticos e, logicamente, onde medidas de melhoria de eficiência energética teriam maior potencial de poupança. Aconselha-se, portanto, uma auditoria energética completa ao edifício.

- No global, a qualidade de iluminação é fraca devido à falta de manutenção, apesar de na maioria dos espaços o sistema instalado estar sobredimensionado como comprovado pelas simulações no DIALux, para os espaços que requerem maior destreza visual (p.ex., atividades de leitura ou de escrita), como é o caso das salas de aula, gabinete de docentes e, visto que após análise com o recurso a um Luxímetro, estes não atingem o nível mínimo de iluminância recomendado pela Norma EN 12464-1 e a uniformidade da iluminância apresentar valores inferiores a 1/3. Porém, a temperatura de cor (T_c) e o índice de restituição cromática (IRC)

encontram-se adequados para os diversos espaços tipo do edifício, cujas lâmpadas têm um IRC de 80 e T_c de 6500 K (luz do dia). As luminárias com refletor parabólico e alhetas brancas apresentam-se como uma solução mediana para as salas de aula e salas de informática, no que concerne ao controlo do encadeamento e às reflexões não pretendidas (especialmente nos ecrãs).

- A iluminação atual do edifício consome mais energia elétrica do que seria desejável e nem sempre proporciona um nível de iluminação adequado às funções dos espaços. Este excesso de consumo de eletricidade deve-se, principalmente, ao facto de a maioria do equipamento ser indutivo (magnético), enquanto a fraca iluminância se deve à inexistência de um plano de manutenção, nomeadamente da limpeza das luminárias instaladas em cada espaço.

- Os espaços iluminados com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 com balastro magnético (p.ex., laboratórios e gabinetes) deverão ser substituídos por fluorescentes T5 com balastro eletrónico mencionado no sistema recomendado.

- Presentemente, a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por LEDtubes ainda é de difícil viabilidade para os edifícios de ensino, cujo horário laboral seja maioritariamente diurno, devido ao seu custo elevado. Contudo, são vantajosos para espaços com longos períodos de operação (como os hotéis ou hospitais), pois possuem elevada eficiência luminosa e vida útil muito longa, para além de serem mais ecológicos (não têm mercúrio e emitem menos CO_2 na energia associada ao seu funcionamento). Adivinha-se que, com o seu exponencial crescimento tecnológico, a curto/médio prazo seja a fonte de luz artificial mais indicada para praticamente todos os tipos de espaço.

- Com a realização de um investimento de 23279,47 € para a implementação do sistema recomendado, o edifício EEI-UTAD passará a consumir cerca de 86984,57 kWh por ano, levando a uma poupança anual de 7934,23 € (redução no consumo de 39,45 %) e apresentando um período de retorno de 2,91 anos.

- A forma como os circuitos de iluminação estão distribuídos pelos espaços também influencia diretamente os consumos de energia. Como tal, recomenda-se para os espaços amplos, nomeadamente as salas de aula, que o comando das luminárias seja efetuado por grupos pequenos. Deste modo, permite ter em funcionamento apenas os grupos necessários, reduzindo assim o consumo de energia com a iluminação.

- A eficácia luminosa das fontes de luz artificial, a eficiência luminosa das luminárias e a eficiência do recinto (dando preferência a cores claras, pois aumenta a reflexão) são determinantes na eficiência e qualidade de um sistema de iluminação, conforme se pôde comprovar no programa DIALux.

6.1 Medidas futuras de melhoria energética

Portugal usufrui de excelentes condições para o aproveitamento da radiação solar para fins energéticos. Possui, em média, entre 2200 a 3000 horas de sol por ano. Além disso, tem dos mais favoráveis índices de transparência ou claridade da atmosfera. Como consequência destes dois fatores, Portugal é dos países da União Europeia que mais energia solar recebe em cada ano por metro quadrado de superfície horizontal, em média 4,52 kWh/ano. m^2 em Lisboa (DGEG, 2002). Visto que o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade de algumas medidas de eficiência energética do sistema de iluminação do edifício, torna-se pertinente avaliar a eventualidade de realizar um investimento em painéis fotovoltaicos, não só dando resposta às necessidades de eletricidade para a iluminação como dos restantes equipamentos.

Para os edifícios novos, existe ainda a alternativa de projetar os edifícios prevendo envidraçados que maximizem a entrada de luz natural, os quais devem também, permitir a entrada de radiação solar (calor) no Inverno e inibir a sua entrada no Verão. Isto é possível selecionando envidraçados virados a Sul ou equipados com dispositivos de sombreamento adequado (de preferência móveis) e que apresentem coeficientes de transmissão térmica superficial baixos.

7 Bibliografia

- (ADENE, 2012) Agência para a Energia (2012). “*Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*”. Disponível em <http://www.adene.pt>, consultado pela última vez em Novembro de 2012.
- (Alvarez-Caicoya et al., 2011) Alvarez-Caicoya, Jaime, J. Cosme-Torres, Antonio e I.Ortiz-Rivera, Eduardo (2011). “*Compact Fluorescent Lamps, an Anticipatory Mind to Mercury*”. Potentials, IEE, Vol. 30. ISBN: 0278-6648.
- (Araújo, 2013) Araújo, Lucínio Preza de. (2013). “Tipos e características de lâmpadas. *Sistemas de iluminação*”. Disponível em <http://www.prof2000.pt/users/lpa> , consultado pela última vez em Janeiro de 2013.
- (Bradshaw, 2006) Bradshaw, Vaughn (2006). “*The Building Environment: Active and Passive Control Systems*”. New Jersey : Wiley. ISBN: 0471-689653.
- (Coletivourbane, 2013) Coletivourbane (2013). “*Tipos e características de lâmpadas*”. Disponível em <http://coletivourbane.blogspot.pt/2012/01/tipos-e-caracteristicas-de-lampadas.html>, consultado pela última vez em Janeiro de 2013.
- (CMFG, 2012) CMFG - Energia e Ambiente, Lda (2012). “*Auditoria Energética*”. Disponível em <http://www.cmfg.pt>, consultado pela última vez em Novembro de 2012.

- (DGEG, 2005) Direcção-Geral de Energia e Geologia (2005).
“Consumo Doméstico Balanço DGEG 2005”. Disponível em <http://www.dgeg.pt>, consultado pela última vez em Dezembro de 2012.
- (DGEG, 2012) Direcção-Geral de Energia e Geologia (2012).
“Iluminação”. Disponível em <http://www.dgeg.pt>, consultado pela última vez em Novembro de 2012.
- (Dilouie, 2005) DiLouie, Craig (2005). “*Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity Technology and Application*”s. Lilburn : The Fairmont Press, Inc. ISBN: 0-88173-511-6.
- (DL, 327/2001) Decreto-Lei n.º 327/2001 de 18 de Dezembro.in *Diário da República 1ª Série A N. º291*, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.
- (DL, 29/2011) Decreto-Lei n.º 29/2011 de 28 de Fevereiro.in *Diário da República 1ª Série N. º41*, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.
- (EETT, 2007) Energy Efficiency Training of Trainers (2007). “*Manual Técnico de Gestão de Energia*”. [Documento] Coimbra : ISR-Universidade de Coimbra.
- (ELCFED, 2012) European Lamp Companies Federation (2012). “*About lamps & lighting: Lamp types*”. Disponível em http://www.elcfed.org/1_health.html, consultado pela última vez em Dezembro de 2012.
- (EN 12464-1, 2002) “*Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places*”, European Committee for Standardization.
- (Ganslandt & Hofmann, 1992) Ganslandt, R., Hofmann, H. (1992), “*Handbook of Lighting*

Design” - 1ª ed”, ERCO.

(Gaspar, 2004)

Gaspar, Carlos (2004). “*Eficiência Energética na Indústria ADENE*”. Disponível em <http://horacio.no.sapo.pt/Eficiencia%20Energetica%20na%20Industria%20ADENE.pdf>, consultado pela última vez em Novembro de 2012.

(Guerrini, 2009)

Guerrini, Délio Pereira (2009). “*Iluminação - Teoria e Projecto - 2ª Edição*”. São Paulo : Érica, Ltda.

(Harris, 2013)

Harris, Tom (2013). “*How Light Emitting Diodes Work - Led Advantages*”. Disponível em <http://electronics.howstuffworks.com/led3.htm>, consultado pela última vez em Janeiro de 2013.

(IEA, 2006)

International Energy Agency (2006). “*Light’s Labor’s Lost - Policies for Energy-Efficient lighting*”. France : OECD/IEA.

(Ilumina, 2013)

Ilumina (2013). “*Catálogo de Iluminação 2010/2011*”. Disponível em http://www.ilumina.pt/pt/produtos/cat_ilu.html, consultado pela última vez em Janeiro de 2013.

(LLUM|Bronziarte, 2012)

LLUM|Bronziarte (2012). “*Dicas*”. Disponível em http://bronzearte.rpm.com.br/ler_dicas.asp?c=184#, consultado pela última vez em Novembro de 2012.

(Luz, 2012)

Luz, Jeanine Marchioro da (2012). “*Luminotécnica – Versão Electrónica*”.

(Osetoreletrico, 2013)

Osetoreletrico (2013). “*Lâmpadas de indução magnética vantagens e desvantagens*”. Disponível em <http://www.osetoreletrico.com.br/web/colunistas/juliana>

- [-iwashita/807-lampadas-de-inducao-magnetica-vantagens-e-desvantagens.html](http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao_Conceitos_e_Projetos/index.html), consultado pela última vez em Janeiro de 2013.
- (Osram, 2012) Osram (2012). *“Manual do Curso Iluminação, Conceitos e Projetos”*. Disponível em [http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Manual do Curso Iluminacao Conceitos e Projetos/index.html](http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao_Conceitos_e_Projetos/index.html), consultado pela última vez em Novembro de 2012.
- (Osram, 2013) Osram (2013). *“Iluminação Geral”*. Disponível em http://www.osram.com.br/osram_br/Profissional/Iluminacao_Geral/index.html, consultado pela última vez em Janeiro de 2013.
- (Philips, 2005) Philips (2005). *“Guia de Iluminação”*.
- (Ping, 2006) Ping, Shang Ping, Chun-Wen, Tang e Bin-Juine, Huang (2006). *“Charaterizing LEDs for Mixture of Colored LED light sources”*. Taiwan : IEEE.
- (Pinto, 2008) Pinto, Rafael Adaime (2008). *“Projecto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando díodos emissores de luz (LEDs)”*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eléctrica da Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- (Ploran, 2013) Ploran (2013). *“Save It Easy® - The Ultimate Plug & Save e-Ballast Conversion Units”*. Disponível em http://www.ploran.com/artigos/pt_saveiteasy_ploran.pdf, consultado pela última vez em Janeiro de 2013.
- (PNAEE, 2008) Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética -

- Portugal Eficiência 2015. in *Diário da República*, 1ª Série N.º97, 20 de Maio de 2008. Lisboa : s.n.
- (Quellette et al., 2002) Quellette, Michael , Arseneau, R. , Siminovitch, M. e Treado, S. (2002). *“New Program for investigating the performance of compact fluorescent lighting systems”*. IEE Industrial Electronics Society, ISBN: 0-7803-0453-5.
- (Rocha, 2007) Rocha, Filipe Andrade da e Alves, Filipe Lopes (2007). *“Eficiência Energética em Edifícios: Luminotecnica e Transporte Vertica”*.l. Porto : FEUP.
- (Sá, 2010) Sá, André F. (2010). *“Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética – 2.ª Edição”*. Porto: Publindústria.
- (Teixeira, 2006) Hordeski, Michael F. (2003). *“New Technologies for energy efficiency”*. Lilburn : The Fairmont Press, inc. ISBN: 0881-734381.
- (UFRGS, 2012) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012). *“Iluminação Artificial”*. Disponível em http://www.ufrgs.br/labcon/aula5_iluminacao_artificial.pdf, consultado pela última vez em Novembro de 2012.
- (USP, 2012) Universidade de São Paulo (2012). *“Conceitos Fundamentais (grandezas luminosas)”*. Disponível em http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/Material_de_Apoio/03_Ia_Conceito_Fundamentais_grandezas_Luminosas.pdf, consultado pela última vez em Dezembro de 2012.

Anexo A

Considerando o tempo de utilização dos sistemas de iluminação instalados em cada espaço de estudo e considerando o custo de energia em 0,14 €/kWh, apresenta-se neste anexo os processos de cálculo dos investimentos e períodos de retorno das propostas de melhoria apresentadas na secção 5.

Como se pode observar nas figuras pertencentes ao anexo A, utilizou-se a ferramenta de cálculo Excel do Microsoft Office para a obtenção dos custos inerentes à instalação e de operação dos sistemas de iluminação propostos como alternativa ao sistema de iluminação existente para cada espaço definido na secção 4.5 e o tempo de utilização de cada espaço definido na secção 4.4.3, tendo em consideração os seguintes parâmetros:

- a) Custo total de aquisição (C_{ta}) em euros [€], no qual se contabiliza os custos dos equipamentos envolvidos, em que: (N_l) representa a quantidade de lâmpadas; (C_l) é o preço de cada lâmpada; (N_a) representa a quantidade de acessórios (balastro eletrónico/eletromagnético) e (C_a) o preço de cada acessório por lâmpada.

$$C_{ta} = (N_l \times C_l) + (N_a \times C_a) \quad (17)$$

- b) Custos operacionais anual (C_{oa}) em [€], no qual se contabiliza os custos de operação/manutenção dos equipamentos, tendo em consideração:

Em primeiro lugar ao custo do consumo anual de energia (C_a) em [€], onde: (P_{ti}) é a potência total instalada [kW]; (T_a) o tempo de uso anual [horas]; (C_e) representa o custo médio da energia elétrica (preço do kWh) [€/kWh].

$$C_a = (P_{ti} \times T_a) \times C_e \quad (18)$$

Em segundo lugar consideramos o custo médio anual de reposição das lâmpadas (C_{arl}) [€], onde: (N_l) representa a quantidade de lâmpadas; (T_a) o tempo de uso anual [horas]; (C_l) é o preço de cada lâmpada; (V_{ul}) representa o tempo de vida útil da lâmpada.

$$C_{arl} = \frac{(N_l \times T_a \times C_l)}{V_{ul}} \quad (19)$$

Assim

$$C_{oa} = C_a + C_{arl} \quad (20)$$

- c) Para o cálculo do período de retorno de investimento (P_{RI}) [anual] usamos os valores obtidos através do uso de cada proposta de melhoria para contrapor os obtidos pelo sistema atualmente instalado, sendo que o (P_{RI}) de cada proposta (x) é dado por:

Em que C_{oaat} é o custo operacional do sistema atual.

$$P_{RIx} = \frac{C_{tax}}{(C_{oaat} - C_{oax})} \quad (21)$$

A Figura A.1, representa a planificação de custos para os espaços de aulas relativos ao sistema atualmente instalado.

Planificação de Custos					
Espaços de aulas		Sistema Atual			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	OSRAM TL8 18 W	OSRAM TL8 36 W	OSRAM TL8 58 W	
2 Modelo do balastro	-	Van Cliff	Van Cliff	Van Cliff	
3 Tecnologia do balastro	-	Eletromagnético	Eletromagnético	Eletromagnético	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.300	3.250	5.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	20.000	20.000	20.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	76	142	493	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	76	142	493	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	26	43	67	
10 Potência total instalada = $((7) \times (9))/1000$	kW	1,98	6,11	33,03	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1665	1665	1665	
12 Consumo anual de kWh = $(10) \times (11)$	kWh/ano	3290,04	10166,49	54996,62	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = $(6) / (11)$	anos	12,01	12,01	12,01	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,32	2,32	2,72	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	2,10	2,10	3,22	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = $(7) \times (14) + (8) \times (15)$	€	335,92	627,64	2928,42	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = $(12) \times (16)$	€	460,61	1423,31	7699,53	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = $((7) \times (11) \times (14)) / (6)$	€	14,68	27,43	111,63	
20 Somatório dos custos operacionais = $(18) + (19)$	€	475,28	1450,73	7811,16	

Figura A.1 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual nos espaços de aulas. Adaptado de (Osram).

Na Figura A.2, encontram-se os cálculos efetuados tendo em conta o sistema de iluminação recomendado para os espaços de aulas.

Planificação de Custos					
Espaços de aulas		Sistema Save It Easy			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	Master TL5 14 W	Master TL5 28 W	Master TL5 35 W	
2 Modelo do balastro	-	Save It Easy	Save It Easy	Save It Easy	
3 Tecnologia do balastro	-	Electrónico	Electrónico	Electrónico	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1175	2450	3100	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	24000	24000	24000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	76	142	493	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	76	142	493	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	16,5	30	39	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	1,25	4,26	19,23	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1665	1665	1665	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	2087,91	7092,90	32012,96	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	14,41	14,41	14,41	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,58	2,58	2,58	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	12,95	12,95	12,95	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	1180,28	2205,26	7656,29	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	292,31	993,01	4481,81	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	13,60	25,42	88,24	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	305,91	1018,42	4570,05	

Figura A.2 – Planificação dos custos do sistema de iluminação recomendado nos espaços de aulas.

Adaptado de (Osram).

A Figura A.3, revela a planificação de custos referentes ao sistema de iluminação LEDtube para os espaços de aulas.

Planificação de Custos					
Espaços de aulas		Sistema LEDtube			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	LEDtube 11 W	LEDtube 22 W	LEDtube 34 W	
2 Modelo do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário	
3 Tecnologia do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.050	2.100	3.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	50.000	50.000	50.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	76	142	493	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	0	0	0	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	11	22	34	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,84	3,12	16,76	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1665	1665	1665	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1391,94	5201,46	27908,73	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	30,03	30,03	30,03	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	24,85	36,40	59,50	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	0,00	0,00	0,00	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	1888,6	5168,8	29333,5	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	194,87	728,20	3907,22	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	62,89	172,12	976,81	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	257,76	900,33	4884,03	

Figura A.3 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube nos espaços de aulas.

Adaptado de (Osram).

Nas figuras A.4, A.5 e A.6 apresentam-se a planificação de custos referentes aos sistemas de iluminação em estudo para os gabinetes de docentes.

Planificação de Custos				
Gabinetes de docentes		Sistema Atual		
Características do sistema de iluminação e ambiente				
1 Modelo de lâmpada	-	OSRAM TL8 36 W	OSRAM TL8 58 W	
2 Modelo do balastro	-	Van Cliff	Van Cliff	
3 Tecnologia do balastro	-	Eletromagnético	Eletromagnético	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		3.250	5.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	20.000	20.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	36	263	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	36	263	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	43	67	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	1,55	17,62	
Características de uso				
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1195	1195	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1849,86	21057,10	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	16,74	16,74	
Custos dos equipamentos envolvidos				
14 Preço de cada lâmpada	€	2,32	2,72	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	2,10	3,22	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14		
Custos dos investimentos				
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	159,12	1562,22	
Custos operacionais				
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	258,98	2947,99	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	4,99	42,74	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	263,97	2990,74	

Figura A.4 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos			
Gabinetes de docentes		Sistema Save It Easy	
Características do sistema de iluminação e ambiente			
1 Modelo de lâmpada	-	Master TL5 28 W	Master TL5 35 W
2 Modelo do balastro	-	Save It Easy	Save It Easy
3 Tecnologia do balastro	-	Electrónico	Electrónico
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		2450	3100
5 Modelo da luminária	-	F0 120	F0 150
6 Vida útil da lâmpada	horas	24000	24000
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	36	263
8 Quantidade total de acessórios	unidades	36	263
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	30	39
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	1,08	10,26
Características de uso			
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1195	1195
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1290,60	12257,12
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	20,08	20,08
Custos dos equipamentos envolvidos			
14 Preço de cada lâmpada	€	2,58	2,58
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	12,95	12,95
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14	
Custos dos investimentos			
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	559,08	4084,39
Custos operacionais			
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	180,68	1716,00
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	4,62	33,79
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	185,31	1749,78

Figura A.5 – Planificação dos custos do sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos			
Gabinetes de docentes		Sistema LEDtube	
Características do sistema de iluminação e ambiente			
1 Modelo de lâmpada	-	LEDtube 22 W	LEDtube 34 W
2 Modelo do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário
3 Tecnologia do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		2.100	3.000
5 Modelo da luminária	-	F0_120	F0_150
6 Vida útil da lâmpada	horas	50.000	50.000
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	36	263
8 Quantidade total de acessórios	unidades	0	0
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	22	34
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,79	8,94
Características de uso			
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1195	1195
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	946,44	10685,69
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	41,84	41,84
Custos dos equipamentos envolvidos			
14 Preço de cada lâmpada	€	36,40	59,50
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	0,00	0,00
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14	
Custos dos investimentos			
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	1310,4	15648,5
Custos operacionais			
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	132,50	1496,00
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	31,32	374,00
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	163,82	1870,00

Figura A.6 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação LEDtube aplicado aos gabinetes de docentes. Adaptado de (Osram).

As Figuras A.7, A.8 e A.9, descrevem o estudo de custos efetuado para as áreas de circulação tendo em conta os sistemas de iluminação objetos de estudo.

Planificação de Custos					
Áreas de Circulação		Sistema Atual			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	OSRAM TL8 18 W	OSRAM TL8 36 W	OSRAM TL8 58 W	
2 Modelo do balastro	-	Van Cliff	Van Cliff	Van Cliff	
3 Tecnologia do balastro	-	Eletromagnético	Eletromagnético	Eletromagnético	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.300	3.250	5.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	20.000	20.000	20.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	17	72	138	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	17	72	138	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	26	43	67	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,44	3,10	9,25	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	3107	3107	3017	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1373,294	9619,27	27895,18	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	6,44	6,44	6,63	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,32	2,32	2,72	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	2,10	2,10	3,22	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	75,14	318,24	819,72	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	192,26	1346,70	3905,33	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	6,13	25,95	56,62	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	198,39	1372,65	3961,95	

Figura A.7 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação atual aplicado às áreas de circulação. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos					
Áreas de Circulação		Sistema Save It Easy			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	Master TL5 14 W	Master TL5 28 W	Master TL5 35 W	
2 Modelo do balastro	-	Save It Easy	Save It Easy	Save It Easy	
3 Tecnologia do balastro	-	Electrónico	Electrónico	Electrónico	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1175	2450	3100	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	24000	24000	24000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	17	72	138	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	17	72	138	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	16,5	30	39	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,28	2,16	5,38	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	3107	3107	3017	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	871,51	6711,12	16237,49	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	7,72	7,72	7,95	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,58	2,58	2,58	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	12,95	12,95	12,95	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	264,01	1118,16	2143,14	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	122,01	939,56	2273,25	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	5,68	24,05	44,76	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	127,69	963,60	2318,01	

Figura A.8 – Planificação dos custos para as áreas de circulação tendo em conta o sistema de iluminação Save It Easy. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos				
Áreas de Circulação		Sistema LEDtube		
Características do sistema de iluminação e ambiente				
1 Modelo de lâmpada	-	LEDtube 11 W	LEDtube 22 W	LEDtube 34 W
2 Modelo do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário
3 Tecnologia do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.050	2.100	3.000
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150
6 Vida útil da lâmpada	horas	50.000	50.000	50.000
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	17	72	138
8 Quantidade total de acessórios	unidades	0	0	0
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	11	22	34
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,19	1,58	4,69
Características de uso				
11 Tempo de uso anual	horas/ano	3107	3107	3017
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	581,01	4921,49	14155,76
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	16,09	16,09	16,57
Custos dos equipamentos envolvidos				
14 Preço de cada lâmpada	€	24,85	36,40	59,50
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	0,00	0,00	0,00
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€		0,14	
Custos dos investimentos				
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	422,45	2620,8	8211
Custos operacionais				
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	81,34	689,01	1981,81
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	26,25	162,86	495,45
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	107,59	851,86	2477,26

Figura A.9 – Planificação dos custos relativos ao sistema de iluminação LEDtube aplicado às áreas de circulação. Adaptado de (Osram).

Relativamente aos espaços referentes aos gabinetes de secretarias e bar, apresentam-se de seguida as Figuras A.10, A.11 e A.12, onde constam os cálculos efetuados para os sistemas de iluminação em estudo.

Planificação de Custos					
Gabinetes (secretarias) e Bar		Sistema Atual			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	OSRAM TL8 18 W	OSRAM TL8 36 W	OSRAM TL8 58 W	
2 Modelo do balastro	-	Van Clíff	Van Clíff	Van Clíff	
3 Tecnologia do balastro	-	Eletromagnético	Eletromagnético	Eletromagnético	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.300	3.250	5.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	20.000	20.000	20.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	54	48	39	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	54	48	39	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	26	43	67	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	1,40	2,06	2,61	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1912	1912	1912	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	2684,45	3946,37	4996,06	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	10,46	10,46	10,46	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,32	2,32	2,72	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	2,10	2,10	3,22	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	238,68	212,16	231,66	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	375,82	552,49	699,45	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	11,98	10,65	10,14	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	387,80	563,14	709,59	

Figura A.10 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos					
Gabinetes (secretarias) e Bar		Sistema Save It Easy			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	Master TL5 14 W	Master TL5 28 W	Master TL5 35 W	
2 Modelo do balastro	-	Save It Easy	Save It Easy	Save It Easy	
3 Tecnologia do balastro	-	Electrónico	Electrónico	Electrónico	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1175	2450	3100	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	24000	24000	24000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	54	48	39	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	54	48	39	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	16,5	30	39	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,89	1,44	1,52	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1912	1912	1912	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1703,59	2753,28	2908,15	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	12,55	12,55	12,55	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,58	2,58	2,58	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	12,95	12,95	12,95	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	838,62	745,44	605,67	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	238,50	385,46	407,14	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	11,10	9,87	8,02	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	249,60	395,33	415,16	

Figura A.11 – Planificação dos custos referentes ao sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos				
Gabinetes (secretarias) e Bar		Sistema LEDtube		
Características do sistema de iluminação e ambiente				
1 Modelo de lâmpada	-	LEDtube 11 W	LEDtube 22 W	LEDtube 34 W
2 Modelo do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário
3 Tecnologia do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.050	2.100	3.000
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150
6 Vida útil da lâmpada	horas	50.000	50.000	50.000
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	54	48	39
8 Quantidade total de acessórios	unidades	0	0	0
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	11	22	34
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,59	1,06	1,33
Características de uso				
11 Tempo de uso anual	horas/ano	1912	1912	1912
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	1135,73	2019,07	2535,31
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	26,15	26,15	26,15
Custos dos equipamentos envolvidos				
14 Preço de cada lâmpada	€	24,85	36,40	59,50
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	0,00	0,00	0,00
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€		0,14	
Custos dos investimentos				
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	1341,9	1747,2	2320,5
Custos operacionais				
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	159,00	282,67	354,94
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	51,31	66,81	88,74
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	210,32	349,48	443,68

Figura A.12 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube aplicado aos gabinetes de secretaria e bar. Adaptado de (Osram).

Para os espaços restantes espaços, apresenta-se a planificação de custos nas figuras seguintes.

Planificação de Custos					
Restantes espaços (áreas técnicas, etc)		Sistema Atual			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	OSRAM TL8 18 W	OSRAM TL8 36 W	OSRAM TL8 58 W	
2 Modelo do balastro	-	Van Cliff	Van Cliff	Van Cliff	
3 Tecnologia do balastro	-	Eletromagnético	Eletromagnético	Eletromagnético	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.300	3.250	5.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	20.000	20.000	20.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	7	15	99	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	7	15	99	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	26	43	67	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,18	0,65	6,63	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	239	239	239	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	43,498	154,16	1585,29	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	83,68	83,68	83,68	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,32	2,32	2,72	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	2,10	2,10	3,22	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	30,94	66,3	588,06	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	6,09	21,58	221,94	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	0,19	0,42	3,22	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	6,28	22,00	225,16	

Figura A.13 – Planificação dos custos do sistema de iluminação atual aplicado aos restantes espaços.

Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos					
Restantes espaços (áreas técnicas, etc)		Sistema Save It Easy			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	Master TL5 14 W	Master TL5 28 W	Master TL5 35 W	
2 Modelo do balastro	-	Save It Easy	Save It Easy	Save It Easy	
3 Tecnologia do balastro	-	Electrónico	Electrónico	Electrónico	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1175	2450	3100	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	24000	24000	24000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	7	15	99	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	7	15	99	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	16,5	30	39	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,12	0,45	3,86	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	239	239	239	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	27,60	107,55	922,78	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	100,42	100,42	100,42	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	2,58	2,58	2,58	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	12,95	12,95	12,95	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€	0,14			
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	108,71	232,95	1537,47	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	3,86	15,06	129,19	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	0,18	0,39	2,54	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	4,04	15,44	131,73	

Figura A.14 – Planificação dos custos do sistema de iluminação Save It Easy aplicado aos restantes espaços. Adaptado de (Osram).

Planificação de Custos					
Restantes espaços (áreas técnicas, etc)		Sistema LEDtube			
Características do sistema de iluminação e ambiente					
1 Modelo de lâmpada	-	LEDtube 11 W	LEDtube 22 W	LEDtube 34 W	
2 Modelo do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário	
3 Tecnologia do balastro	-	Não é necessário	Não é necessário	Não é necessário	
4 Fluxo luminoso obtido por lâmpada		1.050	2.100	3.000	
5 Modelo da luminária	-	F0_60	F0_120	F0_150	
6 Vida útil da lâmpada	horas	50.000	50.000	50.000	
7 Quantidade total de lâmpadas	unidades	7	15	99	
8 Quantidade total de acessórios	unidades	0	0	0	
9 Potência (lâmpada + acessório)	watts	11	22	34	
10 Potência total instalada = ((7) x (9))/1000	kW	0,08	0,33	3,37	
Características de uso					
11 Tempo de uso anual	horas/ano	239	239	239	
12 Consumo anual de kWh = (10) x (11)	kWh/ano	18,40	78,87	804,47	
13 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = (6) / (11)	anos	209,21	209,21	209,21	
Custos dos equipamentos envolvidos					
14 Preço de cada lâmpada	€	24,85	36,40	59,50	
15 Preço de cada acessório por lâmpada	€	0,00	0,00	0,00	
16 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	€		0,14		
Custos dos investimentos					
17 Custos de equipamento para instalação = (7)x(14)+(8)x(15)	€	173,95	546	5890,5	
Custos operacionais					
18 Custo do consumo anual de energia = (12)x(16)	€	2,58	11,04	112,63	
19 Custo médio anual de reposição das lâmpadas = ((7)x(11)x(14)) / (6)	€	0,83	2,61	28,16	
20 Somatório dos custos operacionais = (18)+(19)	€	3,41	13,65	140,78	

Figura A.15 – Planificação dos custos do sistema de iluminação LEDtube aplicado aos restantes espaços. Adaptado de (Osram).

A Figura A.16, apresenta graficamente os valores globais de custos de aquisição [€], custos operacionais anual [€], poupança anual em custos operacionais [€], consumo anual de energia [kWh], poupança anual de energia [kWh], custo energético anual [€] e poupança anual em custo energético, para os sistemas de iluminação em estudo, obtidos através das planificações dos custos apresentadas anteriormente.

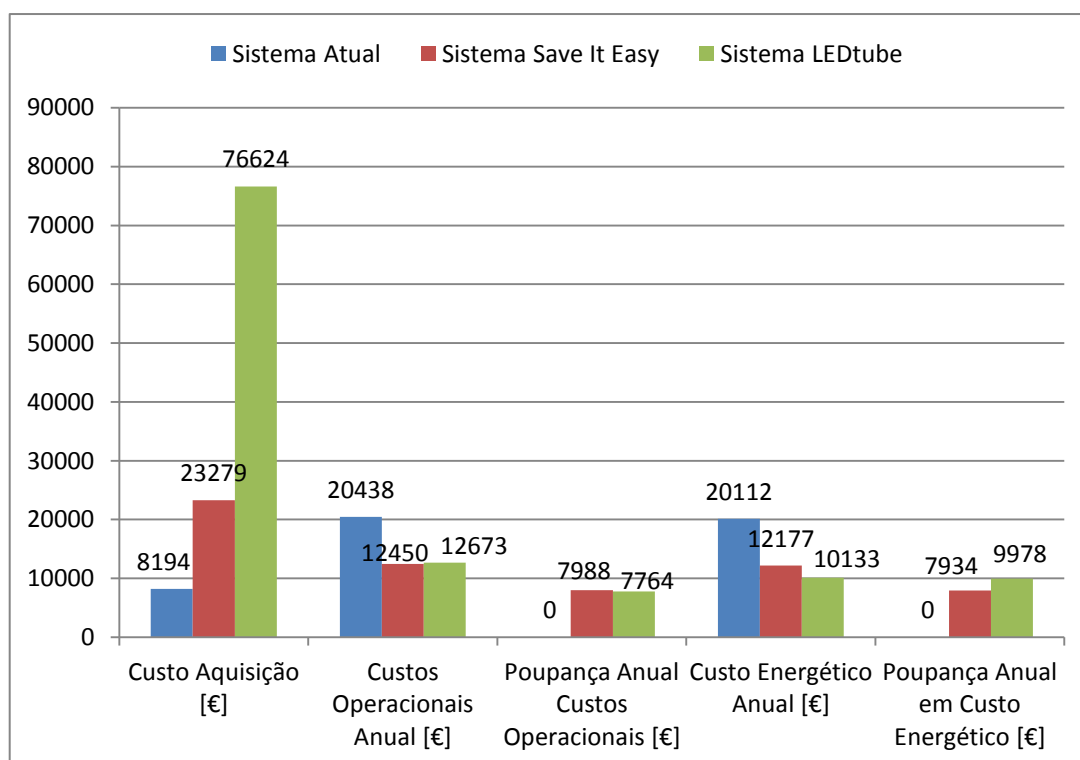


Figura A.16 – Valores globais dos parâmetros de cálculo tidos em conta para o estudo dos sistemas de iluminação.

A Figura A.17, apresenta graficamente os valores relativos ao consumo anual de energia [kWh] e poupança anual de energia [kW], para os sistemas de iluminação em estudo, obtidos através das planificações dos custos apresentadas anteriormente.

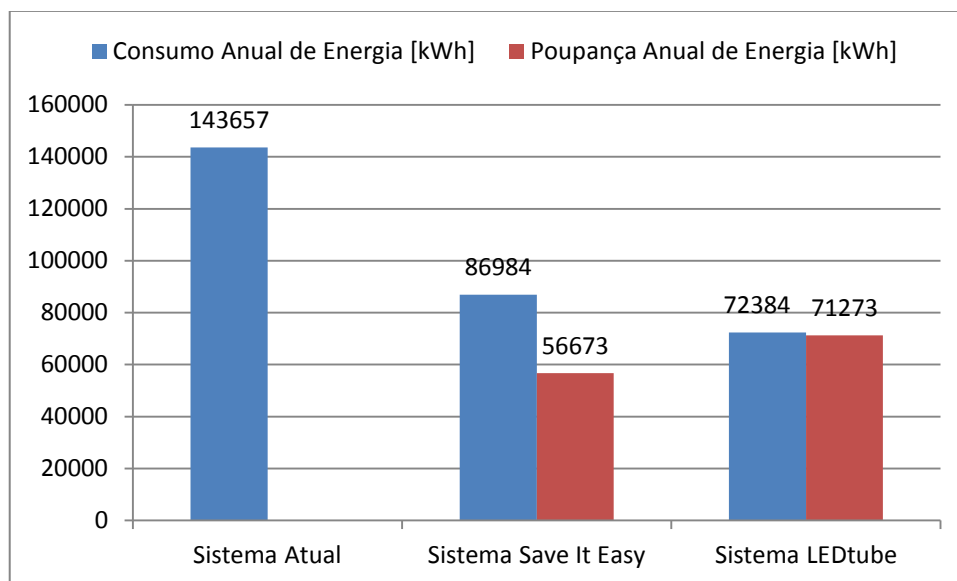


Figura A.17 – Valores globais dos parâmetros de consumo energético tidos em conta para o estudo dos sistemas de iluminação.