

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2012/2013

ILUMINAÇÃO LED – AVALIAÇÃO ECONÓMICA E AMBIENTAL

NUNO FILIPE VASCONCELOS DA SILVA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Tese de mestrado realizada em

GENE ENERGY SYSTEMS, LDA



Presidente do Júri: Belmira de Almeida Ferreira Neto

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Fernando Gomes Martins

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro

(Engenheiro Industrial responsável pela Gestão de Projetos da GENE Energy Systems, Lda)

julho de 2013

Agradecimentos

Para a realização do presente trabalho não poderia deixar de agradecer a todas as pessoas que me auxiliaram de certa forma e que sem elas, não seria possível a sua concretização. Assim aproveito para agradecer em especial:

- Ao engenheiro Hélio Castro, pela boa disposição e conhecimento partilhado.
 - Ao engenheiro Fernando Martins, pela disponibilidade e apoio demonstrados.
 - Aos meus pais por todos os conselhos, apoio e encorajamento.
 - À engenheira Sofia Ribeiro por toda a amizade e paciência.
 - À minha família por todo o apoio.
 - A todos os meus amigos que me acompanharam durante todo o curso.
 - A todo o pessoal do Grupo Aelus pelo ótimo ambiente de trabalho e companheirismo.
-

Resumo

O presente trabalho teve como principal objetivo a avaliação económica e ambiental, através da contabilização dos consumos de eletricidade e emissões de CO₂ provenientes da utilização de equipamentos de iluminação *LED* e iluminação Tradicional (lâmpadas de incandescência e de descarga) em dois cenários distintos - Escritório e Indústria. O cenário Escritório é referente ao escritório da empresa *GENE Energy Systems*, localizada no edifício Burgo no Porto. O cenário indústria refere-se a uma indústria fictícia transformadora de metais denominada *TubeTech*.

Para isso obtiveram-se os dados de potência consumida por cada luminária de cada tecnologia. Nos dois cenários foi considerado um fornecedor para cada tecnologia. No cenário Escritório consideraram-se os fornecedores da marca *Philips* e para o *LED*, a marca *Brilumen*. No cenário Indústria, e para ambas as tecnologias estudadas, consideram-se as marcas *Philips* (no Tradicional e *LED*) e a marca *Brilumen* (*LED*). Relativamente à previsão das emissões, utilizou-se como principal metodologia o *GHG Protocol*, que auxilia as empresas a contabilizar os gases com efeito de estufa (GEE) emitidos pelo consumo, expresso em toneladas de CO₂ equivalente. Comparam-se os fatores de emissão referentes aos períodos 2001 - 2006, como se encontra no Despacho n.º 17313/2008 e 2007 - 2009, disponibilizado na Agência Portuguesa do Ambiente e relacionados com os planos de ação aprovados em 2008. Para o presente trabalho considerou-se o consumo de energia elétrica final na fase de uso da iluminação. Recriou-se o cenário em três dimensões através de uma aplicação informática de forma a verificar se a iluminação considerada se encontrava em conformidade com os valores de iluminância apresentados na norma *EN 12464 - 1*, para iluminação de interiores.

Através do estudo realizado foi possível comprovar que o *LED* atinge reduções de consumo até 80% para Escritório e 60% para Indústria. O investimento realizado é elevado nos dois cenários, mas como o seu consumo é reduzido alcança-se um retorno de investimento em aproximadamente 4 anos no cenário Escritório e 1 ano para Indústria. A percentagem de consumo de eletricidade referente à iluminação no Escritório é de 66% para a iluminação Tradicional e 16% para o *LED*, enquanto na Indústria consegue alcançar 3% face aos 7% da iluminação Tradicional. A quantidade de dióxido de carbono equivalente emitido por ano de consumo no escritório foi de 1,24 tCO₂eq para a iluminação Tradicional e 0,29 tCO₂eq para a iluminação *LED*. No cenário Indústria obtiveram-se emissões de 55,13 tCO₂eq para Tradicional, 20,85 tCO₂eq para *LED Philips* e 25,02 tCO₂eq para *LED Brilumen*. Verificou-se também que houve uma redução significativa nos valores de fatores de emissão ao longo dos anos com a implementação de planos de redução de GEE.

Palavras-chave:

Avaliação, Iluminação, *LED*, Gases com Efeito de Estufa (GEE), Investimento

Abstract

This work aimed to evaluate economically and environmentally the counting of the electricity consumptions and CO₂ emissions from the usage of LED illumination equipments and traditional (incandescent lamps and discharge) on two distinct scenarios - Office and Industry. The Office scenario corresponds to the office of the company *GENE Energy Systems*, located on the Burgo building at Oporto. The Industry scenario refers to a fictional metal transforming industry designated *TuboTech*.

For the two scenarios, power consumption data was obtained for each luminaire of the different technologies. On the office scenario, *Philips* and *Brilumen* suppliers were considered. On the industry scenario, traditional and LED technologies were considered two brands, one from *Philips* and the other from *Brilumen*. Concerning the prediction of emissions, the methodology applied was based on the GHG Protocol, which helps the companies counting the greenhouse gas (GHG) emissions, expressed in tonnes of CO₂ equivalent. The time period used corresponds to the years between 2001 and 2006, as it is referred in the *Despacho n.º 17313/2008*, and between 2007 and 2009, available on the Portuguese Environmental Agency and related with the action plans approved in 2008. For this study, it was consider the final energy consumption on the illumination use stage. The scenarios were recreated in three dimensions through a software application to verify if the illumination was designed adequately by the standard *EN 12464 - 1*, for indoor illumination.

Through this study, it was possible to conclude that the LED reaches consumption reductions by 80% for Office scenario and 60% for Industry scenario. The investment made is high on the two scenarios, but has its consumption is reduced and it reaches payback times in approximately four years on the Office scenario and one year for the industry, respectively. The percentage of electricity consumption referent to the illumination on the Office is 66% for traditional lamps and 16% for LED lamps, in industry it can reach 3% versus 7% of usage of traditional lamps. The equivalent carbon dioxide quantity emitted by an year of consumption in the Office was 1,24 tCO₂eq for traditional and 0,29 tCO₂eq for LED. In industry scenario it was obtained the emissions of 55,13 tCO₂eq for traditional, 20,85 tCO₂eq for *Philips* LED and 25,02 tCO₂eq for *Brilumen* LED. It was verified too, that a significant reduction on the values of the emission factors through the years with the implementation of the reduction plans of GHG.

Key - Words:

Evaluation, Illumination, LED, Greenhouse Gas (GHG), Investment

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.1.1	LUZ E CONCEITOS DE LUMINOTECNIA	1
1.1.2	ILUMINAÇÃO EM PORTUGAL.....	6
1.2	OBJETIVOS.....	8
1.3	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	9
1.4	LED: O QUE É?	10
1.5	TIPOS DE SOLID-STATE LIGHTING	11
1.5.1	DUAL IN LINE PACKAGE LED.....	13
1.5.2	SURFACE MOUNT DEVICE LED	14
1.5.3	CHIP ON BOARD LED	14
1.5.4	ORGANIC LED	15
1.6	ESTADO DE ARTE	17
1.6.1	A DESCOBERTA.....	18
1.6.2	A COMERCIALIZAÇÃO	19
1.6.3	O DESENVOLVIMENTO	20
1.6.4	APLICAÇÕES.....	21
1.7	APRESENTAÇÃO DA GENE ENERGY SYSTEMS	23
2	METODOLOGIA	25
2.1	PEGADA DE CARBONO.....	26
2.2	GREENHOUSE GAS PROTOCOL INITIATIVE.....	28
2.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	30
2.4	CARACTERIZAÇÃO DE CENÁRIOS.....	32
2.4.1	CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO <i>ESCRITÓRIO GENE ENERGY SYSTEMS</i>	32
2.4.2	CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO <i>INDÚSTRIA</i>	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.1	ECONOMIA GERADA - <i>ESCRITÓRIO</i>	39

3.1.1	ILUMINAÇÃO TRADICIONAL.....	39
3.1.2	ILUMINAÇÃO <i>LED BRILUMEN</i>	41
3.1.3	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	44
3.1.4	RESULTADOS <i>DIALUX</i>	48
3.2	ECONOMIA GERADA <i>INDÚSTRIA</i>	52
3.2.1	ILUMINAÇÃO TRADICIONAL.....	52
3.2.2	ILUMINAÇÃO <i>LED PHILIPS</i>	54
3.2.3	ILUMINAÇÃO <i>LED BRILUMEN</i>	56
3.2.4	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	59
3.2.5	RESULTADOS <i>DIALUX</i>	62
4	CONCLUSÕES	67
5	AVALIAÇÃO DO TRABALHO REALIZADO	69
5.1	OBJETIVOS REALIZADOS.....	69
5.2	OUTROS TRABALHOS REALIZADOS	69
5.3	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	69
5.3.1	RECOMENDAÇÕES.....	70
5.3.2	TRABALHOS FUTUROS	71
5.3.3	FORMAS DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	71
5.3.4	INSTALAÇÃO.....	72
6	REFERÊNCIAS.....	73
	ANEXO A - CÁLCULO DAS EMISSÕES RELATIVO AO CONSUMO DE ELETRICIDADE	78
	ANEXO B - RELATÓRIO DE CÁLCULO EMITIDO PELA APLICAÇÃO INFORMÁTICA <i>DIALUX</i>	79

Índice de Figuras

FIGURA 1-1 - CLASSIFICAÇÃO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS EXISTENTES NA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	4
FIGURA 1-2 - MATERIAL SEMICONDUTOR UTILIZADO PARA A COR EMITIDA EM LED	11
FIGURA 1-3 - DIFERENTES FORMAS DE ENCAPSULAMENTO. COMPOSIÇÃO LED (ESQ.)	13
FIGURA 1-4 - EXEMPLO DE SMD LED	14
FIGURA 1-5 - EXEMPLO DE COB LED	14
FIGURA 1-6 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO PHOLED (KIM, 2009)	15
FIGURA 1-7 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO OLED (PHILIPS, 2012B)	17
FIGURA 1-8 - “MONSANTO MV1” CONSIDERADO O PRIMEIRO LED DE GAASP A SER PRODUZIDO EM MASSA	20
FIGURA 1-9 - DISPLAY LED “MONSANTO MAN-1A”	20
FIGURA 1-10 - PAINÉIS DE PONTOS QUÂNTICOS E APLICAÇÃO EM LÂMPADA LED	23
FIGURA 1-11 - FUNCIONAMENTO DO LI-FI	23
FIGURA 2-1 - REPRESENTAÇÃO DA EVOLUÇÃO DOS FATORES DE EMISSÃO	30
FIGURA 2-2 - EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO 3D DO ESCRITÓRIO NO DIALUX EVO	32
FIGURA 2-3 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA LUMINÁRIA MGB	34
FIGURA 2-4 - LUMINÁRIA MGB CRIADA EM SOLIDWORKS®	35
FIGURA 2-5 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA LUMINÁRIA TURBO FROST NA SALA DE CONFERÊNCIAS	35
FIGURA 2-6 - LUMINÁRIAS LED: LED PHILIPS BY460P 1XLED100S/740 (À ESQ.) E LED PHILIPS BBS415 W15L120 1XLED48/830 (À DIR.)	37
FIGURA 2-7 - LUMINÁRIA LED BRILUMEN AQUILA PARA ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL (À ESQ.) E LÂMPADA T5 C/ ARMADURA 156 LED 16W 1150 4200K (À DIR.)	37
FIGURA 3-1 - INVESTIMENTO DO EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO NO ESCRITÓRIO	44
FIGURA 3-2 - CONSUMO ANUAL DE CADA EQUIPAMENTO	45
FIGURA 3-3 - INTERSECÇÃO DO INVESTIMENTO DE ILUMINAÇÃO TRADICIONAL COM LED	46
FIGURA 3-4 - PERCENTAGEM DE ILUMINAÇÃO FACE À TOTALIDADE DA ENERGIA CONSUMIDA	47
FIGURA 3-5 - EMISSÕES DE CO ₂ EQ PARA CADA EQUIPAMENTO	48
FIGURA 3-6 - PLANTA DO ESCRITÓRIO 13.1 DO EDIFÍCIO BURGO	48
FIGURA 3-7 - ENTRADA DO ESCRITÓRIO	49

FIGURA 3-8 - PORMENOR DA ILUMINAÇÃO DA ZONA DE ESCRITÓRIO.	50
FIGURA 3-9 - PORMENOR DA ZONA DE CONFERÊNCIAS, ZONA DE ESCRITÓRIO E INTERIOR DA ZONA DE CONFERÊNCIAS.	50
FIGURA 3-10 - PORMENOR SECRETÁRIA LOCALIZADA NO ESCRITÓRIO.....	51
FIGURA 3-11 - PORMENOR NA ZONA DE ESCRITÓRIO (À ESQ.) E A ENTRADA DOS QUARTOS DE BANHO (À DIR.)..	51
FIGURA 3-12 - PORMENOR COPA.	52
FIGURA 3-13 - INVESTIMENTO EM CADA EQUIPAMENTO.	59
FIGURA 3-14 - CONSUMO ANUAL DE CADA EQUIPAMENTO.....	59
FIGURA 3-15 - GRÁFICO REPRESENTATIVO DA INTERSECÇÃO DO INVESTIMENTO DE ILUMINAÇÃO TRADICIONAL COM LED.	60
FIGURA 3-16 - PERCENTAGEM DE ILUMINAÇÃO FACE À TOTALIDADE DA ENERGIA CONSUMIDA.	61
FIGURA 3-17 - EMISSÕES DE CO ₂ PARA CADA EQUIPAMENTO COMPARADO.....	62
FIGURA 3-18 - PLANTA DO EDIFÍCIO DE ADMINISTRAÇÃO DA TUBOTECH (À ESQ.) E A PLANTA DE TODA A FÁBRICA (À DIR.).	63
FIGURA 3-19 - PORMENOR DA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL TUBOTECH (À ESQ.) E ENTRADA DA TUBOTECH (À DIR.).	63
FIGURA 3-20 - CORREDOR DO EDIFÍCIO DA ADMINISTRAÇÃO.....	64
FIGURA 3-21 - ESCRITÓRIO DO EDIFÍCIO DE ADMINISTRAÇÃO.....	65
FIGURA 3-22 - RECEÇÃO DO EDIFÍCIO DE ADMINISTRAÇÃO.	65
FIGURA 3-23 - INTERIOR DO QUARTO DE BANHO.	66
FIGURA 3-24 - INTERIOR DA FÁBRICA.	66

Índice de Tabelas

TABELA 1-1 - APARECIMENTO DAS DIFERENTES FONTES DE LUZ E A NECESSIDADE AO LONGO DOS ANOS	2
TABELA 1-2 - VALORES DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO ANTES DA SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES POR EQUIPAMENTOS EFICIENTES	7
TABELA 1-3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO LED	12
TABELA 1-4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO OLED	16
TABELA 1-5 - SELEÇÃO DE ESTUDOS DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LED.	22
TABELA 2-1 - ALGUMAS DEFINIÇÕES DO CONCEITO DE PEGADA DE CARBONO.....	27
TABELA 2-2 - DESIGNAÇÃO DAS ÁREAS E RESPECTIVO NÚMERO DE LÂMPADAS, LUMINÁRIAS E A POTÊNCIA TOTAL DE CADA ÁREA NO CENÁRIO ESCRITÓRIO.	33
TABELA 2-3 - LUMINÁRIAS EXISTENTES NO ESCRITÓRIO.....	34
TABELA 2-4 - DESIGNAÇÃO DAS ÁREAS E RESPECTIVO NÚMERO DE LÂMPADAS, LUMINÁRIAS E A POTÊNCIA TOTAL DE CADA ÁREA NO CENÁRIO INDÚSTRIA.	36
TABELA 2-5 - LUMINÁRIAS EXISTENTES NA TUBOTECH COM FLUORESCENTE.	36
TABELA 3-1 - INVESTIMENTO INICIAL DAS LUMINÁRIAS COM ILUMINAÇÃO TRADICIONAL.	39
TABELA 3-2 - CONSUMO INSTANTÂNEO DAS LÂMPADAS E BALASTROS DAS LUMINÁRIAS.....	40
TABELA 3-3 - CONSUMO DE ENERGIA NO VERÃO - 7 MESES.	40
TABELA 3-4 - CONSUMO DE ENERGIA NO INVERNO - 5 MESES.	41
TABELA 3-5 - INVESTIMENTO INICIAL DAS LUMINÁRIAS COM ILUMINAÇÃO LED BRILUMEN.	42
TABELA 3-6 - CONSUMO INSTANTÂNEO DAS LÂMPADAS DAS LUMINÁRIAS.	42
TABELA 3-7 - CONSUMO DE ENERGIA NO VERÃO - 7 MESES.	43
TABELA 3-8 - CONSUMO DE ENERGIA NO INVERNO - 5 MESES.	43
TABELA 3-9 - CONSUMOS POR MÊS A PARTIR DE DEZEMBRO, INÍCIO DA UTILIZAÇÃO DO ESCRITÓRIO.	46
TABELA 3-10 - INVESTIMENTO INICIAL DAS LUMINÁRIAS COM ILUMINAÇÃO TRADICIONAL.....	53
TABELA 3-11 - CONSUMO INSTANTÂNEO DAS LÂMPADAS E BALASTROS DAS LUMINÁRIAS.	53
TABELA 3-12 - CONSUMO DE ENERGIA NO VERÃO - 7 MESES.....	54
TABELA 3-13 - CONSUMO DE ENERGIA NO INVERNO - 5 MESES.	54
TABELA 3-14 - INVESTIMENTO INICIAL DAS LUMINÁRIAS COM ILUMINAÇÃO TRADICIONAL.....	55

TABELA 3-15 - CONSUMO INSTANTÂNEO DAS LUMINÁRIAS.....	55
TABELA 3-16 - CONSUMO DE ENERGIA NO VERÃO - 7 MESES.	56
TABELA 3-17 - CONSUMO DE ENERGIA NO INVERNO - 5 MESES.	56
TABELA 3-18 - INVESTIMENTO INICIAL DAS LUMINÁRIAS PHILIPS COM LÂMPADAS BRILUMEN.	57
TABELA 3-19 - CONSUMO INSTANTÂNEO DAS LUMINÁRIAS.....	57
TABELA 3-20 - CONSUMO DE ENERGIA NO VERÃO - 7 MESES.	58
TABELA 3-21 - CONSUMO DE ENERGIA NO INVERNO - 5 MESES.	58
TABELA 3-22 - CONSUMOS DA TUBOTECH DURANTE UM ANO.	61

Abreviaturas

CFL	<i>Compact Fluorescent Lamp</i>
COB	<i>Chip On Board</i>
DIP	<i>Dual In line Package</i>
GE	<i>General Electric Company</i>
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IPL	<i>Intense Pulsed Light</i>
IRC	Índice de Restituição de Cores
LED	<i>Light-Emitting Diode</i> (diodo emissor de luz)
OLED	<i>Organic Light-Emitting Diode</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PHOLED	<i>Phosphorescent OLED</i>
PLED	<i>Polymer Light-Emitting Diodes</i>
PNAEE	Plano Nacional de Eficiência Energética
QDLED	<i>Quantum Dot LED</i>
SMD	<i>Surface Mount Device</i>
SSL	<i>Solid-State Lighting</i>
TI	<i>Texas Instruments</i>
UE	União Europeia

1 Introdução

O presente trabalho é realizado no âmbito das tecnologias de eficiência energética associado às tecnologias de iluminação artificial em ambientes internos recorrendo à comparação de diferentes tecnologias em dois casos de estudo distintos. Avalia-se também o impacto em termos de emissões com a utilização das diversas tecnologias de iluminação.

1.1 Enquadramento

1.1.1 Luz e Conceitos de Luminotecnia

A manipulação da luz surge aquando da descoberta do fogo, no paleolítico. Até então o sol era a única fonte de luz natural. O fogo transformou-se numa ferramenta essencial à sobrevivência da espécie humana permitindo ao ser humano ver na escuridão. Era usado na alimentação, na procura de alimentos, e também na defesa contra possíveis inimigos. A sua utilização foi aperfeiçoada e controlada ao longo do processo evolutivo.

Verificar-se-á na Tabela 1-1 que até à invenção da lâmpada em 1878 por Thomas Edison, não havia outra fonte de luz artificial, se não pela utilização de lampiões a óleo, velas de cera ou cetina (substância oleosa produzida pelos cachalotes), ou por lampiões a petróleo. Este processo de queima de materiais petrolíferos tinha uma iluminação pouco eficiente, embora o petróleo fosse mais barato que a cetina.

Com a criação de eletricidade e o seu domínio, foi ainda criada uma fonte de luz, onde se fez passar eletricidade pela aproximação de dois bastões de carbono, formando o arco voltaico. Este arco voltaico era muito instável e foi precursora das lâmpadas de descarga.

Desde a descoberta de Edison que foi possível melhorar a intensidade de luz, o tempo de vida e a eficiência de tecnologias futuras.

Tabela 1-1 - Aparecimento das diferentes fontes de luz e a necessidade ao longo dos anos (Marteleto, 2011).

Período/ano	Fonte de luz	Desafio
Paleolítico	Fogo	Como criar?
5 000 000 A.C.	Fogueira	Como controlar?
2 000 000 A.C.	Tocha	Como transportar?
20 000 A.C.	Lâmpada a óleo mineral	Como tornar portátil?
200 A.C.	Vela	Produção em quantidade?
1780	Vela de cetina	Como tornar popular?
1784	Lampião de Argand	Como adotar na via pública?
1803	Lampião a gás de carvão	Aumentar a intensidade?
1830	Vela parafínica	Fim - Aumentar a intensidade
1847	Lampião de óleo parafínico	Como aumentar a luminosidade?
1878	Lâmpada incandescente de carvão	Como tornar mais acessível?
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio	Como aumentar o filamento?
1908	Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão	Diminuir radiação UV?
1927	Eletroluminescência	Em que pode ser aplicado?
1932	Lâmpada fluorescente	Como melhorar o IRC?
1955	Lâmpada a vapor de sódio alta pressão	Como sintetizar o alumínio?
1962	<i>LED</i> vermelho	Como aumentar a intensidade?
1965	Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão	Como melhorar o IRC?
1973	Lâmpada fluorescente de pós emissivos	Como melhorar a eficácia?
1980	Lâmpada fluorescente compacta	Como aumentar o desempenho?
1987	<i>OLED</i>	Como criar várias cores?
1991	Lâmpada de indução	Como tornar competitiva?
1995	Lâmpadas <i>LED</i>	Como tornar mais económico?
1998	<i>PHOLED</i>	Como aumentar o fluxo luminoso?

Verifica-se assim que as diferentes fontes de luz comercializadas na iluminação artificial são agrupadas em função da tecnologia aplicada na geração de luz (Figura 1-1), de acordo com:

Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes utilizam o fenómeno de incandescência para gerar luz, através da passagem de corrente elétrica num filamento dentro da lâmpada que emitirá luz visível.

Lâmpadas de Descarga

As lâmpadas de descarga foram criadas com base na condução de corrente elétrica em meio gasoso. O princípio de funcionamento é mais complexo do que uma lâmpada incandescente, pois além de conter um gás inerte no interior da lâmpada que é ionizado pela corrente fornecida pelos eletrodos, também o vidro é coberto com um pó de composto de fósforo que irá ser excitado com a radiação ultravioleta proveniente da ionização dos gases, e desta forma irá emitir luz visível (existem vários tipos de pó consoante a cor da luz desejada). Este tipo de lâmpada necessita de dois componentes para funcionar corretamente: o arrancador e o balastro. Como o gás contido tem uma elevada resistência no interior da lâmpada quando esta não está ligada, este necessita de muita energia para que seja ionizado. Desta forma o arrancador armazena energia e liberta-a toda de uma só vez, fornecendo energia suficiente para que a lâmpada inicie o seu correto funcionamento. O balastro reduz a energia fornecida à lâmpada para que esta não sobreaqueça e assim funcione devidamente (M. R. Ribeiro, 2010).

Lâmpadas Eletroluminescentes

As lâmpadas eletroluminescentes ou *Solid State Lighting* (SSL) utilizam o fenómeno da eletroluminescência para emitir luz. A terminologia *SSL* faz referência ao facto de que a luz num *LED* é emitida por um objeto sólido, em lugar de um gás, como é o caso dos tubos fluorescentes. Assim, para que funcione é necessário que haja uma corrente elétrica ou um campo elétrico forte e materiais que à tensão aplicada emitam luz.

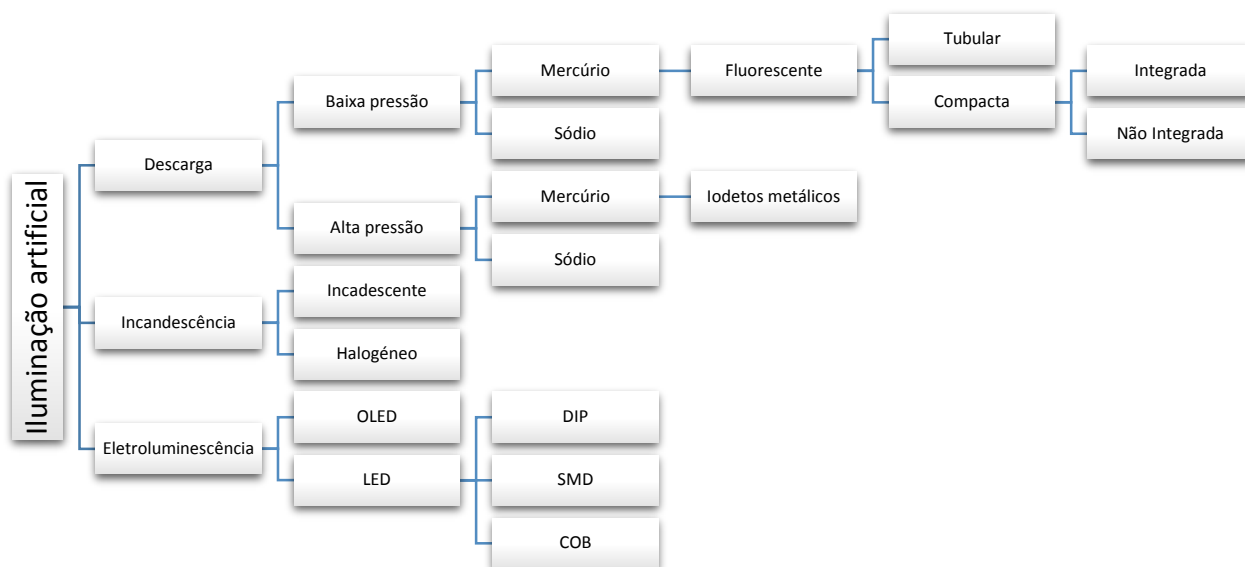


Figura 1-1 - Classificação das diferentes tecnologias existentes na iluminação artificial (T. Ribeiro, 2010).

Uma das formas de saber se é rentável a aquisição de determinado equipamento, é o tempo de vida desse equipamento. A vida útil de uma lâmpada indica o tempo de funcionamento no qual o fluxo luminoso tenha diminuído para um valor crítico, tal que a fonte de luz não é mais rentável e seja recomendável a sua substituição, tendo em conta o custo da lâmpada, o preço da energia consumida e o custo de manutenção. A vida útil de um *LED* consiste no número de horas em operação até emitir 70% do seu fluxo inicial. O conceito de vida útil difere de vida média, que se define como o tempo decorrido até que falhem 50% das lâmpadas de um lote representativo a trabalhar em condições específicas (Silva, 2011).

No dimensionamento da iluminação num determinado espaço é importante conhecer algumas noções básicas sobre as características técnicas das lâmpadas e luminárias. A seguir serão apresentadas definições de algumas definições luminotécnicas:

Fluxo luminoso – É a componente de qualquer fluxo radiante (radiação visível e térmica expressas em W) que gera uma resposta visual. O fluxo luminoso é expresso em lúmen (lm).

Ângulo sólido – É definido como o quociente entre a área abraçada por uma esfera com centro no vértice do ângulo e o quadrado do raio dessa esfera e a unidade é o esterradiano (sr).

Intensidade luminosa – A intensidade luminosa é a concentração de luz emitida por segundo numa determinada direção e é expresso em candela (cd). É definida pelo fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz numa dada direção por unidade de ângulo sólido.

Luminância – É a intensidade luminosa emitida, transmitida ou refletida por unidade de superfície e é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2).

Iluminância (E) – É a medida da quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área. A iluminância é expressa em lm/m^2 ou lux (lx).

Rendimento luminoso – É a capacidade de uma lâmpada emitir luz, ou seja, uma lâmpada ótima seria a que convertesse toda a potência em luz (lm). O quociente entre o fluxo luminoso que é emitido e a potência consumida pela lâmpada traduz-se no rendimento luminoso expresso em lúmen emitido por potência consumida (lm/W).

Temperatura de cor – É uma característica da luz que indica a cor aparente de luz emitida expressa em graus Kelvin. Quanto menor a temperatura, mais vermelha é a cor que emite (e.g. 2 300 K). Quanto maior, mais azul é a cor (e.g. 6 500 K).

Índice de Restituição de Cores (IRC) – Indica a capacidade de uma lâmpada restituir corretamente as cores de um objeto ou superfície. O IRC é expresso numa escala de 0 a 100 em que o valor maior corresponde à máxima restituição possível (e.g. luz natural).

Luminária – Permite controlar, distribuir e filtrar o fluxo luminoso gerado pelas lâmpadas. Podem utilizar-se defletores (para desviar o fluxo noutras direções), difusores (para reduzir a quantidade de luz para diminuir o encadeamento). A relação da luz emitida pela luminária com a luz emitida pela lâmpada resulta na fração de emissão de luz (FEL) da luminária. É uma forma de classificar a luminária quanto à luz aproveitada.

Uniformidade (U) – É medida pela relação entre a iluminância mínima e a iluminância média obtidas na área iluminada. Uma ótima uniformidade na iluminação evita sombras acentuadas, assegurando o conforto e a segurança na prática da atividade exercida.

Com a necessidade de haver uma uniformização na União Europeia, foi criada a norma *EN 12464-1*. Esta é uma norma para aplicações de iluminação em espaços interiores, que define as obrigações mínimas que a iluminação de um local de trabalho e do ambiente com ele diretamente relacionado tem de cumprir. Elaborada pela Comissão Técnica da Comissão Europeia para a Normalização (CEN), esta norma é uma referência na luminotecnica (ETAP, 2012).

1.1.2 Iluminação em Portugal

O mercado da iluminação sofreu nos últimos anos uma importância relevante quando se aborda o tema da eficiência energética. A iluminação está presente no nosso quotidiano sendo a substituição de equipamentos mais antigos por tecnologias mais eficientes sob ponto de vista energético uma das formas mais simples de diminuir o seu consumo sem alterar hábitos de consumo. Esta necessidade acontece quer pelo aumento da população quer pela má utilização da energia final, obrigando ao consumo excessivo da energia primária. Esta crescente preocupação com a otimização do consumo de energia nas diferentes áreas do quotidiano do ser humano obriga à criação de incentivos de substituição de equipamento (através de participações do Estado, reduzindo no preço final do equipamento eficiente e também a aplicação de taxas nos produtos considerados ineficientes, elevando o seu preço final) e à criação de programas de sensibilização de hábitos de utilização desses mesmos equipamentos (e.g. através da conceção de manuais de boas práticas em cada setor).

Tendo em conta esta preocupação, em 2006 o Parlamento Europeu criou a Diretiva n.º 2006/32/CE, que estabelece como principais objetivos em cada Estado Membro (“Decreto-Lei n.º 319/2009”, 2009):

- Ter um objetivo global Nacional (em cada Estado membro) de economias de energia de 9% para 2016, tendo em conta a média dos consumos de energia final registados entre 2001 e 2005 (18 347 tep¹).

- Criar e promover mecanismos e incentivos, de forma a obter uma melhor eficiência na utilização final da energia, através da introdução de equipamentos e medidas de racionalização do consumo de energia que devem ser adotadas pelos consumidores.

Embora na legislação nacional portuguesa a aprovação da Estratégia Nacional para a Energia através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 169/2005 já se encontrassem grande parte das preocupações referidas na Directiva n.º 2006/32/CE, houve a necessidade da criação de um Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) — Portugal Eficiência 2015,

¹ tep - Tonelada equivalente de petróleo (1 tep = 11 628 kWh)

aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio. O PNAEE 2015 teve como objetivo o de alcançar, até 2015, uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10% do consumo final de energia, face aos 9% até 2016, previstos na Diretiva n.º 2006/32/CE (“Decreto-Lei n.º 319/2009”, 2009).

Desta forma foram implementadas metas até ao ano de 2015 no consumo pela utilização de equipamentos considerados eficientes em quatro áreas específicas:

- Transportes (*Renove carro; Mobilidade Urbana; Sistema Eficiência Energética*);
- Residencial e Serviços (*Renove Casa & Escritório; Sistema Eficiência Edifícios; Renováveis na Hora e Programa Solar*);
- Indústria (*Sistema Eficiência Indústria*);
- Estado (*E3: Eficiência Energética Estado*).

Uma das metas foi a substituição de 22,6 milhões de lâmpadas incandescentes por CFL gerando uma poupança energética esperada de 75 ktep, aproximadamente 872 MWh (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008”, 2008). Até então os valores de consumo de energia elétrica para iluminação por cada setor eram os apresentados na Tabela 1-2. Pode verificar-se que é o setor *Serviços* que detém a percentagem de consumo mais elevada, seguindo-se do setor *Nacional* relativo a serviços do Estado.

Tabela 1-2 - Valores de consumo de energia elétrica em iluminação antes da substituição das lâmpadas incandescentes por equipamentos eficientes (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008”, 2008)

Setor	Consumo por setor (%)	Potência equivalente (TWh/ano)
<i>Doméstico</i>	12	1,5
<i>Serviços</i>	20	3,3
<i>Indústria</i>	10	16,0
<i>Nacional</i>	14	6,4

Relativamente à utilização de *LED*, a única referência é feita pela instalação de *LED* em 20% dos semáforos urbanos (SGCIE, 2008) e a sua poupança foi de 45 953 MWh (21,6 kt de CO₂eq/kWh).

Em Abril do presente ano foi aprovada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 (RCM n.º 20/2013), cujo objetivo foi revogar o PNAEE 2015, aprovado em 2008, projetando novas áreas (*“Agricultura”*), ações e metas para 2016 integrando a redução de energia primária para

o horizonte de 2020 através de dois planos: o PNAEE 2016 no período 2013-2016; o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2020) referente ao período 2013-2020. De salientar que o ponto 6 do PNAER 2020 - *Impactos* - do RCM n.º 20/2013 refere que espera-se em 2020 alcançar uma redução na dependência energética dos atuais 79% para aproximadamente 74%, com a aposta nas energias renováveis e também a criação de 70 000 novos postos de trabalho, juntamente com uma redução de 286 milhões de euros ($\text{CO}_2 = 10 \text{ €/t}$), o que equivale a 28,6 Mt de CO_2 (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013”, 2013).

Destacam-se os resultados de 2010 da medida “R&S4M3 - *Phase-out* de Lâmpadas Incandescentes”, onde foi possível a introdução de 15 milhões de CFL, mostrando um desempenho muito positivo em apenas dois anos. A recordar que a meta era de cerca de 23 milhões de unidades em 2015 (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013”, 2013).

Analisando as economias geradas através da implementação do PNAEE 2015 entre os anos de 2008 até 2010 nas diferentes áreas é possível obter a percentagem da poupança de energia consumida pelos equipamentos de iluminação eficiente face à poupança alcançada total nas diferentes áreas (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013”, 2013). Na área “*Residencial e Serviços*” 48 530 tep dos 267 008 tep poupados correspondem a cerca de 20%.

Se se considerar toda a energia poupada entre 2008 e 2010, aproximadamente 37%, pôde ser poupada na área “*Residencial e Serviços*” e cerca de 7% foi poupada através da medida “R&S4M3 - *Iluminação Eficiente*” (“Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013”, 2013).

É na Resolução de Conselho de Ministros n.º 20/2013 que começa a haver referências mais consistentes sobre a importância da substituição de lâmpadas compactas fluorescentes por *LED*. Como se apresenta na RCM n.º 20/2013, entre 2008 e 2010 no setor *Estado*, a energia poupada foi de 3 952 tep (46 GWh) através da implementação da medida *Iluminação Pública Eficiente* com a Instalação de reguladores de fluxo, E8M11 - *Phase - out de lâmpadas de vapor de mercúrio* e E8M13 - *Sistemas de controlo de tráfego* (tecnologia *LED* nos semáforos). Pelos valores observados de poupança e redução, pode confirmar-se que o consumo da iluminação pode reduzir substancialmente os consumos de eletricidade nos diversos setores de atividade.

1.2 Objetivos

O presente trabalho consiste na realização de uma avaliação económica e ambiental na fase de utilização de equipamento de iluminação tendo em conta a instalação de lâmpadas *LED* em dois cenários distintos - *Escritório e Indústria* - tendo como comparação a iluminação tradicional (lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas; halogéneo com espelho dicróico).

Desta forma, no cenário *Escritório* será realizada uma relação do consumo de eletricidade pela iluminação através do histórico dos consumos desde dezembro de 2012 e pelo levantamento das lâmpadas existentes nas diferentes áreas do *Escritório*. Serão analisados os custos de investimento, o consumo anual, o retorno do investimento e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) da iluminação *Tradicional (Philips)* e da *LED (Brilumen)*. De salientar que no cenário escritório apenas serão substituídas lâmpadas pela obrigatoriedade do uso das luminárias impostas pela arquitetura do edifício.

No cenário *Indústria* será criada uma indústria fictícia, que tem como setor de atividade a metalúrgica e metalomecânica. Os consumos serão baseados numa indústria já existente e aproximados à sua dimensão. Serão substituídas as luminárias nas diferentes áreas da indústria, através do uso de uma aplicação informática que otimizará a quantidade de luminárias nas diferentes áreas. Analisar-se-ão os custos de investimento, o consumo anual, o retorno do investimento e as emissões de GEE para os três equipamentos (*Tradicional (Philips)*; *LED (Philips)*; *LED (Brilumen)*).

A avaliação económica efetua-se através da contabilização da potência de cada luminária, durante um ano, aplicando os preços por cada unidade de potência considerado nos diferentes fornecedores de energia elétrica. Esta avaliação será complementada através do cálculo do período de retorno do investimento. Este retorno deverá ser o mais baixo, tendo como referência adequada de 2 a 5 anos.

A avaliação ambiental será a quantificação de gases com efeito de estufa (medidos na unidade tCO₂eq) emitidos pelo consumo dos equipamentos de iluminação seguindo a metodologia *GHG Protocol*. O valor mais baixo será o preferencial.

1.3 Estrutura e Organização da Tese

O Capítulo 1 - *Introdução* - apresenta o enquadramento ao tema da iluminação dando a conhecer o que é a luz e que tipos de tecnologias existem. Também será descrita a situação nacional referente à energia em Portugal e feita uma apresentação da empresa *GENE Energy Systems* onde foi realizada a dissertação. Será também descrito o funcionamento do *LED* e que aplicações estão a ser desenvolvidas.

O Capítulo 2 - *Metodologia* - apresenta as metodologias adotadas na realização do trabalho, nomeadamente a recolha de dados sobre investimento, consumo de eletricidade e emissões de gases com efeito de estufa proveniente da utilização das lâmpadas e luminárias instaladas nos cenários considerados.

O Capítulo 3 - *Resultados e Discussão* - apresenta os resultados do trabalho e a sua análise crítica, obedecendo ao descrito no capítulo anterior. Inclui os resultados necessários para a avaliação económica e ambiental das diferentes tecnologias em cada um dos cenários.

O Capítulo 4 - *Conclusões* - apresenta as conclusões principais do trabalho realizado.

O Capítulo 5 - *Avaliação do Trabalho Realizado* - apresentará propostas e recomendações para trabalhos futuros, limitações encontradas na realização deste trabalho e também outros trabalhos realizados a par da tese.

1.4 LED: O que é?

A designação *LED* resulta das siglas em inglês *Light Emitting Diode* (Díodo emissor de Luz). O *LED* é um díodo semicondutor que ao ser atravessado por uma corrente elétrica emite luz. O comprimento de onda da luz emitida e a cor dependem da composição química do material semicondutor utilizado.

Desta forma, quando a corrente atravessa o díodo liberta-se energia em forma de fóton. A luz emitida pode ser visível, infravermelho ou quase ultravioleta. Os *LEDs* convencionais estão feitos com base numa grande variedade de materiais semicondutores inorgânicos produzindo as cores representadas na Figura 1-2, onde se pode observar a utilização de vários materiais semicondutores para as cores desejadas. Para cores mais frias (e.g. temperatura de cor fria: ~2000 K), o comprimento de onda é elevado e para as cores mais quentes (e.g. temperatura de cor: ~6000 K - 10 000 K) o comprimento de onda é menor. Pela equação de Planck (Equação 1.1) verifica-se que o comprimento de onda é inversamente proporcional, ou seja, quanto mais fria a temperatura de cor emitida, menos energia é necessária. Quanto mais quente a temperatura de cor emitida, mais energia é utilizada.

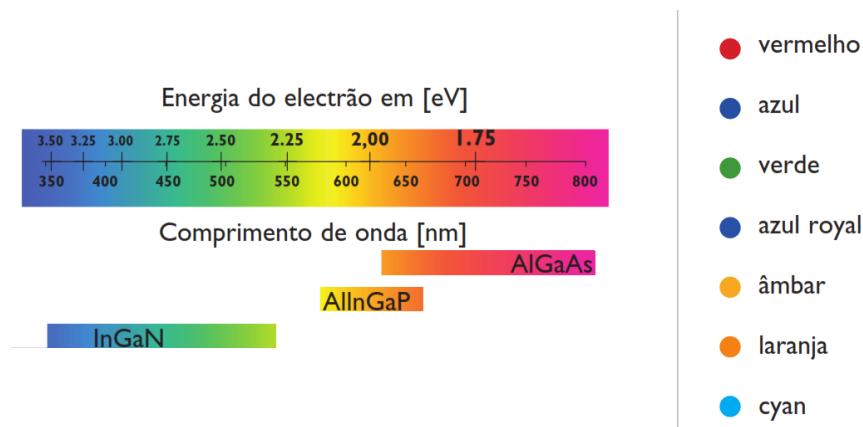


Figura 1-2 - Material semiconductor utilizado para a cor emitida em LED (“Catálogo Iluminação Philips”, 2012).

De reparar que a geração de luz branca pode ser criada através de duas formas: pelo sistema RGB através da junção de três chips (verde, vermelho e azul) ou pelo sistema PC (*phosphor converted*) pela adição de fósforo branco ou amarelo associado ao semiconductor nitreto de gálio e índio que gera luz azul a baixos comprimento de onda. O sistema PC é o mais utilizado pois apresenta um menor custo, uma maior eficácia luminosa com um maior fluxo luminoso, comparativamente ao sistema. A utilização de diferentes fósforos vai influenciar a temperatura de cor destes. Por exemplo se se utilizar um LED azul com fósforos amarelos, teremos um LED branco frio (~ 6 000 K) e relativamente de boa reprodução cromática.

$$\Delta E = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

ΔE - Energia do fóton (J)

$h = 6,63 \times 10^{-34}$ (J × s) - Constante de Planck

c - Velocidade da luz (m/s)

λ - Comprimento de onda (m)

1.5 Tipos de *Solid-State Lighting*

Após as primeiras utilizações da SSL na iluminação, foram melhorados o tempo de vida útil, o rendimento e a quantidade de luz emitida. Pelo *EdisonTech Institute*, pode-se verificar que ainda há pontos a verificar no sentido do desenvolvimento e investigação do LED e OLED (Tabela 1-3, Tabela 1-4).

Assim, serão revistas as arquiteturas relativas às principais SSL com diferentes materiais: O Díodo Emissor de Luz (DIP, SMD, COB) e o Díodo Orgânico Emissor de Luz (OLED, PHOLED).

Tabela 1-3 - Vantagens e desvantagens do LED (“LEDs and OLEDs”, 2012).

Vantagens	Consumo reduzido da eletricidade. Tempo de vida útil até 50 000 h. Bom funcionamento a baixas temperaturas (até - 40 °C). É uma fonte de luz eficiente para curtas distâncias e pequenas áreas. Elevada prova de choque contrariando outros tipos de lâmpadas. Não contêm mercúrio. Arranque instantâneo a 100% de luz Retorno de cores do ambiente com variadas combinações. Não emitem calor pelo encapsulamento (infravermelho). Permite uma direccionalidade da luz, útil em algumas aplicações, como a redução da poluição da luminosa, que é difusa em luzes de rua.
Desvantagens	Elevado custo inicial. Pode não ser confiável em aplicações externas com grandes variações de temperaturas de verão/inverno. Os semicondutores são sensíveis ao calor e podem ficar danificados. Os circuitos da placa de circuitos são constituídos por conexões finas de cobre e solda que ao serem flexionados podem rachar e impedir o bom funcionamento do equipamento. São utilizados metais raros na constituição dos LEDs, o que pode levar a um monopólio pelos países detentores destes metais, aumentando o preço. Nalguns casos o fluxo luminoso diminui ao longo do tempo.
Recomendações	Devem ser instalados dissipadores de calor com uma capacidade de dissipação elevada, para manter os componentes frescos, em alguns casos é necessária a instalação de um ventilador. Isto aumenta o custo e um ventilador reduz grandemente a vantagem de energia eficiente de LEDs. O ventilador está também sujeito a falhas o que leva à falha da unidade.

1.5.1 Dual in line package LED

O *DIP LED* contém a mesma configuração desde os primeiros tipos de *LED*. Este utiliza dois ou mais materiais semicondutores inorgânicos, dependendo da cor pretendida, encapsulados por um material com um elevado índice de refração, que pode ser de diversos materiais como epóxi ou silicone. Este encapsulamento pode ter várias formas, hemisférica, retangular ou cilíndrica e em vários tamanhos desde 1,8 mm a 20 mm, embora o mais utilizado seja o de 5 mm. A forma mais comum no *LED* é o encapsulamento em forma de redoma (Figura 1-3) pois contém um elevado índice de refração, permitindo uma elevada extração da luz. Esta morfologia permite um ângulo de reflexão interna elevado através da superfície do semicondutor (Schubert, 2006).

A carga positiva passa pelo ânodo semicondutor e pelo fio de ligação que o liga ao contacto superior do semicondutor, adjacente ao cátodo semicondutor com carga negativa. A cor da luz é determinada pela constituição química do material semicondutor. O encapsulamento em epóxi tem três funções, a de permitir a transmissão da luz, a de focar a luz num determinado ângulo e a de proteger o semicondutor dos elementos externos. Toda a unidade está envolvida por esta resina e como não contém partes móveis, esta tecnologia é virtualmente indestrutível (Light, 2001). Existe também outro tipo de encapsulamento de alto brilho que possibilita o foco de intensidade luminosa num ponto.

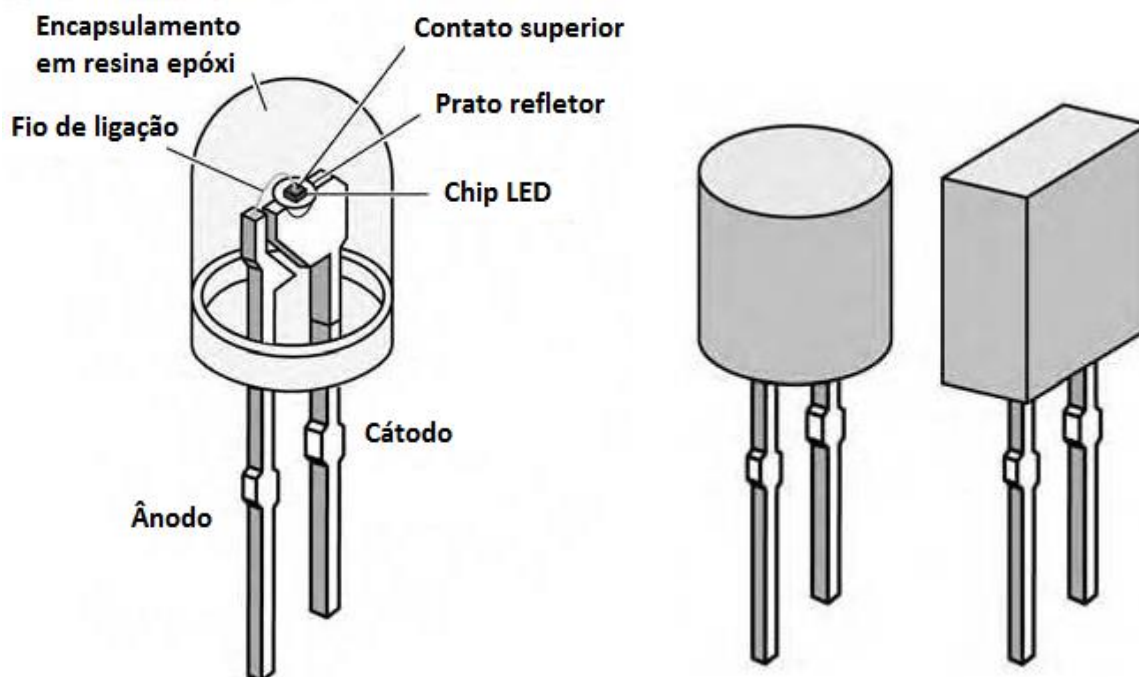


Figura 1-3 - Diferentes formas de encapsulamento. Composição LED (esq.) (Schubert, 2006).

1.5.2 Surface Mount Device LED

Utilizam o mesmo processo de emissão de luz, mas a montagem é diferente, pois o díodo é colocado sobre uma placa de circuito integrada (PCB). Esta placa suporta componentes e circuitos eletrónicos e quando se faz passar uma corrente elétrica o díodo emite luz, devido ao movimento dos eletrões (Figura 1-4). Os SMD são utilizados em várias áreas, desde a retroiluminação em relógios a indústrias de transporte. Além destes serem compactos, têm outras vantagens face à lâmpada incandescente; o baixo consumo energético e o elevado tempo de vida útil são as vantagens mais significativas (“Types of LED | LEDO”, 2012).



Figura 1-4 - Exemplo de SMD LED (Lighting Markt, 2012).

1.5.3 Chip On Board LED

O COB LED consiste em fixar vários chips com um adesivo condutor numa PCB. Os chips podem ser os usados em SMD LED ou nos High Power LED, agregados em módulos com tamanhos que variam de 350 μm a 1000 μm . Para reduzir a foto-degradação, geralmente utiliza-se uma camada de um polímero de silicone que aumenta o tempo de vida e também tem a função de distribuição da luz emitida por cada chip. Para proteger a PCB de agentes externos, como humidade ou pó, esta é encapsulada numa resina, que pode ser em epóxi ou silicone (

Figura 1-5).



Figura 1-5 - Exemplo de COB LED (“COB LED LIGHT SOURCE from LED Semiconductor Co.,Ltd., Taiwan Manufacturer”, n.d.).

1.5.4 Organic LED

Em 1979, os investigadores Chang Tang e Steven Van Slyke, desenvolveram na Kodak um *LED* com semicondutores de carbono, que permitiu em 1987 criar o primeiro *OLED*.

Mais tarde, em 1988, desenvolveu-se em Fukuoka no Japão, pelos cientistas Chihaya Adani e Tetsuo Tsutsui, o *OLED* multicamada com dupla estrutura, o que levou à sua comercialização em diversos dispositivos. Dois anos depois, em Cambridge, desenvolveu-se pelos investigadores Jeremy Burroughes, Donal Bradley e Richard Friend, um polímero baseado em *LEDs*, ou polímero de emissão de luz (LEP ou PLED) o que permitiu a sua comercialização devido à diminuição do custo de manufatura. Mais tarde em 1997 a investigação de Teruo Tohma, em Tóquio, sobre díodos orgânicos emissores de luz de matriz passiva (*PMOLED*), levou à criação de ecrãs coloridos e dez anos mais tarde, esta descoberta levou à comercialização em vários dispositivos de díodos orgânicos emissores de luz de matriz ativa (*AMOLED*).

Por fim, em 1998, uma equipa de investigadores da University of Southern California em Los Angeles, liderada por Mark Thompson e Stephen Forrest desenvolveram a alta eficiência na emissão fosforescente de dispositivos orgânicos (*PHOLED*). Esta traz um grande potencial de eficiência e é utilizado em ecrãs flexíveis (Figura 1-6). Com a utilização de irídio desenvolveram as cores vermelha e verde nestes ecrãs (Marc, A. Baldo, Diarmuid F. O'Brien, Andre Shoustikov, Scott Sibley, & Forrest, 1998).

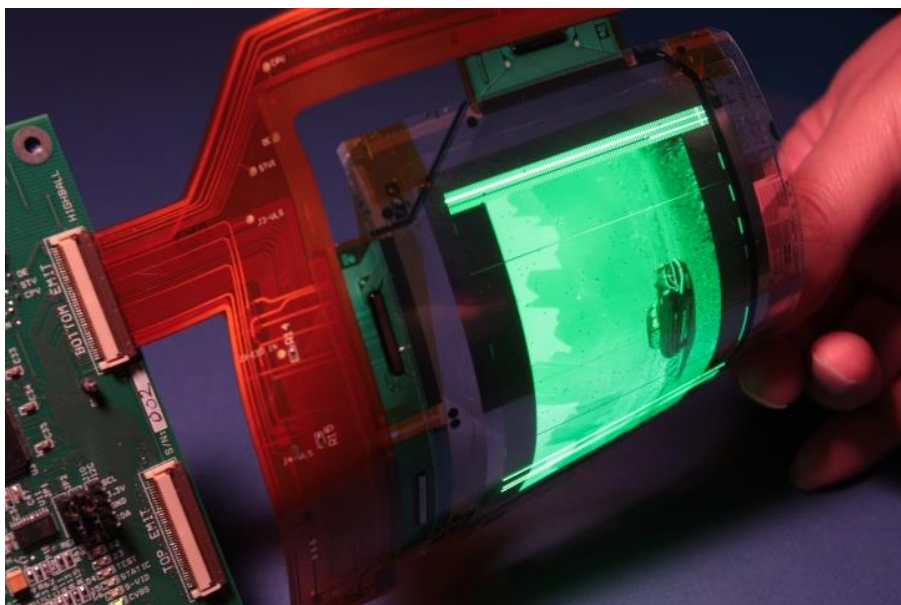


Figura 1-6 - Exemplo de aplicação *PHOLED* (Kim, 2009).

Esta tecnologia é promissora, devido às inúmeras combinações de morfologia, textura, cor para cada aplicação que pode tomar. Como se pode verificar na Tabela 1-4 existem algumas desvantagens que impossibilitam a sua comercialização em massa. É de esperar a sua comercialização para breve, a um custo reduzido comparativamente aos *LED*, pois não contêm tantos materiais na sua constituição. Mas ainda assim é uma tecnologia que necessita de ser desenvolvida nas diferentes áreas.

Tabela 1-4 - Vantagens e desvantagens do *OLED* («*LEDs and OLEDs*», 2012).

Vantagens	As unidades são mais leves do que os tradicionais <i>LEDs</i> e podem ser mais finos. São mais eficientes sob ponto de vista energético e são uma alternativa aos monitores <i>LCD</i> de computadores e televisões. Podem ser utilizados em inúmeras aplicações onde a tecnologia de iluminação nunca foi utilizada antes.
Desvantagens	O custo é muito elevado e produz menos fluxo luminoso que um <i>LED</i> normal. Ainda estão a ser experimentados novos materiais para comparar estes novos materiais com a atual tecnologia. Ainda são fabricados painéis de pequena dimensão.
Utilização	<u>Lâmpadas</u> Iluminação de curta distância (produção de luz difusa) <u>Ecrãs</u> Pequenos ecrãs: Em telefones e outros dispositivos pequenos. Grandes ecrãs: Em televisões e monitores de computador.

Atualmente está a ser desenvolvida pela Universidade de *Surrey*, uma técnica que permite melhorar a intensidade luminosa do *OLED* através da utilização de nanotubos em carbono (Shi *et al.*, 2013).

O departamento da *Philips* responsável pela investigação desta tecnologia, já demonstrou algumas aplicações que permitem a interação do utilizador com estes painéis (Figura 1-7) que vão desde a personalização do espaço consoante o estado de espírito do utilizador - tal como acontece com as lâmpadas *Philips Hue* (Philips, 2012a) que permitem ao utilizador personalizar a cor e a intensidade de luz do ambiente através de uma aplicação no smartphone - até à

interatividade destes num espelho, que quando é utilizado, os painéis sobrepostos pela imagem refletida da pessoa, apagam-se, mantendo-se acesos os que rodeiam a reflexão.

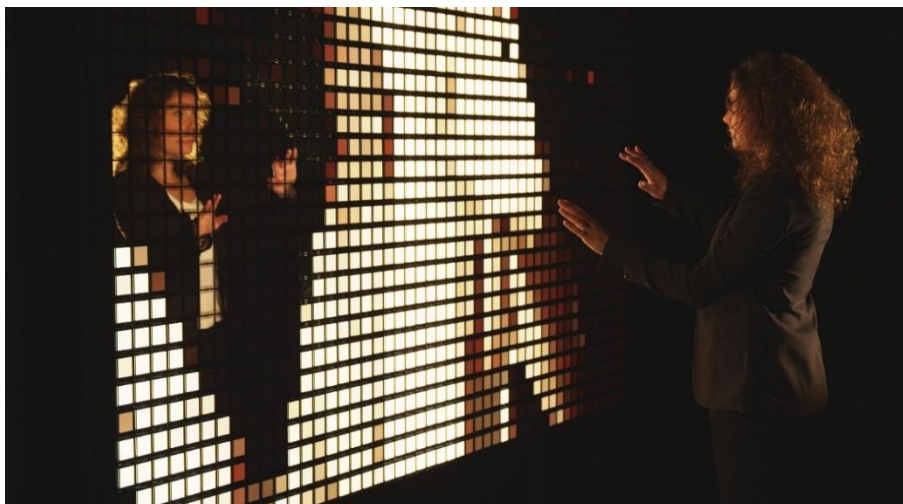


Figura 1-7 - Exemplo de aplicação OLED (Philips, 2012b).

Outra das aplicações que está a ser desenvolvida pela Philips em parceria com a *BASF* desde 2006, através da iniciativa *OLED 2015* pelo Ministério Federal da Educação e Pesquisa da Alemanha, é a criação de um tejadilho com propriedades que permitem gerar energia e possibilitar a iluminação do habitáculo com luz natural e *OLED*. Este tejadilho é constituído por material fotovoltaico orgânico no exterior e painéis *OLED* no interior, possibilitando assim a geração de eletricidade enquanto o condutor usufrui da luz natural devido à transparência dos materiais desenvolvidos. A iluminação decorativa de elevada eficiência do *OLED* no habitáculo do veículo é alimentada pela energia gerada (“*BASF and Philips first to develop OLED lighting for use as a transparent car roof*”, 2012).

A *Philips* também anunciou em 2011 que iria investir 40 milhões de euros de forma a aumentar a capacidade de produção de *OLED* em Amesterdão, em Holanda. Em 2012 começou a comercializar alguns tipos de painéis *OLED*, que variam de preço consoante o número de unidades e o seu tamanho. O preço de cada painel encontra-se entre os 48,00 € (50 x 50 mm), até aos 121,00 € (74 x 74 mm), se forem encomendados no mínimo 100 painéis. O espelho interativo tem um valor de 2990,00 € (Philips, 2012c).

1.6 Estado de Arte

Para que seja possível uma melhor compreensão do que existe atualmente relativamente à aplicação considerada, apresentar-se-ão de seguida o que levou à criação do *LED* até aos novos estudos desenvolvidos sobre novas aplicações nas diferentes áreas.

1.6.1 A Descoberta

Em 1891, um químico norte-americano Eugene G. Acheson criou uma forma de produzir e vender a baixo custo, o carbeto de silício ou carborundo (SiC). Acheson criou num forno, onde o vidro (dióxido de silício, SiO_2) e o carvão (carbono, C) reagiam a alta temperatura e produziam SiC . Devido ao seu baixo custo e à sua dureza elevada, era usado na indústria como material abrasivo (Schubert, 2006). Este é um material usado em aplicações avançadas de cerâmica devido à sua força, dureza, resistência à corrosão, baixo coeficiente de expansão térmica e alta condutividade térmica. Na natureza existe um mineral com esta composição de nome moissanite, muito raro com uma dureza aproximada à do diamante. Na escala de Mohs o diamante tem o valor máximo de 10 e no estado puro a moissanite/carborundo contém um valor de 9,2 a 9,5. Nos dias de hoje, o pó de SiC pode produzir-se através de vários métodos, mas a criação de Acheson ainda é a mais utilizada no processo de fabrico de SiC , onde a redução térmica de dióxido de silício pelo carbono é levada a cabo por temperaturas entre os 2400 °C e os 3000 °C (Nersisyan, Hou, & Won, 2009).

No início do século XX foi descoberto o fenómeno de eletroluminescência. Este consiste na passagem de uma corrente elétrica por um material no estado sólido e como resultado obtém-se luz emitida pelo material submetido a altas temperaturas. O fenómeno de incandescência provém da radiação eletromagnética visível, emitida por um material aquecido a temperaturas superiores a 750 °C (Schubert 2006). O fenómeno de eletroluminescência foi observado pela primeira vez em 1907 num díodo de carborundo, por Henry J. Round, assistente de Marconi. A eletroluminescência é diferente do fenómeno de incandescência pois pode ocorrer à temperatura ambiente. Vinte anos mais tarde foi publicado um artigo por um cientista e inventor russo, Oleg Vladimirovich Losev, que demonstra ter descoberto a importância do *LED* no mundo moderno como meio de comunicação de som e imagem. Losev observou a emissão de luz a partir de óxido de zinco e de carborundo, em díodos retificadores de cristal utilizados em recetores de rádio, enquanto uma corrente passava através destes (Zheludev, 2007). Losev descobriu o mesmo que Round observou em 1907 e foi o primeiro a entender que podia criar diversas aplicações, para além da iluminação. Losev publicou em 1929 que a descoberta usava um fenómeno de luminescência através de um detetor de carborundo que consistia num retransmissor ótico para comunicações telegráficas, telefónicas, de transmissão de imagens e outras aplicações, quando a luz luminescente é usada como fonte de luz estando esta conectada diretamente num circuito de corrente modulada (Zheludev, 2007). Losev ainda verificou se a luminescência emitida seria por incandescência, através da colocação de gotas de benzeno sobre a amostra de luz. Como a taxa de evaporação na amostra era muito baixa, concluiu que a luz não era produzida por incandescência (temperatura elevada), mas por um processo de “descarga eletrónica fria”(Schubert, 2006).

1.6.2 A Comercialização

Em 1961, Gary Pittman e Bob Biard, cientistas da Texas Instruments (TI), criaram o *LED* infravermelho enquanto desenvolviam um díodo de Esaki. O díodo de infravermelho utiliza arsenieto de gálio (GaAs) como material semicondutor.

Posteriormente em 1962, na General Electric Company (GE), o engenheiro eletrotécnico e professor Nick Holonyak Junior, criou o primeiro LED a emitir luz do espectro visível, de cor vermelha. Desta forma, Nick Holonyak Jr é considerado o pai do díodo emissor de luz visível.

Após a descoberta de Holonyak, a GE produziu poucas unidades de *LEDs*, devido ao elevado preço de venda de 260,00 USD por cada *LED* e por não haver mercado para algo tão inovador. Para que o valor de venda diminuísse, este equipamento teria de ser produzido em elevada quantidade. No princípio da década de 1960, a empresa “The Monsanto Co.”, que mesmo sem qualquer interesse em produzir material elétrico, começou em parceria com a “Hewlett-Packard Co.” (HP) a vender matéria-prima à HP para a produção em massa de *LEDs* de fosfeto de arsenieto de gálio (GaAsP). A Monsanto acabou por produzir um *LED* a meio da década de 1960, o “Monsanto MV1”, (Figura 1-8) aquando do envio de um cientista da Monsanto às suas instalações para ajudar a HP a desenvolver o mercado das *LED*. A relação entre a HP e a Monsanto terminou quando a HP começou a produzir GaAsP, com receio de só ter apenas um fornecedor. A partir do final da década de 1960 a meados da década de 1970, o mercado emergente de *LED* era constituído por displays numéricos de *LED*, aplicados até então em relógios e máquinas calculadoras, onde a Monsanto se rendeu, mesmo tendo produzido um tipo de display, o “MAN-1A” (Figura 1-9). Em 1979 a Monsanto acabou por vender o negócio de optoelectrónica. Uma das razões para a Monsanto ter desistido deste mercado foi pelo departamento de marketing rejeitar *LEDs* de outras cores que estavam a ser desenvolvidos e acreditar no baixo preço de venda de *LEDs* de cor vermelha (Woerner, 2001).

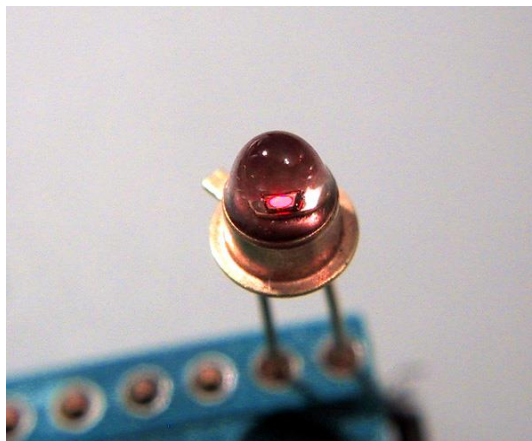


Figura 1-8 - “Monsanto MV1” considerado o primeiro LED de GaAsP a ser produzido em massa (“Monsanto MV1”, 2010).

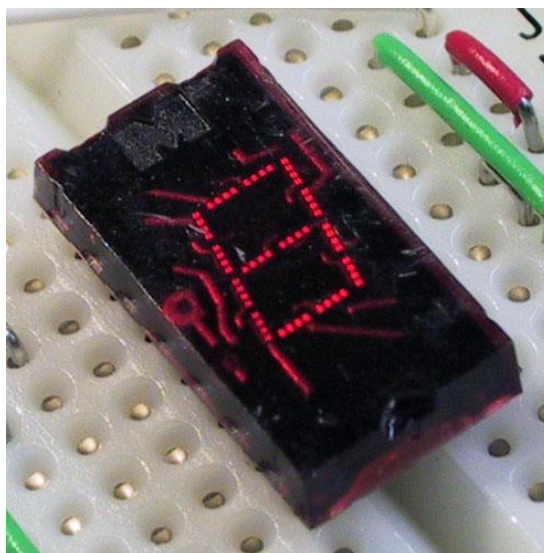


Figura 1-9 - Display LED “Monsanto MAN-1A” (“Monsanto MAN-1 Series”, 2007).

Um antigo aluno de Holonyak e engenheiro da Monsanto, M. George Craford realizou estudos sobre a cor amarela num *LED* ao juntar GaAsP com GaAs e juntou-se à HP aquando da venda do negócio de optoelectrónica da Monsanto. Craford também aperfeiçoou o *LED* de Holonyak, aumentando o seu brilho (Schubert, 2006).

1.6.3 O Desenvolvimento

No final da década de 1960, a Radio Corporation of America (RCA) foi uma das pioneiras a produzir as televisões a cores utilizando tubos de raios catódicos (CRT). Aquando desta produção o investigador James Tietjen, diretor da divisão de pesquisa de materiais da RCA, tinha em mente criar uma televisão a cores que pudesse ser colocada numa parede como um quadro. Com este objetivo, Tietjen necessitaria de um ecrã que contivesse os pixéis com as cores vermelho, verde e azul (Red, Green and Blue - RGB). A utilização de *LED* de cor vermelho

e verde já existiam. Apenas faltava o *LED* de cor azul. Então Tietjen convenceu Paul Maruska, um jovem investigador, a criar o *LED* azul através da utilização de filme de nitreto de gálio (GaN). Em 1971, com a ajuda do professor Jacques Pankove, conseguem demonstrar que é possível a eletroluminescência de cor verde e azul num fino filme de GaN (Schubert, 2006).

Em 1993, os cientistas Shuji Nakamura e Takashi Mukai, pela Nichia Chemical Industries Corporation, em Tokushima no Japão, criaram os primeiros díodos emissores de luz de cor azul e de cor verde, utilizando nitreto de gálio e índio (GaInN) de dupla heteroestrutura como material semiconductor. Nakamura e Mukai obtiveram eficiências de 10 %, desenvolveram *LEDs*, lasers e também o crescimento de cristais GaN. Também desenvolveram a cor branca ao utilizarem o fósforo em conjunto com o GaInN. (Schubert, 2006).

1.6.4 Aplicações

Atualmente existem desenvolvimentos em torno da utilização da iluminação *LED* em aplicações nas diferentes áreas.

Os estudos seleccionados são apresentados na Tabela 1-5.

Tabela 1-5 - Seleção de estudos de aplicação da tecnologia LED.

LED de Pontos Quânticos ("Better lighting with quantum dots. A brilliant solution", 2012)	Criado como complemento na utilização da iluminação LED, permite que a luz emitida pelo LED, com temperaturas de cor elevadas devido ao baixo comprimento de onda, se aproxime com a luz emitida do sol das lâmpadas incandescentes, com temperaturas de cor mais baixas. É colocado na frente da lâmpada (Figura 1-10) e consiste na utilização de pontos quânticos em nano-cristais semicondutores que possibilitam a emissão de luz em todo o espectro infravermelho, atingindo um aumento em 50% na emissão de cores segundo a empresa criadora, <i>QDVISION</i> . Os QDLEDs contêm pontos quânticos de tamanhos específicos para a temperatura de luz pretendida, quanto mais pequena a dimensão dos pontos quânticos, mais energético fica, e o resultado está na cor mais azulada. A principal dificuldade desta aplicação é a baixa estabilidade dos pontos quânticos durante o crescimento das nano partículas.
QDLED Identificação de células cancerígenas ("How to Make Quantum Dots", 2011)	Encontra-se em desenvolvimento na Universidade de <i>Johns Hopkins</i> no <i>Institute for NanoBioTechnology</i> (INBT) uma forma de identificar células cancerígenas. Será uma técnica revolucionária no rastreio, pois será fácil a sua identificação e não trará ao indivíduo qualquer inconveniente.
LED - Potencial nas aplicações biomédicas (Yeh, Wu, & Cheng, 2010)	Utilização do LED tem tido resultados positivos no campo da fototerapia através do foto-rejuvenescimento a baixa intensidade. Também é utilizado no tratamento de rinite, artrite, inflamação de tecidos ou ligamentos, alívio de stresse e distúrbios ao nível do ritmo circadiano. Este estudo refere o LED como o novo favorito à frente da tecnologia laser e luz intensa pulsada (IPL).
Li-Fi (Rani, Chauhan, & Tripathi, 2012)	Criada pelo professor Harald Haas na Universidade de Edimburgo, a <i>Light Fidelity</i> transmite dados utilizando como emissor as lâmpadas LED. É necessário um emissor (modem/lâmpada) e um recetor, como um sensor, associado ao equipamento (Figura 1-11) (computador, telemóvel ou qualquer outro equipamento). A transmissão de dados é realizada pela cintilação da luz, mas a frequência desta é tão elevada, que é impercetível ao olho humano. Além de poder transmitir dados através das fontes de luz existentes no espaço onde ocorre a atividade, tem como grande vantagem a segurança da ligação, pois o comprimento de onda do visível não permite o atravessamento de paredes, impossibilitando utilizadores indesejáveis de aceder à rede. A velocidade é superior a 1 Gbps e espera-se conseguir superar os 10 Gbps com o <i>Li-Fi</i> .
"RuaLED" ("Estarreja Pioneira na Iluminação Pública com Tecnologia LED", 2009)	Lançado pela Philips em parceria com a <i>EnergiaVIVA</i> , substituiu-se na iluminação pública dos municípios de Alcochete, Moita, Barreiro, Arraiolos, Pombal, Santa Maria de Feira Vale de Cambra, Estarreja, Coimbra e Torres Vedras. Em Estarreja a poupança energética esperada foi de 60 %.



Figura 1-10 - Painéis de pontos quânticos e aplicação em lâmpada LED (“Nexxus lighting unveils new Quantum Dot technology from QD vision with Array R30 LED replacement lamp”, n.d.).

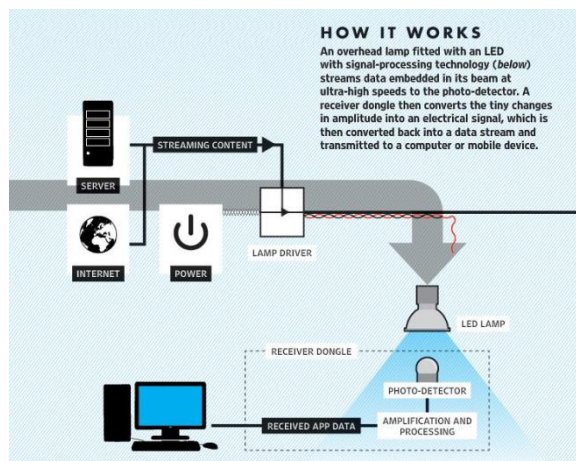


Figura 1-11 - Funcionamento do Li-Fi (Rani et al., 2012).

1.7 Apresentação da GENE Energy Systems

O trabalho apresentado foi desenvolvido na empresa *GENE Energy Systems, Lda* que possui como principal área de atividade a otimização do consumo energético e as energias renováveis.

A *GENE Energy Systems* é uma empresa criada em 2007, inicialmente denominada *MoreR*, com o intuito de conseguir atender às necessidades de um mercado emergente - eficiência energética e as energias renováveis - adotando as políticas ambientais com o objetivo de sensibilizar a população sobre os principais benefícios económicos e ambientais.

Em 2010, a *MoreR* passa a ser detida pelo *Grupo AELUS, SGPS, S.A.* e altera o seu nome em 2011 para *Gene Energy Systems*.

As soluções apresentadas pela empresa passam pela comercialização de soluções de eficiência energética e energias renováveis:

- Auditorias e planos de racionalização energética;
- Geração de energia elétrica com base em fontes renováveis;
- Geração de energia térmica com base em fontes renováveis;

- Sistemas de iluminação eficientes;
- Sistemas de aquecimento eficientes;
- Sistemas de arrefecimento eficientes;
- Consultoria especializada em centrais fotovoltaicas.

A *Gene Energy Systems* está presente em 4 concelhos: Viana do castelo, Braga, Porto e Lisboa.

A localização da empresa no Porto situa-se no escritório do *Grupo AELUS* no edifício Burgo na Avenida da Boavista. O escritório situa-se aproximadamente a 40 metros de altura no piso 13, cujas fachadas estão viradas para Norte e para Oeste.

Este edifício é um projeto da autoria do Arquiteto Souto de Moura, cuja obra foi premiada com o prémio *Pritzker* em 2011 e tem aproximadamente 60 metros de altura. Está localizado junto a duas principais artérias da cidade do Porto - Avenida da Boavista e a Via de Cintura Interna (VCI).

2 Metodologia

O procedimento utilizado neste trabalho foi o de considerar dois cenários com equipamento de iluminação tradicional e comparado ao equipamento de iluminação *LED*. Como nenhuma luminária está a funcionar 24 horas/7 dias por semana, foram criados perfis de utilização por área considerada nos períodos de hora legal verão (durante 7 meses - 154 dias) e inverno (durante 5 meses - 110 dias) («Portal ERSE - Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental», 2011). Consideram-se no cálculo 26 dias por mês, ou seja no período de verão são 7 meses, perfazendo 182 dias e no período de inverno são 5 meses, perfazendo 130 dias.

Os dados obtidos foram contabilizados por ano, exceto na obtenção da percentagem de consumo pela iluminação no consumo total que foram considerados por mês.

Os passos para calcular os vários tipos de cenários foram os seguintes:

1. Inventário das dimensões (paredes, tetos, janelas, cores e texturas) e objetos no cenário a considerar (em *Escritório* também foram considerados os consumos faturados pelas fornecedoras EDP e IBERDROLA)
2. Contabilização de todas as luminárias e lâmpadas nas áreas consideradas para cada tipo de equipamento
3. Inserção de dados numa aplicação informática para verificar se a iluminação está de acordo com alguns parâmetros considerados na norma *EN 12464-1*
4. Cálculo da potência consumida total para os perfis de utilização admitidos em cada área (já inclui potência do balastro e lâmpada no caso das lâmpadas de descarga)
5. Cálculo da quantidade de carbono pela multiplicação do consumo de energia elétrica proveniente da utilização de iluminação (kWh), pelos fatores de emissão de CO₂ (kgCO₂/kWh) e de CO₂ equivalente por emissão de gases com efeito de estufa por consumo de energia elétrica (kgCO₂eq/kWh), considerados no uso da calculadora disponibilizada pelo portal *GHG Protocol*

Realizado o cálculo dos resultados de potência e iluminação, verifica-se o consumo proveniente da utilização dos equipamentos e comparam-se ao equipamento de iluminação *LED*.

Nos dois cenários foram considerados duas formas de obtenção de equipamento. Para o cenário *Escritório* foram consideradas: lâmpadas comercializadas em empresas que vendem equipamentos *LED* encontrados na *Internet* que comercializam equipamento de iluminação, na compra de um número mínimo de unidades; equipamento comercializado pela fornecedora *Brilumen*, especializada em iluminação *LED*. No cenário *Indústria* foram consideradas as fornecedoras *Philips* e *Brilumen*.

A comparação realiza-se em função do consumo, custos de investimento e manutenção face ao tempo de vida útil anunciado pelos fornecedores e emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia pela utilização do equipamento.

No cenário *Escritório* foram contabilizados os consumos de energia mensais considerando-se os serviços contratados de baixa tensão normal (BTN), com a empresa fornecedora de energia elétrica EDP, desde dezembro de 2012 até fevereiro de 2013 e com a fornecedora IBERDROLA de Março de 2013 até à presente data. As potências das áreas consideradas no projeto foram totalizadas e multiplicadas pelo preço médio da energia elétrica (€/kWh) comercializada pelos fornecedores de energia contratados (0,1333 €/kWh).

No cenário *Indústria* por se considerar uma potência contratada em regime de Baixa Tensão Especial (BTE) acima de 41,4 kW, teve-se em conta a contabilização horária nos perfis de utilização os períodos horários dos dias nas situações de Ponta, Cheia, Vazio Normal e Super Vazio com um ciclo horário semanal (períodos horários diferem entre dias úteis e fim de semana), pois tem mais horas de Cheia, em que o preço de energia é mais reduzido do que no ciclo diário (períodos horários são iguais em todos os dias do ano).

Para se proceder à substituição das lâmpadas, primeiramente foi necessário ter conhecimento da aplicação desejada aquando da instalação deste equipamento. É importante conhecer a área alvo, pois a instalação de vinte unidades de *LED* de alta potência de 150 W numa divisão de uma casa é diferente da aplicação desta mesma quantidade de produto numa indústria de 9 m de altura e com uma área suficiente elevada e.g.. É necessário ter em conta que o dimensionamento é a tarefa mais importante quando se pretende ser eficiente energeticamente.

2.1 Pegada de Carbono

Todas as sociedades requerem energia para obter todas as necessidades básicas (e.g. alimentação, segurança, conforto, mobilidade, iluminação e comunicação).

Em meados do século XVIII, aquando da revolução industrial, houve um aumento na utilização de combustíveis fósseis como principal fonte energética tendo como consequência um crescimento rápido das emissões de dióxido de carbono na atmosfera e que continuaram a crescer até ao fim de 2010 (Edenhofer, Madrugá, & Sokona, 2012).

Ao longo dos anos foram-se descobrindo novas formas de gerar eletricidade de forma limpa, cuja fonte energética é proveniente dos recursos renováveis como o sol, vento, chuva, marés e o geotermismo. Assim esta fatia juntou-se à energia elétrica proveniente da queima de

combustíveis fósseis formando o mix energético que é a energia elétrica gerada pelas várias fontes podendo ser de origem renovável ou não.

De forma a poder-se quantificar numa forma simples as emissões de carbono foi criada uma ferramenta, cuja designação é pegada de carbono, que pode tomar várias definições (Tabela 2-1).

Tabela 2-1 - Algumas definições do conceito de pegada de carbono (Wiedmann & Minx, 2007).

Fonte	Definição
BP (2007)	"A pegada de carbono é a quantidade de dióxido de carbono emitida devido às atividades diárias - desde a lavagem de uma carga de roupa até à condução de um carro cheio de crianças até à escola."
British Sky Broadcasting (Patel 2006)	"A pegada de carbono foi calculada através da medição das emissões equivalentes de CO ₂ provenientes das suas instalações, veículos da empresa, viagens de negócios e também de resíduos para aterro."
Carbon Trust (2007)	"...é uma metodologia para estimar a emissão total de gases de efeito estufa (GEE) em equivalentes de carbono de um produto ao longo do seu ciclo de vida, desde a produção de matéria-prima utilizada na sua fabricação, à eliminação dos produto final (excluindo as emissões em uso)."
Energetics (2007)	"...extensão total das emissões de CO ₂ diretos e indiretos causados pelas atividades empresariais."
ETAP (2007)	"...a 'Pegada de Carbono' é uma medida do impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente em termos de quantidade de gases de efeito estufa produzidos, medida em toneladas de dióxido de carbono."
Global Footprint Network (2007)	"A demanda de biocapacidade exigida para sequestrar (através da fotossíntese), o dióxido de carbono (CO ₂) proveniente da queima de combustíveis fósseis."
Grub & Ellis (2007)	"A pegada de carbono é uma medida da quantidade de dióxido de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis. No caso de uma organização empresarial, é a quantidade de CO ₂ emitido, direta ou indiretamente, como resultado das suas operações diárias."
Parliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	"A 'pegada de carbono' é a quantidade total de CO ₂ e outros GEE, emitidos ao longo do ciclo de vida completo de um processo ou produto. É expresso em gramas de CO ₂ equivalente por kWh gerado (gCO ₂ eq/kWh), que responde pelos diferentes efeitos do aquecimento global de outros gases de efeito estufa."

A pegada de Carbono é uma ferramenta que permite a uma organização quantificar a quantidade de carbono emitida na realização de uma determinada tarefa, seja o consumo e utilização ou o fabrico deste.

Como se verifica pelas diferentes definições, no cálculo da pegada de carbono não existe uma metodologia que seja utilizada em conformidade em todos os casos. Assim surgiram metodologias, como a *PAS 2050* ou a *GHG Protocol* que definem linhas orientadoras para que as empresas possam calcular a pegada de carbono dos seus próprios serviços ou produtos. No presente trabalho foram utilizadas como linhas de base para o seu cálculo a metodologia descrita pelo *GHG Protocol*, onde apenas será realizada no âmbito de utilização do produto pela energia elétrica consumida. Será expressa em quantidade de CO₂ equivalente emitida por energia elétrica consumida.

2.2 GreenHouse Gas Protocol Initiative

A *GreenHouse Gas Protocol Initiative (GHG Protocol)* é uma parceria de negócios criada entre todas as partes interessadas (*multi-stakeholder*) reunidas pelo *World Resources Institute (WRI)* e pelo *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*. A WRI é uma Organização Não Governamental (ONG), sediada nos Estados Unidos enquanto a WBCSD é uma coligação de 170 empresas internacionais, sediada em Genebra. A iniciativa *GHG Protocol* teve início em 1998 com a missão de promover a aceitação global de normas de monitorização e comunicação das emissões de Gases com efeito de estufa (GEEs) entre ONG's, governos e outras entidades. Os documentos que compõem o GHG Protocol são:

- "*GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*" ("*GHG Protocol Corporate Standard*") é um guia normativo para as empresas que explica como quantificar e comunicar de forma justa e verdadeira todas as emissões de GEE

- "*GHG Protocol Quantification Standard*" é um guia para quantificar, em projetos mitigantes de GEE, as reduções das emissões.

O guia utilizado foi o "*GHG Protocol Corporate Standard*" que inclui registos e relatórios dos seis gases com efeito de estufa, abrangidos pelo Protocolo de Quioto - dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e metano (CH₄). O resultado final desta avaliação é expresso em toneladas de CO₂eq e recorre a fatores de caracterização do potencial de aquecimento global (GWP₁₀₀) que refletem o efeito relativo dos gases com efeito de estufa em termos de alterações climáticas, considerando um período fixo de tempo em anos (100 anos neste caso). O fator de emissão médio da quantidade de dióxido de carbono equivalente considerado para três anos (2007,2008,2009) compreende os gases CO₂, CH₄ e N₂O ("Inventário Nacional de Emissões

Atmosféricas (INERPA)”, 2011) no valor, apresentado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), de 0,37 kg/CO₂eq.

A norma *GHG Protocol Corporate Standard* considera três âmbitos: âmbito 1 (inclui emissões diretas de GEE), o âmbito 2 (inclui emissões indiretas de GEE, provenientes do consumo de energia elétrica) e o âmbito 3 (inclui outras emissões indiretas de GEE). Neste trabalho apenas é considerado o âmbito 2 e foi utilizada a calculadora *GHG Emissions from purchased electricity* (Figura A. 1) referente ao consumo de energia elétrica disponibilizada em pastas de *Excel* no portal da *GHG Protocol* relativa às emissões originadas pela energia elétrica comprada à rede (WRI, 2012).

Nesta calculadora são inseridos os seguintes dados: percentagem de consumo de energia elétrica; localização geográfica do local (país e se estiver disponível, a região); o ano (para o qual a base de dados tem informação dos fatores de emissão); as unidades (kWh ou MWh) e, caso não existam fatores de emissão no consumo (EFC) na base de dados da calculadora, pode ser inserido um valor relativo à sua emissão. O EFC de CO₂ para 2009 era de 0,37 kg GEE/kWh.

De referir que para Portugal não haviam valores de EFC relativos a dióxido de carbono equivalente na folha de cálculo, admitindo-se o EFC médio apresentado pela APA de 2009.

No Despacho n.º 17313/2008 no valor de 0,47 kgCO₂eq/kWh (Despacho n.º 17313/2008, 2008) foi encontrado um EFC associado ao consumo de eletricidade. Para demonstrar a diferença entre os valores médios para 2009 e anteriores a 2007 conforme o Despacho referido, comparou-se também este valor resultando numa redução de GEE. Este valor é superior pois refere-se ao valor médio de EFC do Despacho n.º 17313/2008, referente ao período entre 2001 e 2006 (Figura 2-1), onde até então não havia sido criado qualquer plano de ação referente à redução de emissões de GEE (PNAEE 2015, aprovado na Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008). O valor médio de 2001 a 2006 corresponde a 0,47 tCO₂eq/GWh, correspondendo a 0,47 kgCO₂eq/kWh, o fator de emissão disponibilizado no Despacho n.º 17313/2008.

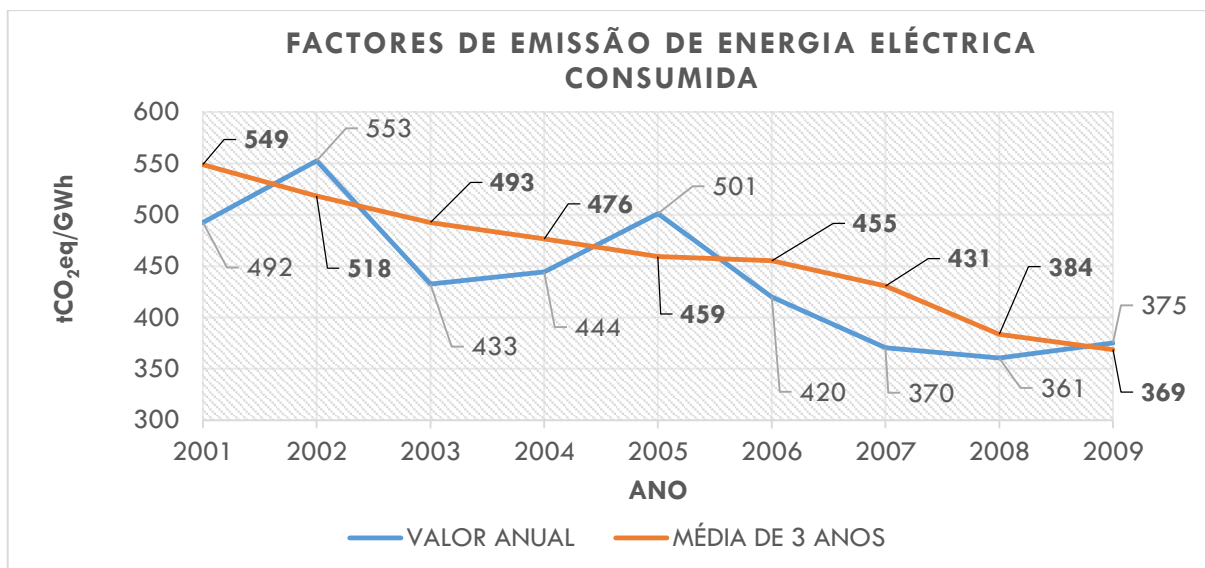


Figura 2-1 - Representação da evolução dos fatores de emissão (“Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA)”, 2011).

2.3 Simulação computacional

Na realização de um projeto luminotécnico é importante haver resultados antes da realização dos trabalhos de instalação. Estes resultados podem ser quantitativos (e.g. valores de iluminância a serem comparados com os valores dados pela Norma *EN 12464-1*) ou qualitativos (e.g. percepção visual) sempre tendo como objetivo a redução de custos e conferir um maior conforto e bem-estar ao utilizador.

Desta forma foram criadas aplicações informáticas que auxiliam o projetista a simular o espaço a projetar. A simulação computacional permite de forma simples manipular o espaço, sempre o mais aproximado da realidade, de forma a minimizar passos desnecessários aquando da instalação, poupando custos económicos, tempo e trabalho. Em alguns casos é possível também exportar imagem ou vídeo do espaço virtual, permitindo mostrar a qualquer pessoa, sem necessidade da instalação da aplicação informática sempre que se deseja visualizar o projeto.

De todas as aplicações informáticas de simulação computacional encontradas as mais utilizadas são as seguintes:

ADELIN - Criado por uma equipa de pesquisa internacional pela *International Energy Agency* (IEA), esta aplicação informática permite a simulação do comportamento e performance da iluminação natural e artificial em diferentes ambientes («IEA - ADELIN», 2002). Possui interface com as ferramentas CAD.

CALCULUX - Aplicação informática distribuída pela Philips com a principal função de avaliar os sistemas de iluminação em diferentes aplicações. É mais utilizada para avaliações exteriores.

DIALux - Desenvolvida por uma empresa alemã com o mesmo nome, esta aplicação informática é a mais completa apresentando uma base de dados variada desde texturas a materiais. É uma aplicação gratuita, possibilita a importação de texturas, materiais, objetos em 3D e também luminárias de diversos fornecedores, contendo toda a informação da lâmpada necessária no seu cálculo. Existe em duas versões: uma para interiores de cada divisão a avaliar e outra mais completa para interiores e exteriores, que possibilita o projeto com vários andares. Esta última é um pouco limitada por não conter ferramentas de avaliação de energia nem de luz natural.

LUMEN - É uma ferramenta criada pela *Lighting Technologies Inc.* Este simula a iluminação artificial e natural em vários ambientes e apresenta uma base de dados variada de objetos de decoração e luminárias. Tem como principal desvantagem a impossibilidade de importar ficheiros CAD.

RELUX - É uma aplicação informática livre desenvolvida pela empresa *Relux Informatik AG*, evolvida no desenvolvimento, produção e distribuição de planeamento de iluminação («RELUX», 2013). Esta aplicação tem uma versão gratuita limitada pela impossibilidade de exportar imagens ou vídeo.

RADIANCE - É uma aplicação informática livre desenvolvida por *Grag Ward* pelo *Lawrence Berkeley Laboratory* na Califórnia, para as plataformas *Linux* e *Mac OS*. Esta permite obter o comportamento fotométrico de geometrias internas ou externas complexas.

Existem também aplicações como o *Photopia* que permitem a criação de ficheiros de modelos em 3D de luminárias a serem exportados para as diversas aplicações informáticas de simulação computacional.

De entre todos as aplicações informáticas analisadas, escolheu-se o *DIALux* nas duas versões, *DIALux 4.11* e *DIALux EVO* pelas vantagens apresentadas a seguir:

- Livre de encargos e com visualização com exportação de imagem (Figura 2-2) e vídeo;
- Possibilidade de realização de estudo luminotécnico associado ao consumo energético de forma a incluir as luminárias no projeto e assim obter os valores de consumo por um intervalo de tempo a definir;
- Simulação do ambiente 3D mais próxima da realidade possível;
- Possibilidade de exportação e importação de ficheiros de programas de CAD;
- Popular, com mais de 300.000 usuários;
- Uso simples e intuitivo;
- Importação de ficheiros de objetos em 3D;
- Sem qualquer associação a empresas de comercialização de equipamentos.



Figura 2-2 - Exemplo de representação 3D do Escritório no DIALux EVO.

Após a realização do cálculo, o *DIALux* emite um relatório (Figura B. I) com a informação pretendida, desde a posição de cada luminária até à representação das zonas com a mesma iluminância, entre outros. Este relatório permite organizar a informação do projeto de forma simples.

De reparar que algumas luminárias de superfície não aparecem graficamente no teto embora o seu cálculo seja realizado, como surge nalgumas fotos tiradas através da própria aplicação informática.

2.4 Caracterização de cenários

Para o trabalho em causa consideraram-se dois cenários de diferentes setores para poder realizar uma comparação entre a instalação, consumos e emissões de CO₂eq nos sistemas de iluminação.

2.4.1 Caracterização do Cenário *Escritório GENE Energy Systems*

O escritório divide-se em cinco áreas onde todas as paredes e teto são pintados de branco. O chão é alcatifado de cor azul, exceto nas áreas Copa e Quarto de banho que possui flutuante branco e granito respetivamente. O número de luminárias, número de lâmpadas e a sua potência total, podem ser visualizados na Tabela 2-2, para cada área.

Tabela 2-2 - Designação das áreas e respetivo número de lâmpadas, luminárias e a potência total de cada área no cenário Escritório.

	Luminárias	Lâmpadas	Potência (W)	Representação da luminária
Escritório	7	28	1652	
Entrada ²	4	4	200	
Conferências	2	2	148	
Copa ²	1	1	74	
Quartos de banho ²	3	6	84	

Para obter os valores de consumo da iluminação, escritório foi dividido em 6 partes: Entrada, Sala de conferências, Escritório, Copa e Quartos de banho (Entrada dos quarto de banho e dois quartos de banho).

Foi realizado o inventário das luminárias existentes no escritório (Tabela 2-3) de forma a obter a potência total (Assumindo valores entre 2 W e 20 W de potência consumida pelo balastro). A designação *Escritório'* faz parte do grupo de luminárias localizadas junto às janelas viradas para norte. Considerou-se este grupo de luminárias por estarem menos tempo em funcionamento, em dias de elevada entrada de luz solar pelo lado norte do escritório.

² Algumas luminárias não têm fornecedor conhecido e optou-se desta forma a escolha de uma luminária com o mesmo número e tipo de lâmpada e também com refletor idêntico mas da fornecedora Philips

Tabela 2-3 - Luminárias existentes no escritório.

	Número de Lâmpadas	Número de Luminárias	Lâmpada por luminária	Designação das luminárias
<i>Escritório</i>	12	3	4	<i>MGB</i>
<i>Escritório'</i>	16	4	4	<i>MGB</i>
<i>Entrada</i>	4	4	1	<i>Philips BBG462</i>
<i>Conferências</i>	2	2	1	<i>Turbo Frost</i>
<i>Copa</i>	1	1	1	<i>Philips TCS260</i>
<i>Quartos de banho</i>	6	3	2	<i>Philips FBS122</i>

Para proceder ao cálculo da pegada de carbono foi necessário obter os valores faturados de consumo de eletricidade, em kWh, referentes ao período considerado desde dezembro de 2012 a maio de 2013 período em que a *GENE Energy* se instalou no edifício Burgo.

Com a necessidade de obter resultados mais exatos tentou-se aproximar da realidade a disposição de mobílias, divisões e também luminárias. Assim, como não foram encontradas as luminárias no *DIALux*, recorreu-se à aplicação informática de CAD (*Computer-Aided Design*), designada por *SolidWorks*®, de forma a criar um modelo 3D da luminária designada por *MGB* (Figura 2-3), pertencente à área “Escritório”. O seu aspeto pode ser verificado na Figura 2-4, embora não tenha sido possível a sua importação para o *DIALux* por não haver uma aplicação informática gratuita que possibilitasse a conversão do ficheiro 3D do *SolidWorks*® para o ficheiro de extensão *uld* do *DIALux*.



Figura 2-3 - Exemplo de aplicação da luminária MGB (Matos, 2012).

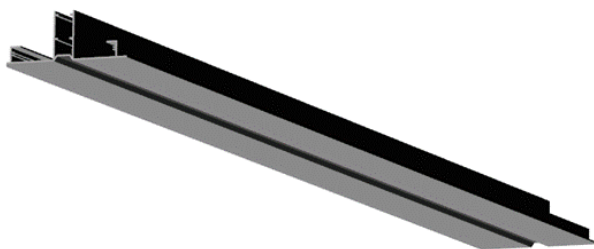


Figura 2-4 - Luminária MGB criada em SolidWorks[®].

Tal como aconteceu com a luminária *MGB*, a luminária da área “Conferências” (Figura 2-5) não foi aplicada no projeto *DIALux* por não existir na base de dados do *DIALux*. Como a importação da *MGB* não teve sucesso, não foi criado qualquer ficheiro em 3D desta luminária.



Figura 2-5 - Exemplo de aplicação da luminária Turbo Frost na sala de conferências (Matos, 2012).

2.4.2 Caracterização do Cenário *Indústria*

Neste caso de estudo, foi dimensionada uma empresa cujo ramo de atividade é a transformação do metal em tubos metálicos para diversas aplicações. A disposição e dimensionamento foram realizados de raiz. O nome *TuboTech* foi inventado e criado um logotipo. Esta empresa encontra-se dividida por cinco áreas distintas: Fábrica; Receção; Corredor; Escritório e o Quarto de banho. Foi verificado através do *DIALux*, quantas luminárias seriam necessárias para garantir valores em conformidade com a norma *EN 12464-1* para iluminação de interiores (Tabela 2-5).

Com a necessidade de avaliar a instalação de iluminação *LED* em indústrias, decidiu-se criar de raiz uma indústria, cujo setor de atividade é a metalomecânica. Admitiu-se iluminação por lâmpada tubular fluorescente T5 como a escolha comparativa no caso da iluminação tradicional.

O número de luminárias, lâmpadas e a sua potência total pode ser visualizado na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 - Designação das áreas e respetivo número de lâmpadas, luminárias e a potência total de cada área no cenário Indústria.

Área	Luminárias	Lâmpadas	Potência (W)	Representação da luminária
<i>Fábrica</i>	80	320	18 880	
<i>Receção</i>	20	80	1 440	
<i>Corredor</i>	8	32	576	
<i>Escritório</i>	16	64	1 152	
<i>Quartos de banho</i>	8	32	576	

Tabela 2-5 - Luminárias existentes na TuboTech com fluorescente.

	Número de Lâmpadas	Número de Luminárias	Lâmpada por luminária	Designação luminárias
<i>Fábrica</i>	320	80	4	PHILIPS TPS350 4xTL5-54W
<i>Receção</i>	128	32	4	PHILIPS TBS162 4xTL5-14W
<i>Corredor</i>	32	8	1	PHILIPS TBS162 4xTL5-14W
<i>Escritório</i>	64	16	1	PHILIPS TBS162 4xTL5-14W
<i>Quarto de banho</i>	32	8	1	PHILIPS TBS162 4xTL5-14W

As luminárias *LED* comercializadas pela Philips, adequadas para iluminação industrial (à esq.) e de escritório (à dir.) são as apresentadas na Figura 2-6.



Figura 2-6 - Luminárias LED: LED PHILIPS BY460P 1xLED100S/740 (à esq.) e LED PHILIPS BBS415 W15L120 1xLED48/830 (à dir.).

As luminárias comercializadas pela *Brilumen* são as apresentadas pela Figura 2-7. A linha de luminárias adequada para pé direito elevado é a apresentada à esquerda. À direita encontra-se uma lâmpada T5 de 7 W que se adequa à substituição das lâmpadas fluorescentes da iluminação tradicional, não sendo necessário a troca de luminária no edifício de administração.



Figura 2-7 - Luminária LED Brilumen Aquila para iluminação industrial (à esq.) e lâmpada T5 c/ Armadura 156 LED 16W 1150 4200K (à dir.).

3 Resultados e Discussão

Neste capítulo será apresentado o inventário de lâmpadas e luminárias, valores de investimento e consumos e feita a comparação e discussão dos resultados obtidos. Irá ser realizada uma avaliação económica e ambiental referente às tecnologias de iluminação mais comuns com a tecnologia *LED*.

3.1 Economia Gerada - *Escritório*

Neste cálculo admitiu-se que a empresa trabalha de segunda a sábado o que corresponde a uma média de 312 dias por ano (182 dias de verão e 130 dias de inverno) considerando 26 dias por mês. Não se contabilizaram feriados.

3.1.1 Iluminação Tradicional

O investimento inicial da instalação de luminárias foi de 5 213,00 €. Os valores discriminados por área encontram-se na Tabela 3-1. O valor mais elevado é o do grupo de luminárias junto à janela, por conter mais uma luminária com quatro lâmpadas. Os preços apresentados das luminárias da Entrada, Copa, Quarto de banho e todas as lâmpadas são do catálogo de preços da *Philips* (“Catálogo Iluminação Philips”, 2012).

Tabela 3-1 - Investimento inicial das luminárias com iluminação tradicional.

	€/Luminária	Luminárias	€/Lâmpada	Lâmpadas
<i>Escritório</i>	600,00 €	1 800,00 €	9,07 €	108,84 €
<i>Escritório'</i>	600,00 €	2 400,00 €	9,07 €	145,12 €
<i>Entrada</i>	67,00 €	268,00 €	5,71 €	22,84 €
<i>Conferências</i>	140,00 €	280,00 €	9,07 €	18,14 €
<i>Copa</i>	108,00 €	108,00 €	9,07 €	9,07 €
<i>Quarto de banho</i>	119,00 €	357,00 €	6,55 €	39,30 €
		5 213,00 €		343,31 €
Total				5 556,31 €

A contabilização da potência de cada lâmpada instalada está apresentada na Tabela 3-2, onde o consumo mais elevado está associado ao grupo de luminárias *Escritório'* com 944 W. A potência total para o equipamento considerado é de 2 190 W.

Tabela 3-2 - Consumo instantâneo das lâmpadas e balastros das luminárias.

	Consumo lâmpadas (W)	Consumo balastro (W)	Consumo (W)
<i>Escritório</i>	54	20	708
<i>Escritório'</i>	54	20	944
<i>Entrada</i>	50	2	208
<i>Conferências</i>	54	20	148
<i>Copa</i>	54	20	74
<i>Quarto de banho</i>	13	10	108
Total			2 190

Como pode verificar-se na Tabela 3-3 o consumo diário no verão é de 5,66 kWh e admitindo que em média o verão é constituído por 182 dias, o consumo por cada verão é de 1 029,28 kWh/ano. O valor 0 horas/dia da *Copa* corresponde a um valor inferior a 30 minutos.

Tabela 3-3 - Consumo de energia no verão - 7 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Escritório</i>	4	2,83
<i>Escritório'</i>	2	1,89
<i>Entrada</i>	2	0,42
<i>Conferências</i>	2	0,30
<i>Copa</i>	0	0,01
<i>Quarto de banho</i>	2	0,22
Total		5,66

Na Tabela 3-4 o consumo diário no inverno é de 17,89 kWh e admitindo que em média o inverno é constituído por 130 dias, o consumo por cada inverno é de 2 325,96 kWh/ano.

Tabela 3-4 - Consumo de energia no inverno - 5 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Escritório</i>	10	7,08
<i>Escritório'</i>	10	9,44
<i>Entrada</i>	2	0,42
<i>Conferências</i>	4	0,59
<i>Copa</i>	2	0,15
<i>Quarto de banho</i>	2	0,22
Total		17,89

Somando os dois períodos obtém-se um consumo por ano de 3355,24 kWh/ano.

Admitindo uma tarifa média no valor de 0,1333 €/kWh e que um ano tem em média 312 dias (182 dias de verão e 130 dias de inverno) sem contabilizar domingos e feriados e considerando 26 dias por mês.

Então no verão são gastos 137,22 € e no inverno 310,10 € o que perfaz um valor de 447,32 € no consumo anual, para os perfis de utilização considerados.

3.1.2 Iluminação LED Brilumen

O investimento inicial em luminárias foi apresentado na Secção 3.1.1, no valor de 5 213,00 €. Os valores discriminados por área encontram-se na Tabela 3-5. O valor mais elevado é o do grupo de luminárias junto à janela, por conter mais uma luminária com quatro lâmpadas. Os preços apresentados das lâmpadas são do catálogo da marca especializada em iluminação LED, a *Brilumen* («Catálogo BRILUMEN», 2013).

Tabela 3-5 - Investimento inicial das luminárias com iluminação LED Brilumen.

	€/Luminária	Luminárias	€/Lâmpada	Lâmpadas
<i>Escritório</i>	600,00 €	1 800,00 €	45,41 €	544,93 €
<i>Escritório'</i>	600,00 €	2 400,00 €	45,41 €	726,57 €
<i>Entrada</i>	67,00 €	268,00 €	12,91 €	51,64 €
<i>Conferências</i>	140,00 €	280,00 €	45,41 €	90,82 €
<i>Copa</i>	108,00 €	108,00 €	45,41 €	45,41 €
<i>Quarto de banho</i>	119,00 €	357,00 €	24,15 €	144,89 €
		5 213,00 €		1 604,26 €
Total				6 817,26 €

A contabilização da potência de cada lâmpada instalada apresenta-se na Tabela 3-6, onde o consumo mais elevado está associado ao grupo de luminárias *Escritório'* com 224,00 W. A potência total para o equipamento considerado é de 511,80 W.

Tabela 3-6 - Consumo instantâneo das lâmpadas das luminárias.

	Consumo lâmpadas (W)	Consumo Total (W)
<i>Escritório</i>	14,00	168,00
<i>Escritório'</i>	14,00	224,00
<i>Entrada</i>	7,00	28,00
<i>Conferências</i>	14,00	28,00
<i>Copa</i>	14,00	14,00
<i>Quarto de banho</i>	8,30	49,80
Total		511,80

Pode verificar-se pela análise da Tabela 3-7 que o consumo diário no verão é de 1,33 kWh e admitindo que em média o verão é constituído por 182 dias, o consumo por cada verão é de 242,61 kWh/ano.

Tabela 3-7 - Consumo de energia no verão - 7 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Escritório</i>	4	0,672
<i>Escritório'</i>	2	0,448
<i>Entrada</i>	2	0,056
<i>Conferências</i>	2	0,056
<i>Copa</i>	0	0,001
<i>Quarto de banho</i>	2	0,100
Total		1,333

Na Tabela 3-8 o consumo diário no inverno é de 4,22 kWh e admitindo que em média o inverno é constituído por 130 dias, o consumo por cada inverno é de 548,03 kWh/ano.

Tabela 3-8 - Consumo de energia no inverno - 5 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Escritório</i>	10	1,68
<i>Escritório'</i>	10	2,24
<i>Entrada</i>	2	0,06
<i>Conferências</i>	4	0,11
<i>Copa</i>	2	0,03
<i>Quarto de banho</i>	2	0,10
Total		4,22

Somando os dois períodos obtemos um consumo por ano de 790,63 kWh/ano.

Admitindo que valor da tarifa média faturada pelas duas fornecedoras de energia (EDP e IBERDROLA) é de 0,1333 €/kWh e que um ano tem em média 312 dias (182 dias de verão e 130 dias de inverno) sem contabilizar domingos e feriados, considerando 26 dias por mês, então no verão são consumidos 32,34 € e no inverno 73,06 € o que perfaz um valor de 105,41 € no consumo anual, para os perfis de utilização considerados.

3.1.3 Comparação de resultados

Por fim foi realizada a comparação entre os equipamentos considerados relativamente ao investimento inicial, consumo anual, retorno de investimento, percentagem de iluminação por cada equipamento e as emissões de GEE relativas à sua utilização.

A Figura 3-1 representa o investimento, tendo em conta as luminárias e as lâmpadas instaladas. De ressaltar que nos equipamentos os valores das luminárias é sempre o mesmo (5 213,00 €) pois as luminárias de *Escritório* e *Conferências* têm utilização obrigatória, devido à arquitetura do edifício. Desta forma também seguindo a mesma obrigatoriedade utilizaram-se as mesmas luminárias dos restantes espaços, mas como não se conseguiu encontrar o mesmo modelo, utilizaram-se luminárias com características idênticas às instaladas, mas da marca Philips.

Como se pode verificar o maior investimento é o da fornecedora *Brilumen*.

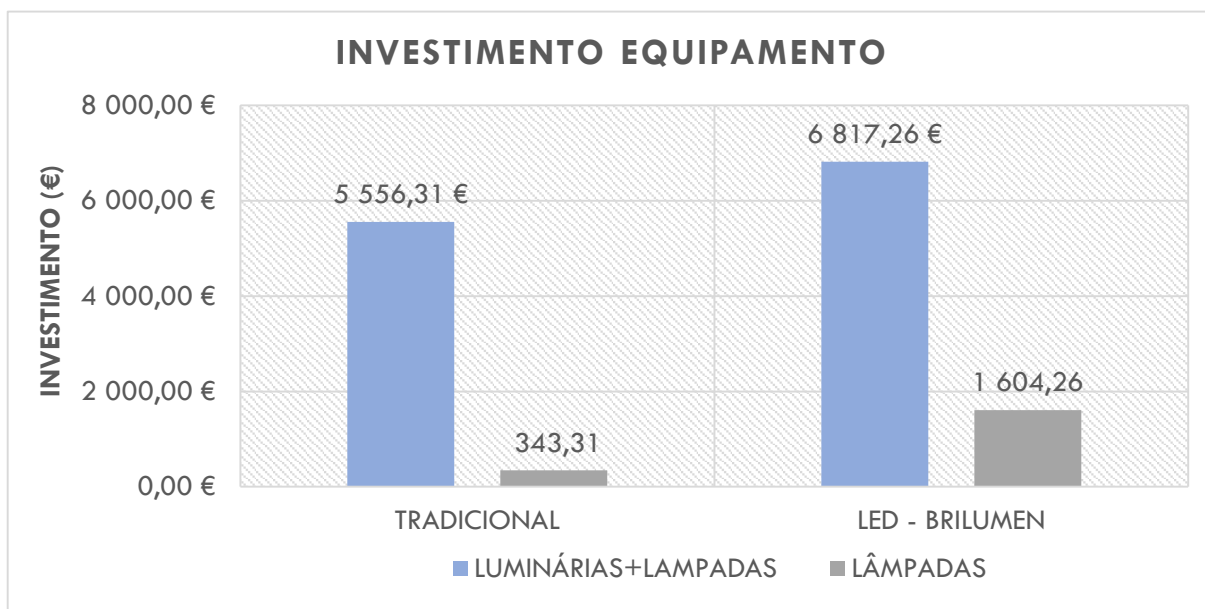


Figura 3-1 - Investimento do equipamento de iluminação no Escritório.

A Figura 3-2 apresenta o consumo anual mostra que os *LEDs* possuem um consumo muito reduzido comparativamente à iluminação tradicional de quase 80%.

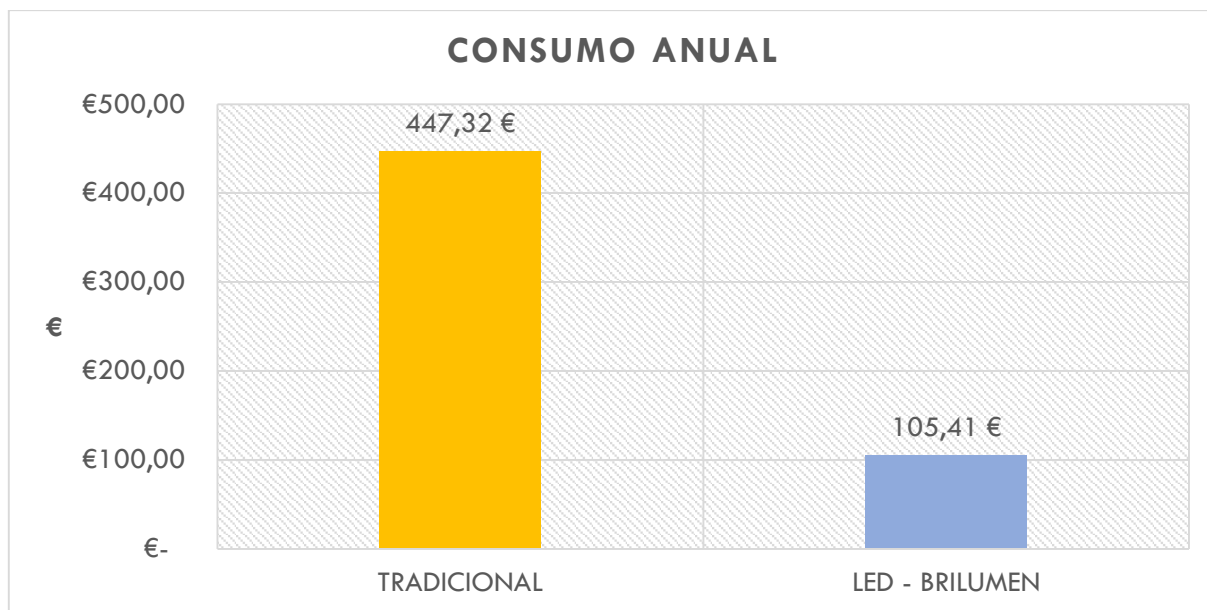


Figura 3-2 - Consumo anual de cada equipamento.

Para o cálculo do retorno do investimento em anos, dividiu-se a diferença dos investimentos pela diferença dos consumos como mostrado na Equação 3.1.

Desta forma aplicou-se a seguinte equação:

$$\text{Retorno (anos)} = \frac{I(\text{€}) - i(\text{€})}{C(\text{€}) - c(\text{€})} \quad (3.1)$$

A Figura 3-3 representa o investimento entre as duas tecnologias em estudo e mostra que a interseção das duas retas, quando o valor investido ao longo do tempo é igual, o tempo que demora a que tal aconteça é de aproximadamente quatro anos.

Após a análise da energia elétrica consumida, fez-se a média por mês dos valores (Tabela 3-9). Como não existiam dados suficientes para comparar o consumo em iluminação com o período de hora legal verão (último domingo de março até último domingo de outubro) e inverno (último domingo de outubro até último domingo de março), realizou-se a média dos valores de consumo verificados e comparou-se com o consumo médio da iluminação no período considerado em percentagem como se observa na Figura 3-4.

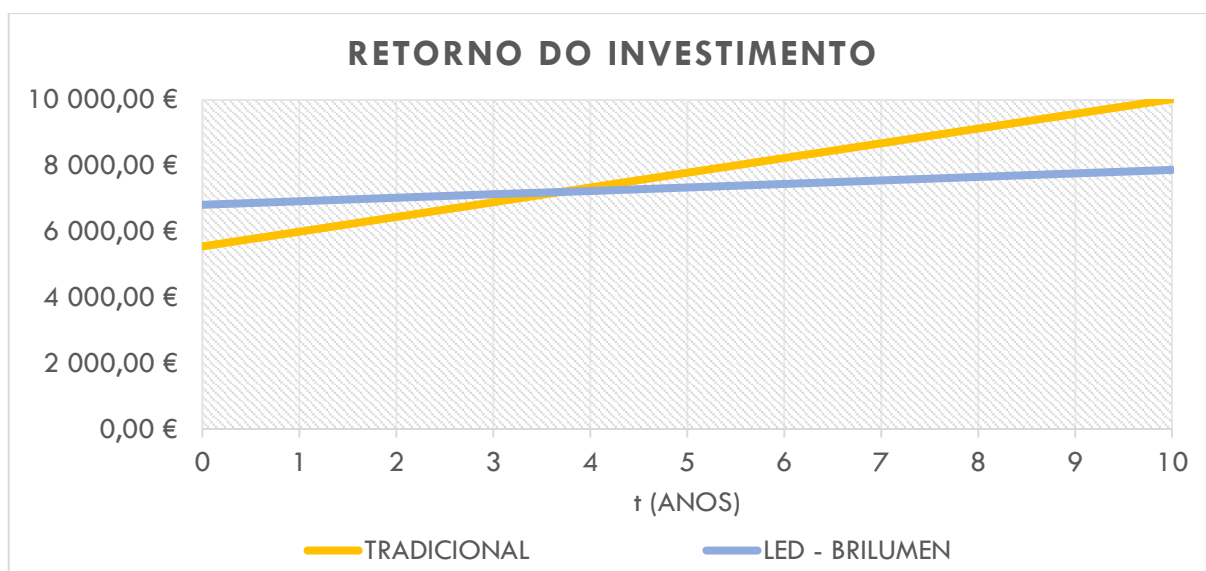


Figura 3-3 - Interseção do investimento de iluminação tradicional com LED.

Tabela 3-9 - Consumos por mês a partir de dezembro, início da utilização do escritório.

Mês	Dias	kWh	Fornecedora
Dezembro	31	191,31	EDP
Janeiro	31	222,59	EDP
Fevereiro	28	474,41	EDP
Março	31	867,50	EDP/IBERDROLA ³
Abril	30	400,22	IBERDROLA
Maio	31	384,96	IBERDROLA
Junho⁴	30	138,53	IBERDROLA
Julho	31	-	
Agosto	31	-	
Setembro	30	-	
Outubro	31	-	
Novembro	30	-	
Total		2 679,53	
Média		422,29	

³ Contrato com a EDP até 10 de Março e contrato com a IBERDROLA a partir de 11 de Março.

⁴ Considerou-se até dia 11 de junho.

Na construção da Figura 3-4 dividiu-se os valores de consumo de cada tecnologia por 12 meses por período verão/inverno. Os valores de elevada percentagem para iluminação *Tradicional* são justificados pela média realizada ser de apenas 6 meses e 11 dias, em que durante esse período foram consumidos valores elevados de energia pelos restantes equipamentos (portáteis, impressoras, ar condicionado, máquina de café...).

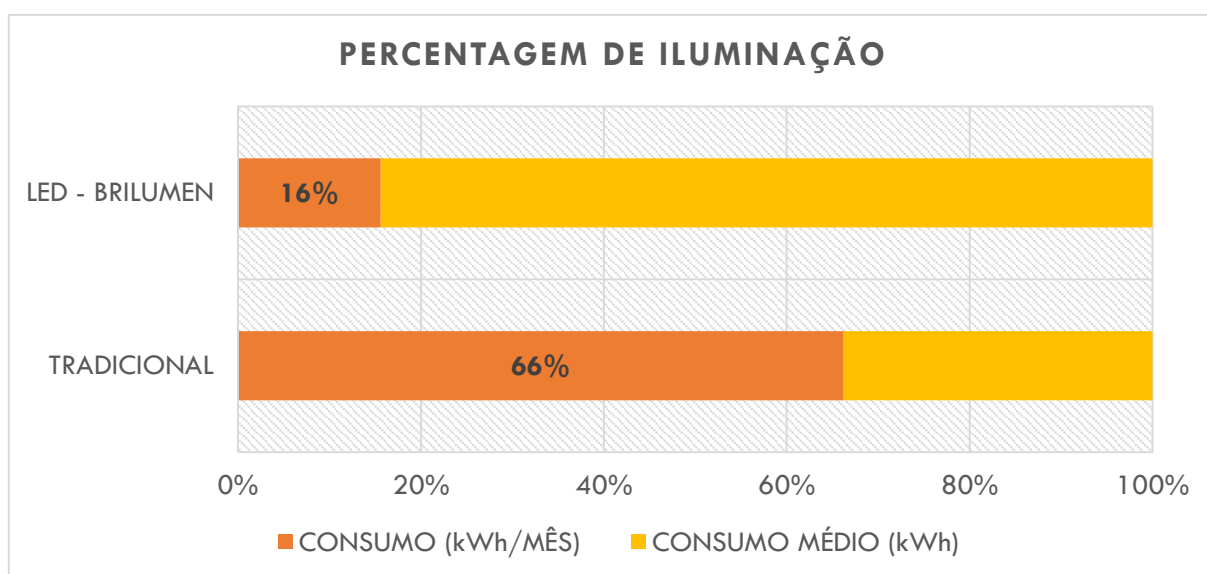


Figura 3-4 - Percentagem de iluminação face à totalidade da energia consumida.

O fator de emissão de carbono para os GEE, relativo ao CO₂ disponibilizado pela folha de cálculo do *GHG Protocol*, é 0,37 kg GEE/kWh. Para o EFC CO₂eq, considera-se 0,47 kg GEE/kWh de acordo com o Despacho n.º 17313/2008.

Visualizando a Figura 3-5 verifica-se que as emissões de GEE são elevadas na iluminação tradicional, devido ao seu elevado consumo. A instalação de *LED* permite alcançar reduções de emissão de GEE no valor de 80% devido ao seu reduzido consumo. Pelo fator de emissão médio apresentado pela calculadora *GHG Protocol* referente aos anos de 2007, 2008 e 2009, o valor que emitido com iluminação *Tradicional* é de 1,24 toneladas de dióxido de carbono por ano de consumo, quatro vezes superior à iluminação *LED* que emite 0,29 toneladas de dióxido de carbono no mesmo intervalo de tempo. Conforme o EFC do Despacho n.º 17313/2008, as emissões de *Tradicional* e *LED*, são de 1,58 e 0,37, respetivamente.

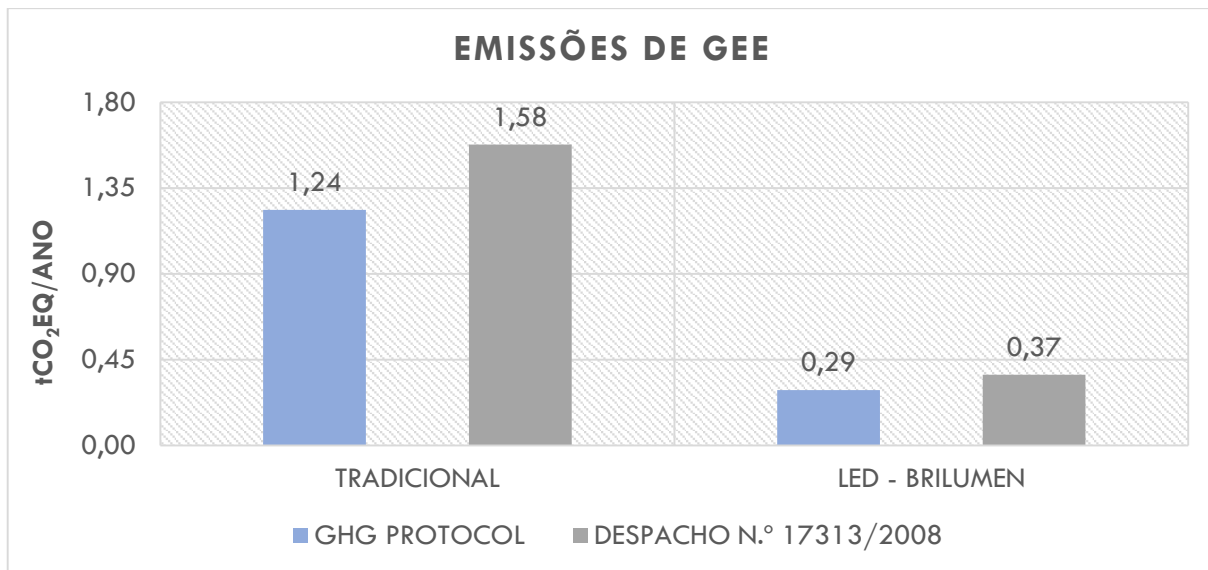


Figura 3-5 - Emissões de CO₂eq para cada equipamento.

3.1.4 Resultados DIALux

Através da planta do escritório disponibilizada pela *GENE Energy Systems* em CAD, foi importada para o *DIALux*. A disposição das áreas consideradas pode ser visualizada na Figura 3-6.



Figura 3-6 - Planta do escritório 13.1 do edifício Burgo.

Depois de adquirir as dimensões necessárias para a realização do cálculo pelo *DIALux*, foi utilizada uma ferramenta que permite a exportação de imagem em elevada resolução do cenário criado, para que seja mais facilmente percecionado o espaço envolvente criado.

Assim, de seguida serão mostradas as imagens exportadas. Como os modelos 3D de luminárias e lâmpadas da *Brilumen* não foram disponibilizadas tentou-se utilizar equipamentos equivalentes Philips.

Os requisitos da iluminação iluminância média (E_m) e uniformidade (U) correspondente ao cenário *Escritório* são: *Escritório e Copa*, $E_m > 500$ lux e $U_0 > 0,6$; *Entrada e Quartos de banho*, $E_m > 200$ lux e $U_0 > 0,4$; *Conferências*, $E_m > 500$ lux e $U_0 > 0,6$ (ETAP, 2012).

A destacar a não existência de muitos dos objetos que aparecem nas imagens de iluminação *Tradicional* devido ao elevado número de texturas em cada objeto, o que dificulta o cálculo luminotécnico, diminuindo o desempenho do processador e aumentando o tempo de espera até finalizar o cálculo.

A Figura 3-7 apresenta a *Entrada* com iluminação Tradicional (à esq.) e *LED* (à dir.). A grande diferença é a sua temperatura de cor mais baixa com *LED*.

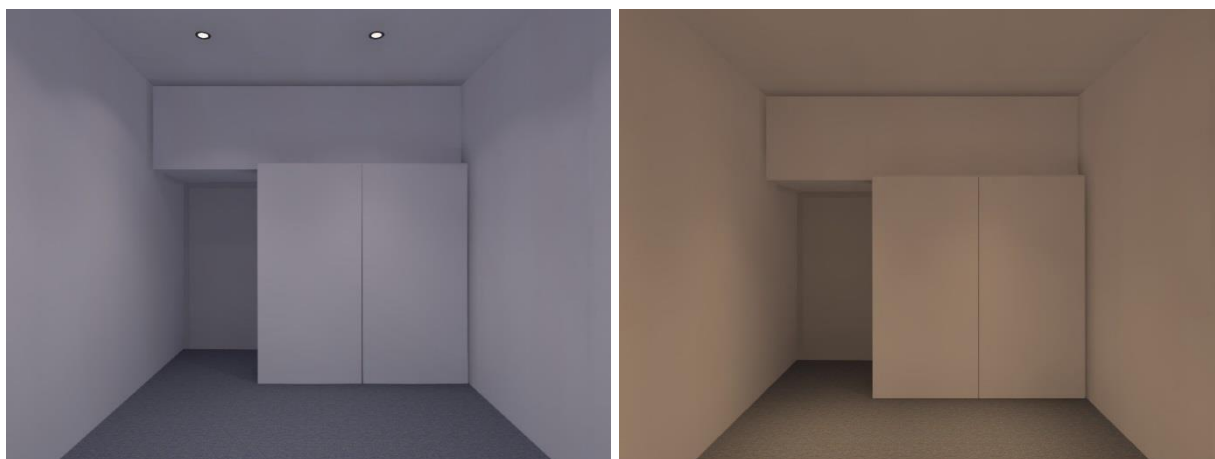


Figura 3-7 - Entrada do Escritório.

Na Figura 3-8 está representada a zona de cópias e de escritório com iluminação tradicional (à esq.) e *LED* (à dir.). De reparar que a luz indireta que incide no teto tem uma menor área, reduzindo os valores de iluminância do plano de trabalho. Uma forma a corrigir esta redução, sem alterar o número de luminárias, seria a iluminação direta com utilização de difusores para reduzir o encadeamento no plano de trabalho ou se possível a colocação de mais lâmpadas. Assim, os valores médios encontravam-se na ordem dos 300 lux, um pouco abaixo dos 500 lux recomendados pela norma.

Houve ainda a necessidade de ajustar o espectro de cores, elevando a temperatura de cor, para próximo dos 5 200 K.



Figura 3-8 - Pormenor da iluminação da zona de escritório.

Na sala de conferências de notar pela Figura 3-9 a importância das paredes divisórias, na influência da luz existente num determinado espaço. A luz do escritório influencia a luz emitida pelas lâmpadas da sala de conferências, não se conseguindo obter com precisão qual o verdadeiro valor de iluminância médio no plano de trabalho, apesar de este rondar os 300 lux com equipamento *LED*.

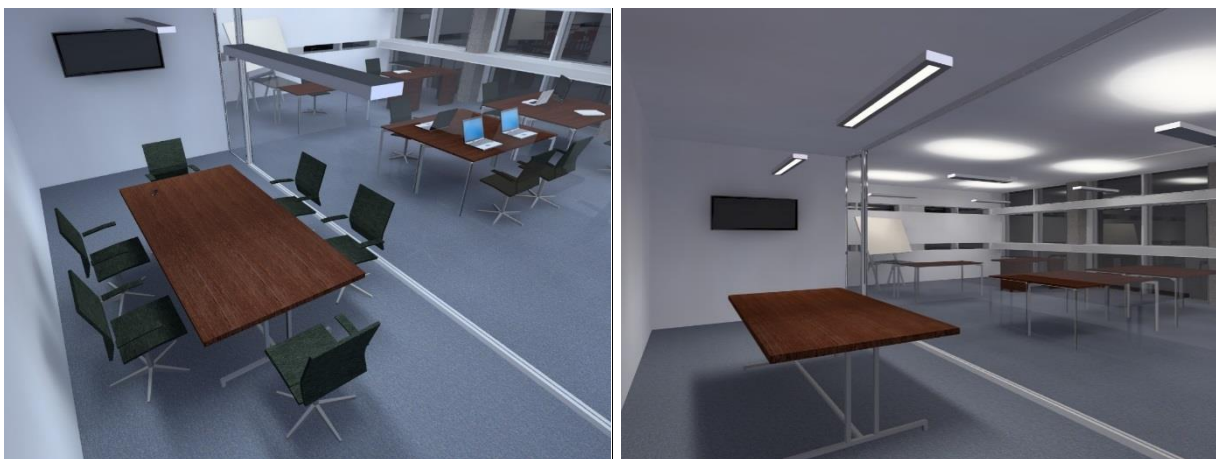


Figura 3-9 - Pormenor da zona de conferências, zona de escritório e interior da zona de conferências.

Na Figura 3-10 verifica-se que as cores são mais frias no caso do *LED*. A tela branca serviu de referência apesar de fazer parte dos objetos reais do escritório.



Figura 3-10 - Pormenor secretária localizada no escritório.

A Figura 3-11 (à esq.) representa o espelhamento efetuado pelo vidro divisório da sala de conferências. Na mesma figura (à dir.) mostra a entrada dos quartos de banho. Neste último não haverá comparação pois não foi possível importar este modelo de lâmpadas de outras marcas para estas luminárias.



Figura 3-11 - Pormenor na zona de escritório (à esq.) e a entrada dos quartos de banho (à dir.).

Por fim apresenta-se na Figura 3-12 uma visão geral da *Copa*. Do lado esquerdo a cozinha, com luz fluorescente e do lado direito com *LED*.

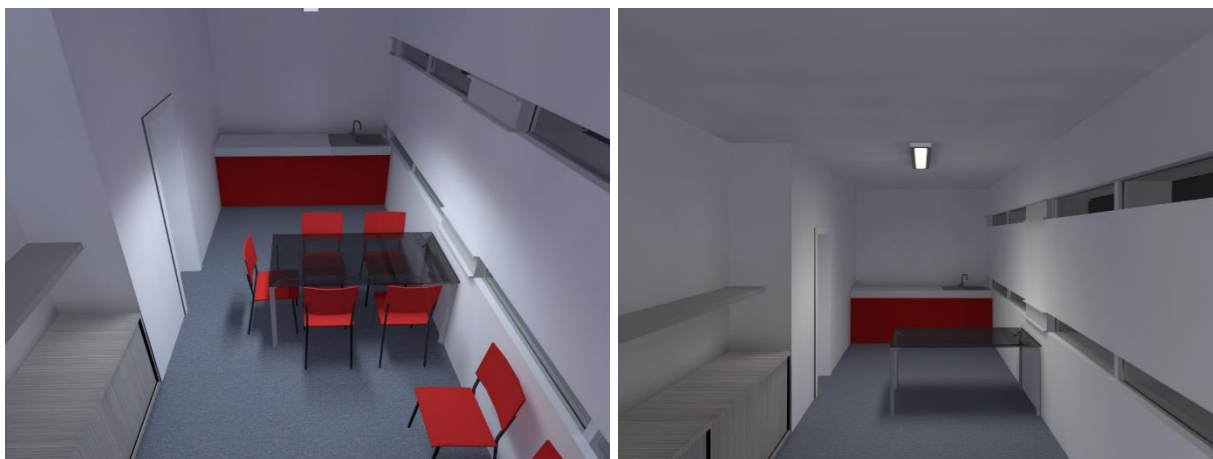


Figura 3-12 - Pormenor Copa.

3.2 Economia Gerada Indústria

As suposições consideradas neste subcapítulo são: como a potência contratada é BTE, admitiram-se preços médios dos diferentes fornecedores de energia, nos diferentes períodos de *Ponta*, *Cheia*, *Vazio* e *Super Vazio* de 0,11449 €/kWh, 0,10548 €/kWh, 0,093376 €/kWh, 0,083953 €/kWh, respetivamente. Feita a média ponderada do preço nos diferentes períodos, multiplicou-se pela energia consumida e pelos dias referentes ao verão e ao inverno.

Admite-se que a empresa trabalha de segunda a sábado, ou seja, um ano de utilização da iluminação tem em média 312 dias (182 dias de verão e 130 dias de inverno), considerando 26 dias por mês. Não se contabilizaram os feriados.

3.2.1 Iluminação Tradicional

O investimento inicial da instalação de luminárias foi de 28 452,00 €, sendo o custo mais elevado o da zona referente à área de produção devido à quantidade de luminárias necessárias para assegurar uma iluminância de acordo com a norma *EN 12464 - 1*. Os valores de custo de cada luminária e o seu custo total encontram-se na Tabela 3-10. Os preços apresentados das luminárias *Philips* são do catálogo de preços de 2012 (“Catálogo Iluminação Philips”, 2012). Não são considerados os custos das lâmpadas na compra das luminárias pois o preço das luminárias já inclui as lâmpadas.

Tabela 3-10 - Investimento inicial das luminárias com iluminação tradicional.

	€/Luminária	Luminárias
<i>Fábrica</i>	316,00 €	25 280,00 €
<i>Receção</i>	61,00 €	1 220,00 €
<i>Corredor</i>	61,00 €	488,00 €
<i>Escritório</i>	61,00 €	976,00 €
<i>Quartos de banho</i>	61,00 €	488,00 €
Total		28 452,00 €

A contabilização da potência de cada lâmpada instalada está apresentada na Tabela 3-11, onde o consumo mais elevado está associado ao grupo de luminárias *Fábrica* com 18 880,00 W. A potência total para o equipamento considerado é de 22 624 W.

Tabela 3-11 - Consumo instantâneo das lâmpadas e balastros das luminárias.

	Consumo lâmpadas (W)	Consumo balastro (W)	Consumo (W)
<i>Fábrica</i>	54	20	18 880
<i>Receção</i>	14	16	1440
<i>Corredor</i>	14	16	576
<i>Escritório</i>	14	16	1152
<i>Quartos de banho</i>	14	16	576
Total			22 624

Como pode verificar-se na Tabela 3-12 o consumo diário no verão é de 478,18 kWh e admitindo que em média o verão é constituído por 182 dias, o consumo por cada verão é de 87 028,03 kWh/ano.

Tabela 3-12 - Consumo de energia no verão - 7 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24	453,12
<i>Receção</i>	7	10,08
<i>Corredor</i>	2	1,15
<i>Escritório</i>	9	10,37
<i>Quartos de banho</i>	6	3,46
Total		478,18

Na Tabela 3-13 o consumo diário no inverno é de 482,21 kWh e admitindo que em média o inverno é constituído por 130 dias, o consumo por cada inverno é de 62 687,04 kWh/ano.

Tabela 3-13 - Consumo de energia no inverno - 5 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24	453,12
<i>Receção</i>	9	12,96
<i>Corredor</i>	4	2,30
<i>Escritório</i>	9	10,37
<i>Quartos de banho</i>	6	3,46
Total		482,21

Somando os dois períodos de 312 dias/ano, obtemos um consumo por ano de 149 715 kWh/ano.

Assim, no verão são consumidos 9 095,27 € e no inverno 6 393,73 € o que perfaz um valor de 15 489,00 € no consumo anual, para os perfis de utilização considerados.

3.2.2 Iluminação LED Philips

O investimento inicial da instalação de luminárias foi de 105 436,00 €, sendo o custo mais elevado o referente à área de produção devido ao elevado preço das luminárias e à quantidade de luminárias necessárias para assegurar uma iluminação de acordo com a norma *EN 12464 - 1*. Os valores de custo de cada luminária e o seu custo total encontram-se na Tabela 3-14. Os

preços apresentados das luminárias e de todas as lâmpadas *Philips* são do catálogo de preços de 2012 (“Catálogo Iluminação Philips”, 2012).

Tabela 3-14 - Investimento inicial das luminárias com iluminação tradicional.

	€/Luminária	Luminárias
<i>Fábrica</i>	1 078,00 €	77 616,00 €
<i>Receção</i>	535,00 €	10 700,00 €
<i>Corredor</i>	535,00 €	4 280,00 €
<i>Escritório</i>	535,00 €	8 560,00 €
<i>Quartos de banho</i>	535,00 €	4 280,00 €
Total		105 436,00 €

A contabilização da potência de cada lâmpada instalada está apresentada na Tabela 3-15, onde o consumo mais elevado está associado ao grupo de luminárias *Fábrica* com 7 344,00 W. A potência total para o equipamento considerado é de 8 072,00 W.

Tabela 3-15 - Consumo instantâneo das luminárias.

	Consumo luminárias (W)	Consumo (W)
<i>Fábrica</i>	102,00	7 344,00
<i>Receção</i>	14,00	280,00
<i>Corredor</i>	14,00	112,00
<i>Escritório</i>	14,00	224,00
<i>Quartos de banho</i>	14,00	112,00
Total		8 072,00

Pode verificar-se, de acordo com a Tabela 3-16, que o consumo diário no verão é de 181,13 kWh e admitindo que em média o verão é constituído por 182 dias, o consumo por cada verão é de 32 965,30 kWh/ano.

Tabela 3-16 - Consumo de energia no verão - 7 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24,00	176,26
<i>Receção</i>	7,00	1,96
<i>Corredor</i>	2,00	0,22
<i>Escritório</i>	9,00	2,02
<i>Quartos de banho</i>	6,00	0,67
Total		181,13

Na Tabela 3-17 o consumo diário no inverno é de 181,91 kWh e admitindo que em média o inverno é constituído por 130 dias, o consumo por cada inverno é de 23 648,56 kWh/ano.

Tabela 3-17 - Consumo de energia no inverno - 5 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24,00	176,26
<i>Receção</i>	9,00	2,52
<i>Corredor</i>	4,00	0,45
<i>Escritório</i>	9,00	2,02
<i>Quartos de banho</i>	6,00	0,67
Total		181,91

Somando os dois períodos de 312 dias/ano, obtemos um consumo por ano de 56 613,86 kWh/ano.

Assim, no verão são despendidos 3 445,19 € e no inverno 2 412,02 € o que perfaz um valor de 5 857,21 € no consumo anual, para os perfis de utilização considerados.

3.2.3 Iluminação LED Brilumen

O investimento inicial da instalação de luminárias foi de 35 130,32 €, sendo o custo mais elevado o referente à área fabril devido à quantidade de luminárias necessárias para assegurar uma iluminação de acordo com a norma EN 12464 - 1. Os valores de custo de cada luminária e o seu

custo total encontram-se na Tabela 3-18. Os preços apresentados das luminárias *Aquila* e das lâmpadas *Brilumen* são do catálogo de preços de 2013 («Catálogo BRILUMEN», 2013). Como a *Brilumen* não comercializa o mesmo tipo de luminárias instaladas nas áreas da administração da *TuboTech*, no cenário tradicional, fez-se o estudo comparativo contabilizando o custo do conjunto das luminárias *Philips* no valor de 61,00 € com as lâmpadas *Brilumen* de 28,19 €. O investimento inicial desta solução é de 35 117,52 €.

Tabela 3-18 - Investimento inicial das luminárias *Philips* com lâmpadas *Brilumen*.

	€/Luminária	Luminárias	€/Lâmpada	Lâmpadas
<i>Fábrica</i>	362,25 €	26 082,00 €	-	-
<i>Receção</i>	61,00 €	1 220,00 €	28,19 €	2 255,2 €
<i>Corredor</i>	61,00 €	488,00 €	28,19 €	902,08 €
<i>Escritório</i>	61,00 €	976,00 €	28,19 €	1 804,16 €
<i>Quartos de banho</i>	61,00 €	488,00 €	28,19 €	902,08 €
Total		29 254,00 €		5 863,52 €

A contabilização da potência de cada lâmpada instalada está apresentada na Tabela 3-19, onde o consumo mais elevado está associado ao grupo de luminárias *Fábrica* com 8 640,00 W. A potência total para o equipamento considerado é de 10 096,00 W.

Pode verificar-se na Tabela 3-20 que o consumo diário no verão é de 217,10 kWh e admitindo que em média o verão é constituído por 182 dias, o consumo por cada verão é de 39 512,93 kWh/ano.

Tabela 3-19 - Consumo instantâneo das luminárias.

	Consumo luminárias (W)	Consumo (W)
<i>Fábrica</i>	120,00	8 640,00
<i>Receção</i>	16,00	560,00
<i>Corredor</i>	16,00	224,00
<i>Escritório</i>	16,00	448,00
<i>Quartos de banho</i>	16,00	224,00
Total		10 096,00

Tabela 3-20 - Consumo de energia no verão - 7 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24,00	207,36
<i>Receção</i>	7,00	3,92
<i>Corredor</i>	2,00	0,45
<i>Escritório</i>	9,00	4,03
<i>Quartos de banho</i>	6,00	1,34
Total		217,10

Na Tabela 3-21 o consumo diário no inverno é de 218,67 kWh e admitindo que em média o inverno é constituído por 130 dias, o consumo por cada inverno é de 28 427,36 kWh/ano.

Tabela 3-21 - Consumo de energia no inverno - 5 meses.

	Horas/dia	Consumo (kWh)
<i>Fábrica</i>	24,00	207,36
<i>Receção</i>	9,00	5,04
<i>Corredor</i>	4,00	0,90
<i>Escritório</i>	9,00	4,03
<i>Quartos de banho</i>	6,00	1,34
Total		218,67

Somando os dois períodos de 312 dias/ano, obtemos um consumo por ano de 67 940,29 kWh/ano.

De acordo com os valores de preços referidos anteriormente na *Iluminação Tradicional*, no verão são despendidos 4 129,48 € e no inverno 2 899,43 € o que perfaz um valor de 7 028,92 € no consumo anual, para os perfis de utilização considerados.

3.2.4 Comparação de resultados

Por fim foi realizada uma comparação entre os equipamentos considerados relativamente ao investimento inicial, consumo anual, percentagem de iluminação por cada equipamento e as emissões de GEE.

A Figura 3-13 apresenta o investimento, tendo em conta as luminárias. Como se pode verificar o maior investimento pertence à fornecedora Philips, três vezes superior à *Brilumen* e quatro vezes superior à iluminação tradicional.

A Figura 3-14 apresenta o consumo anual e mostra que os *LEDs* possuem um consumo muito reduzido comparativamente à iluminação tradicional de quase 60%.

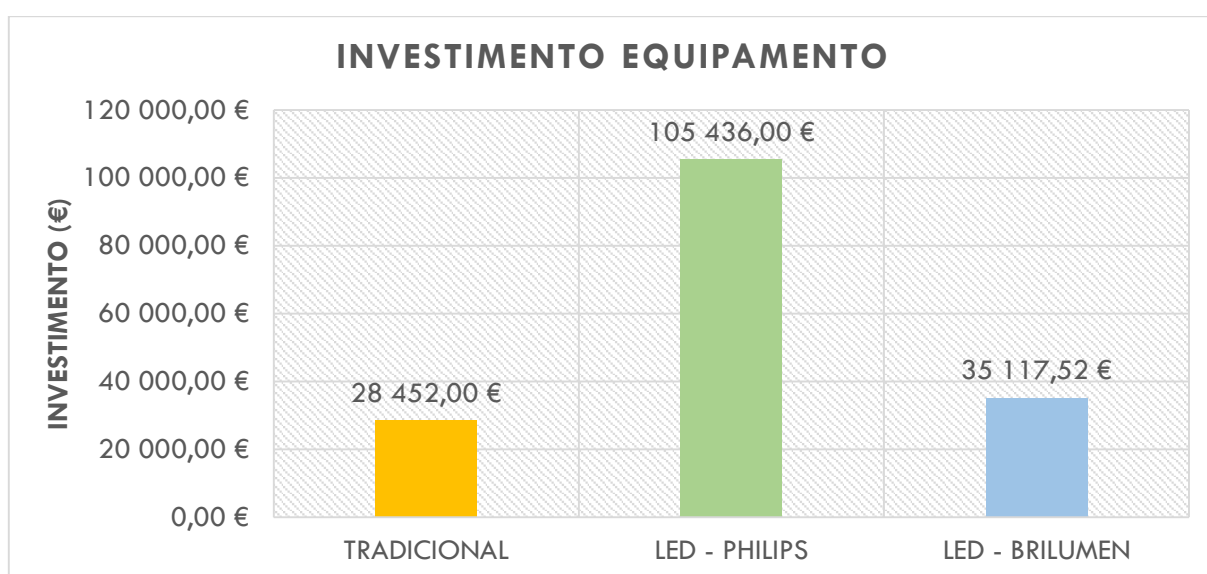


Figura 3-13 - Investimento em cada equipamento.

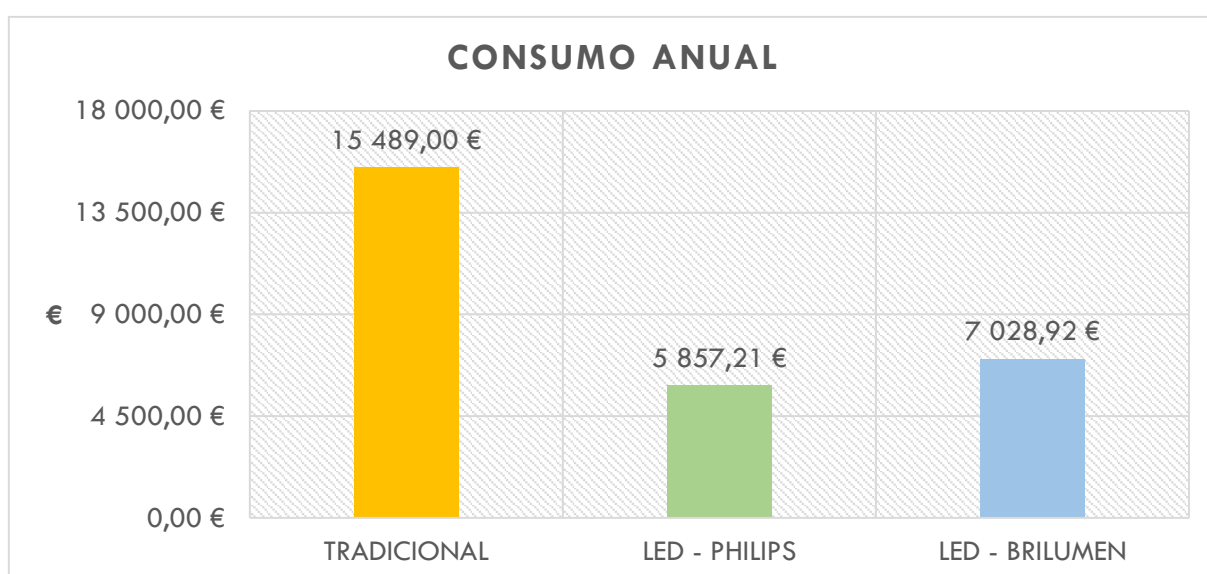


Figura 3-14 - Consumo anual de cada equipamento.

A Figura 3-15 representa o investimento entre as duas tecnologias em estudo e mostra que a interseção das duas retas, corresponde ao período de retorno, quando o valor investido ao longo do tempo é igual à tecnologia comparada. O tempo que demora a que tal aconteça comparando a tecnologia tradicional com o *LED Brilumen* é de aproximadamente nove meses. Como o valor investido no caso dos *LED Philips* é muito elevado, o retorno do investimento é também superior. Esta figura foi criada tendo em conta o aumento de energia a uma taxa de 2% por ano.

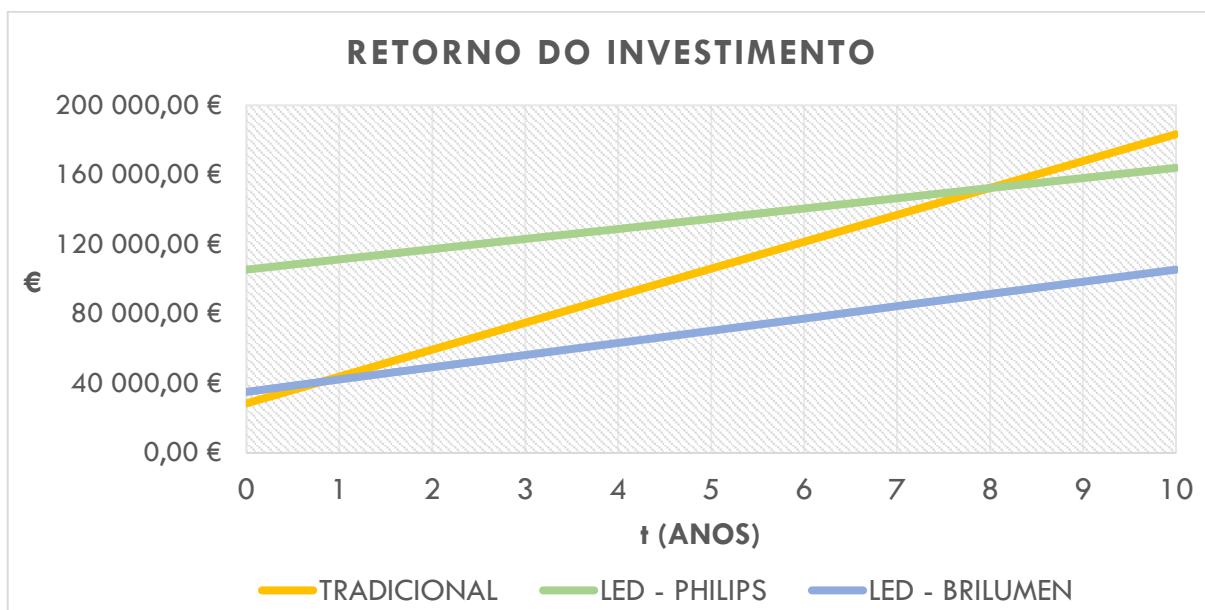


Figura 3-15 - Gráfico representativo da interseção do investimento de iluminação tradicional com LED.

Para este cenário, como não havia um histórico de faturação, utilizaram-se valores de consumo de energia elétrica, apresentados na Tabela 3-22, para uma indústria idêntica mas de menores dimensões para que o consumo referente à iluminação correspondesse a 5 a 7% do consumo global, face ao total de consumido pelo restante equipamento (Figura 3-16). As marcas de *LED* atingiram percentagens de 3% aproximadamente face ao consumo de energia elétrica total.

A Figura 3-16 representa a percentagem de consumo de eletricidade em iluminação. Em média o consumo em iluminação nas indústrias é de 5% a 7% do consumo total, sendo uma das medidas de redução energética a substituição por sistemas mais eficientes (ADENE, 2010). Posto isto, pode-se observar que os sistemas de iluminação *LED* considerados ficam abaixo da percentagem média de consumo, onde apenas de 3% do consumo de eletricidade total pertence aos sistemas de iluminação.

Tabela 3-22 - Consumos da TuboTech durante um ano.

Mês	Dias	kWh
<i>Janeiro</i>	31	20014,60
<i>Fevereiro</i>	28	22610,00
<i>Março</i>	31	21986,80
<i>Abril</i>	30	19321,10
<i>Maio</i>	31	16655,40
<i>Junho</i>	30	14930,20
<i>Julho</i>	31	16368,50
<i>Agosto</i>	31	17789,70
<i>Setembro</i>	30	13323,75
<i>Outubro</i>	31	13365,55
<i>Novembro</i>	30	15076,50
<i>Dezembro</i>	31	18264,70
Total		209706,80
Média		17475,57

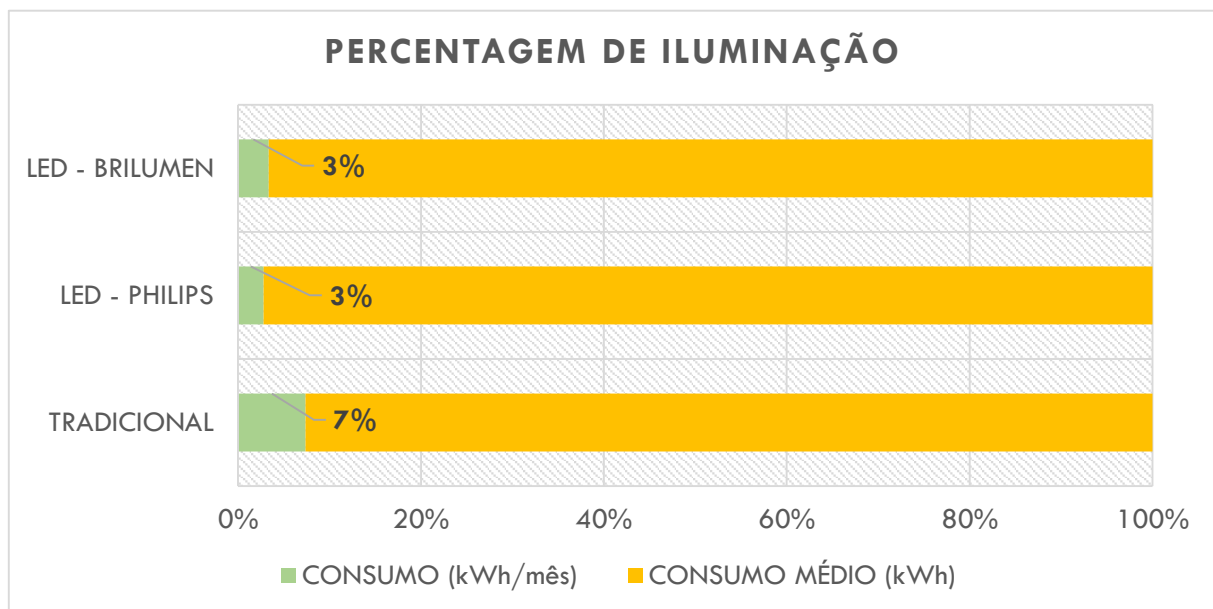


Figura 3-16 - Percentagem de iluminação face à totalidade da energia consumida.

O fator de emissão de carbono para os GEE, relativo ao CO₂ disponibilizado pela folha de cálculo do *GHG Protocol*, é 0,37 kg GEE/kWh. Para o EFC CO₂eq, considera-se 0,47 kg GEE/kWh de acordo com o Despacho n.º 17313/2008.

Visualizando a Figura 3-17, as emissões de GEE são elevadas na iluminação tradicional devido ao seu elevado consumo. A instalação de *LED* permite alcançar reduções de emissão de GEE no valor de 60% devido ao seu reduzido consumo. Pelo fator de emissão médio apresentado pela calculadora *GHG Protocol*, o valor emitido com iluminação *Tradicional* é de 55,13 toneladas de dióxido de carbono por ano de consumo, aproximadamente três vezes superior à iluminação *LED* da Philips que emite 20,85 toneladas de dióxido de carbono no mesmo intervalo de tempo e duas vezes superior ao equipamento da Brilumen cuja emissão é de 25,02. Conforme o EFC do Despacho n.º 17313/2008, as emissões de *Tradicional*, *LED - Philips* e *LED - Brilumen* são de 70,37, 26,61 e 31,93 toneladas de dióxido de carbono, respetivamente.

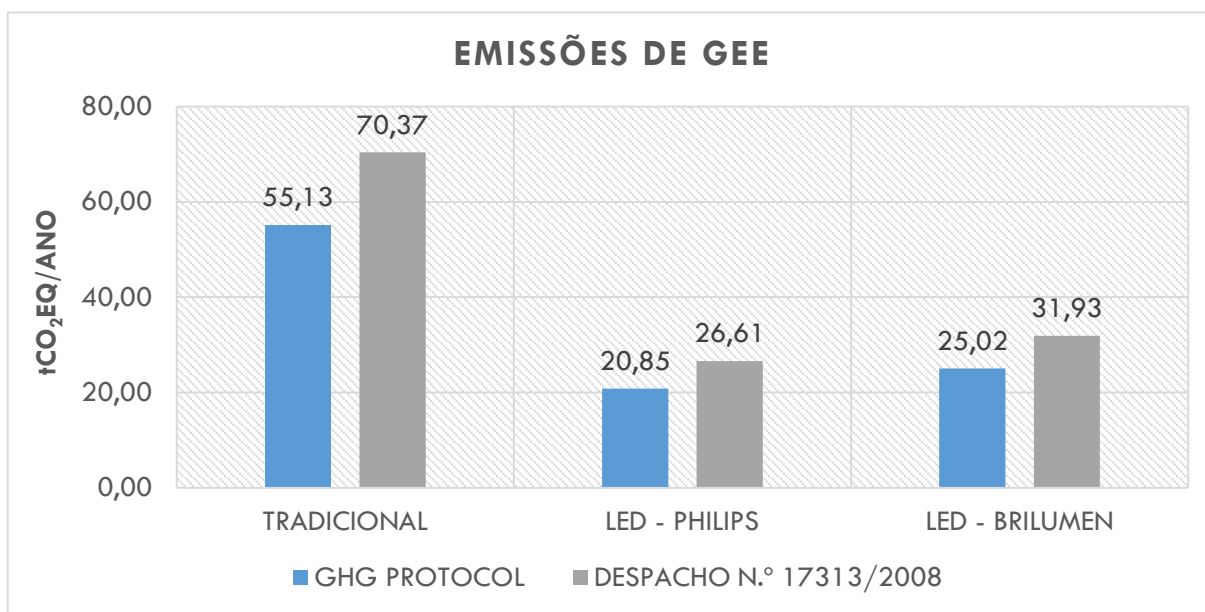


Figura 3-17 - Emissões de CO₂ para cada equipamento comparado.

3.2.5 Resultados DIALux

Foi criado no *DIALux* uma planta da instalação industrial e foram inseridos todos os dados referentes ao dimensionamento da *TuboTech*, mostrado na Figura 3-18, que mostra todas as divisões já com instalação. Como a *TuboTech* foi criada de raiz, também foram colocadas luminárias de exterior, para iluminação noturna, visto a fábrica estar em funcionamento nas 24h diárias. Foi tido em atenção a criação de um logotipo para a empresa como se pode ver na Figura 3-19 (à dir.).



Figura 3-18 - Planta do edifício de administração da TuboTech (à esq.) e a planta de toda a fábrica (à dir.).

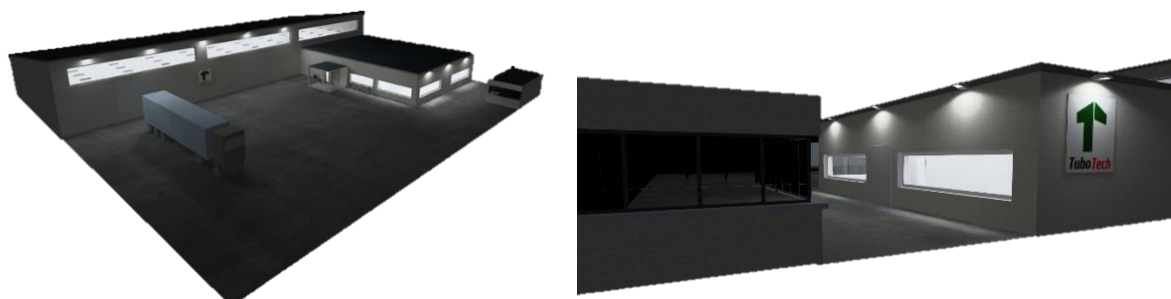


Figura 3-19 - Pormenor da instalação industrial TuboTech (à esq.) e entrada da TuboTech (à dir.).

Os requisitos da iluminação iluminância média (E_m) e uniformidade (U) correspondente ao cenário *Indústria* são: *Fábrica*, $E_m > 750$ lux e $U_0 > 0,7$; *Escrutório*, $E_m > 500$ lux e $U_0 > 0,6$; *Receção*, $E_m > 300$ lux e $U_0 > 0,6$; *Corredor* e *Quartos de banho*: $E_m > 200$ lux e $U_0 > 0,4$ (ETAP, 2012).

Na iluminação tradicional foram utilizadas lâmpadas T5 fluorescentes tubulares em todos os espaços. Para os espaços localizados na zona da administração foram utilizadas luminárias de superfície de quatro lâmpadas T5 tubulares de 14 W, de 0,60 m de comprimento.

Na iluminação *LED*, apenas se pôde realizar o cálculo através do *DIALux* com os modelos 3D de luminárias disponibilizadas pela Philips. Foram utilizadas luminárias com características o mais idênticas possível, suspensas na fábrica e à superfície no edifício de administração. Esta

consideração teve como objetivo o de minimizar custos de instalação, embora não sejam consideradas no presente trabalho, mas que devem ser consideradas aquando da fase de execução de projeto.

Para a realização do cálculo de iluminação pelo equipamento da *Brilumen*, considerou-se o mesmo número de luminárias pelas instaladas da Philips.

As janelas foram criadas a pensar na entrada de luz natural durante o dia permitindo reduzir o número de horas de utilização de iluminação artificial e assim reduzir o consumo de energia e emissões de GEE relativas ao consumo.

De seguida serão comparadas imagens das áreas consideradas neste cenário com *Tradicional* e *LED Philips*.

Na Figura 3-20 é apresentado o resultado após o cálculo de textura e emissão de luz no corredor para as duas tecnologias. Podemos verificar que a dispersão de luz é muito semelhante e que o espaço se encontra uniformemente iluminado.

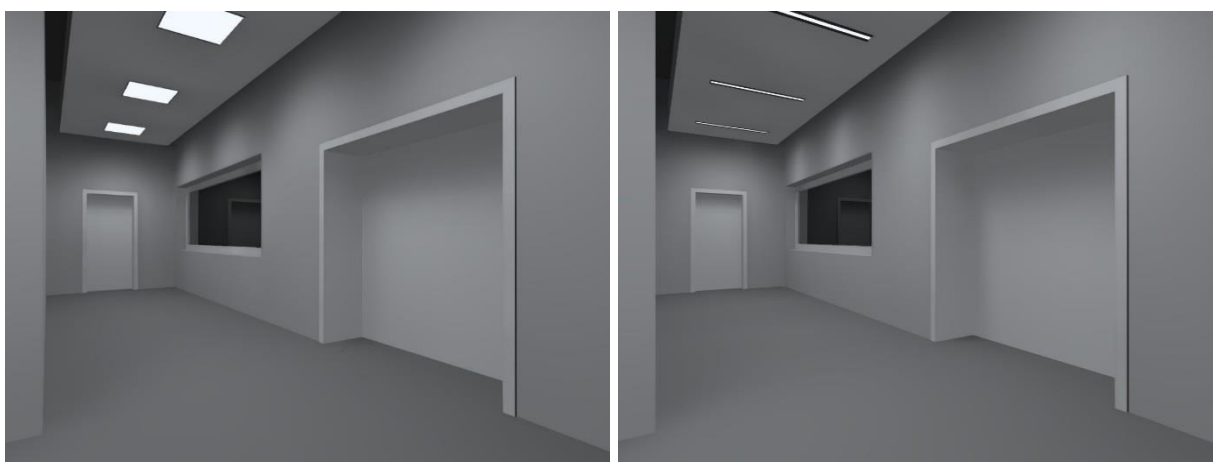


Figura 3-20 - Corredor do edifício da administração.

O escritório é apresentado na Figura 3-21 com equipamento *Tradicional* (à esq.) e *LED* (à dir.).

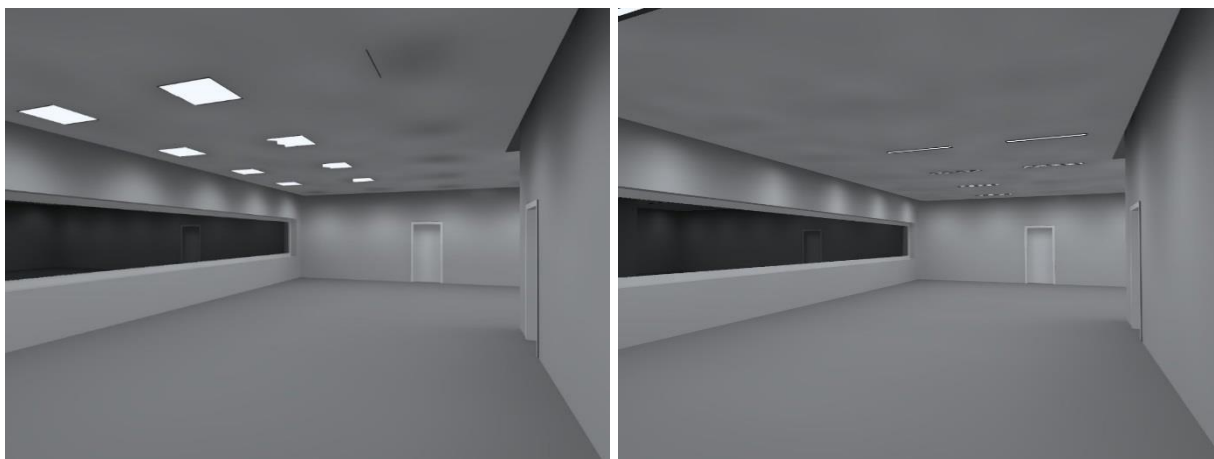


Figura 3-21 - Escritório do edifício de administração.

Na Figura 3-22 pode-se observar que há muitas semelhanças entre os equipamentos *Tradicional* (à esq.) e *LED* (à dir.).

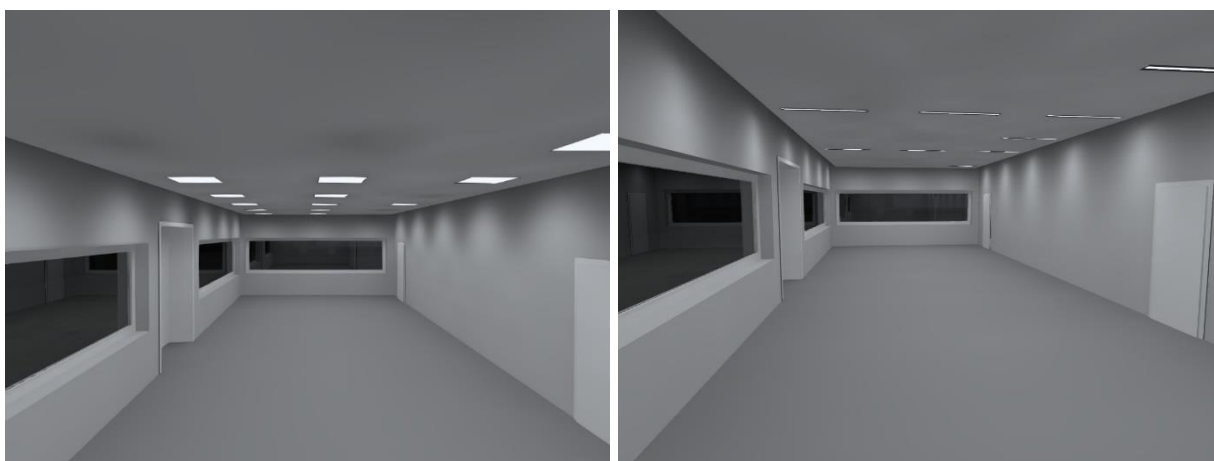


Figura 3-22 - Recepção do edifício de administração.

A Figura 3-23 (à esq.) apresenta o interior do quarto de banho no edifício de administração com tradicional (à esq.) e *LED* (à dir.). De salientar a zona de sombra mais intensa com *LEDs* nas armaduras dos compartimentos das sanitas, devido à sua posição sobre as mesmas.

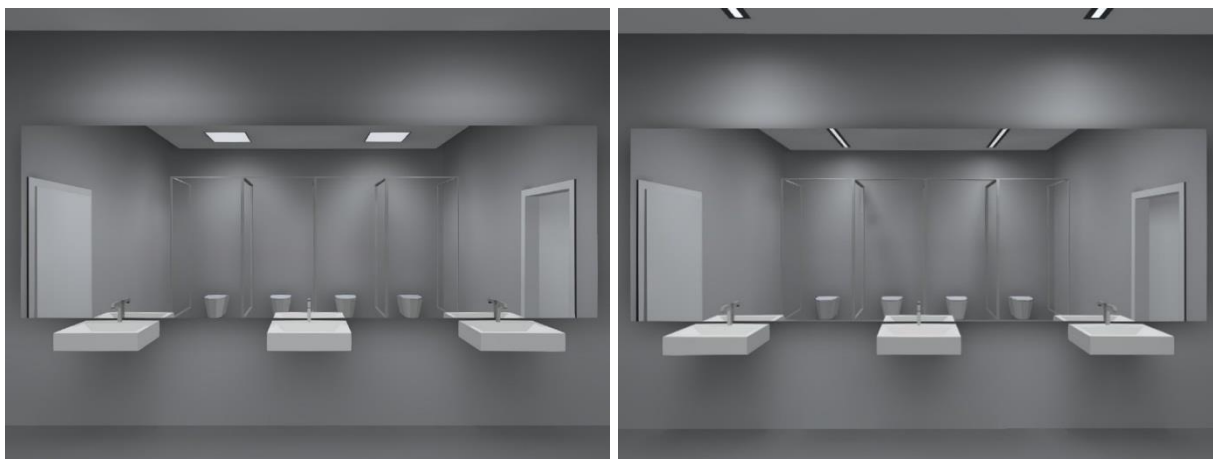


Figura 3-23 - Interior do quarto de banho.

Por fim a fábrica é apresentada na Figura 3-24 com equipamento *Tradicional* e *LED*. Novamente não são evidentes diferenças entre a iluminação dos equipamentos.

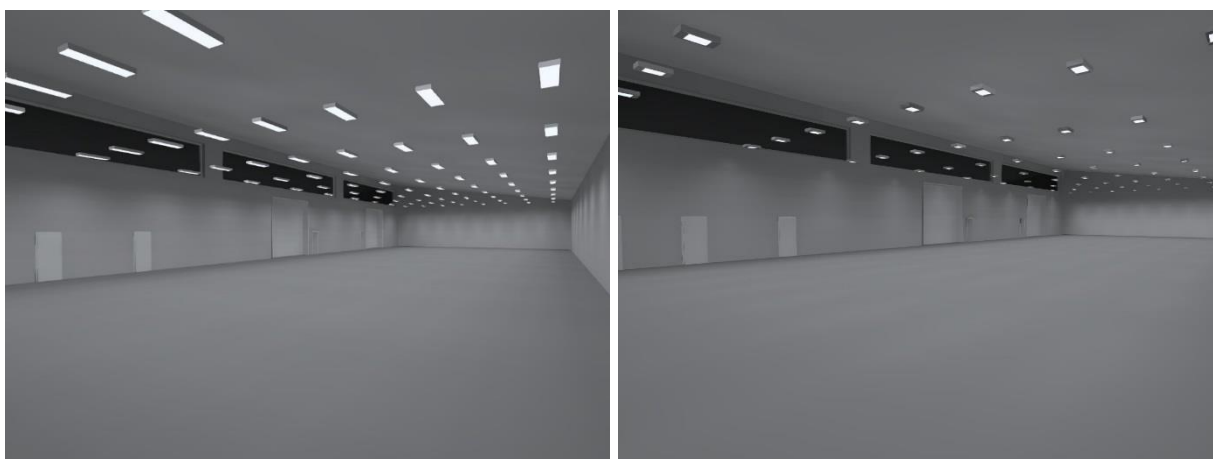


Figura 3-24 - Interior da fábrica.

4 Conclusões

O trabalho realizado permitiu avaliar às tecnologias baseadas em LED, concluindo-se que a iluminação *LED* é uma alternativa à iluminação tradicional principalmente em indústrias que se encontrem em funcionamento contínuo.

A análise do cenário *Escritório* mostra que é necessário dar importância ao consumo de energia elétrica pela iluminação no setor serviços, segundo a RCM n.º 80/2008, em média 20% do consumo mensal faturado é proveniente da iluminação. No cenário *Indústria* o consumo mensal faturado proveniente da iluminação é de 5% a 7%. Os planos de ação aprovados em 2008 e 2013 desafiam as empresas a reduzirem a quantidade de GEE emitidos e assim irá haver uma maior sensibilização para a substituição da iluminação como se verifica pela redução dos valores de EFC ao longo dos anos.

Desta forma depois de analisados os resultados para o cenário escritório foi possível concluir que a instalação de equipamentos *LED* nesta área reduz para 16% o consumo mensal faturado através da utilização dos produtos da fornecedora *Brilumen*. Os resultados da eletricidade consumida pelos equipamentos de iluminação *Tradicional* encontram-se muito acima da média, nos 66%, justificados quer pelo período de faturação, quer pela utilização dos equipamentos que varia de consoante o período sazonal (verão e inverno).

Analizados os resultados referentes ao consumo da utilização da iluminação no cenário *Escritório* pôde-se concluir que a utilização de equipamento *LED* é bastante vantajosa, não só a nível económico mas também a nível ambiental. Segundo os cálculos realizados pela aplicação informática DIALux, a luz emitida é aceitável, embora não satisfaçam na totalidade a iluminância recomendada pela norma *EN 12464 -1* para iluminação de interiores. De ressaltar que as lâmpadas utilizadas na aplicação não eram da marca *Brilumen*.

No cenário *Indústria* a utilização de iluminação *LED* é recomendada pois o consumo destas é reduzido em função do número de horas de trabalho ser elevado.

Com a crescente preocupação Nacional sobre a redução dos GEE, através da criação de planos de eficiência energética e redução de GEE, pôde-se reduzir o fator de emissão de 0,47 kgCO₂eq/kWh nos anos 2001 - 2006 para 0,37 kgCO₂eq/kWh nos anos 2007 - 2009.

Desta forma, no cenário *Indústria* conseguir-se-ia uma redução de 15,24 toneladas de GEE por ano, para equipamento *Tradicional*, 5,76 para *LED Philips* e 6,91 para *LED Brilumen*.

No cenário *Escritório* conseguir-se-ia uma redução de 0,34 toneladas de GEE por ano, para equipamento *Tradicional* e 0,08 toneladas para *LED Brilumen*.

A escolha da tecnologia *LED* face à *Tradicional* permite uma poupança anual de 341,91 € para o cenário Escritório; 9 631,79 € para *LED PHILIPS* e 8 460 € para *LED Brilumen* para o cenário Indústria.

Relativamente à redução das emissões anuais pela escolha da tecnologia *LED* comparativamente à *Tradicional*, no cenário *Indústria* utilizando o valor mais recente de emissão de GEE em relação ao consumo, alcançar-se-iam valores de 34,28 tCO₂eq com a instalação de *LED PHILIPS* e 30,11 tCO₂eq com instalação de *LED Brilumen*. No cenário escritório conseguir-se-iam valores de redução de 0,95 tCO₂eq.

São inúmeras as aplicações em que a tecnologia *LED* pode melhorar a vida diária dos consumidores, mas devido ao seu elevado custo ainda é uma tecnologia que necessita de algum desenvolvimento, nomeadamente na manutenção da temperatura junto à *PCB* e no reduzido fluxo luminoso emitido, nalguns casos. Apenas com a aceitação no mercado o *LED* conseguirá ser produzido em quantidades elevadas e assim reduzir o seu preço.

Com a contrapartida de ter um custo mais elevado, este é explicado pela preferência da iluminação tradicional, pois já existe no mercado há muitos anos e pelo baixo preço desta devido à produção em massa. Tal como um produto novo, é necessário ter consumidores a comprar para que o processo de manufatura seja otimizado levando à produção em massa destes equipamentos e como consequência reduzir os preços de venda. O que pode levar os consumidores a comprar é a promessa de que os *LEDs* são mais eficientes, têm um consumo muito reduzido e emitem muito menos *GEE*.

O trabalho realizado permitiu observar que a instalação de *LED* possibilita uma redução de consumo e emissões significativos. Mesmo resultando em valores reduzidos é importante realçar que o consumo estará inteiramente relacionado com os hábitos dos consumidores, sendo fundamental a sensibilização e informação na mudança dos mesmos para a sua redução.

5 Avaliação do trabalho realizado

5.1 Objetivos Realizados

Demonstrou-se que o *LED* é uma alternativa à iluminação *Tradicional* relativamente aos custos de investimento, graças ao seu reduzido consumo. Também se conseguiu mostrar que as emissões de GEE relativas à sua utilização são muito reduzidas face à iluminação *Tradicional*.

5.2 Outros Trabalhos Realizados

A par do trabalho foi realizado uma pasta em *Excel* que tenta facilitar a inserção de dados aquando das visitas dos comerciais ao cliente auxiliando posteriormente à leitura e decisão, perdendo menos tempo por operação. Também foi realizada a simulação em 3D dos dois cenários para que fosse de fácil perceção o espaço tanto do cenário *Escritório* como *Indústria*.

Foi ainda realizado um argumentário sobre esta tecnologia *LED* para fácil perceção no serviço comercial da empresa, que é uma das fornecedoras da *Brilumen*.

5.3 Limitações e Recomendações

As limitações encontradas foram as seguintes:

- Muitos produtores de lâmpadas não têm informações técnicas disponíveis ao público. Se as tiverem, apenas entregam aquando da compra do equipamento ou o interesse pela compra. É um processo demorado quando se pretende esse tipo de informação o mais rápido possível.
- Algumas empresas que concorrem diretamente com produtoras e fornecedoras de iluminação *LED*, como as produtoras de soluções eficientes de lâmpadas fluorescentes tubulares, mostram casos negativos na instalação do *LED* baseados em suposições sem referências que possam comprovar qual a origem da malformação. Estas suposições levam à falta de clareza do utilizador aquando da escolha da melhor lâmpada.
- A falta de valores de consumo de energia elétrica no cenário *Escritório*, que pudessem perfazer no mínimo 12 meses provocou uma menor veracidade nos valores de consumo pela energia elétrica.
- As designações técnicas de muitos modelos de lâmpadas não se encontram corretas, ou são muitas vezes exageradas, principalmente em lojas na internet que se dedicam à venda de equipamento de iluminação em páginas de comércio eletrónico.

- Muitos cálculos não são esclarecidos aquando da explicação do funcionamento das calculadoras de pegada de carbono apresentadas em muitas páginas *online*.
- O *DIALux* EVO apresentou algumas falhas aquando do cálculo das luminárias no escritório e da falta da avaliação energética existente no *DIALux* 4.11. Muitas luminárias não aparecem aquando da utilização da captura de imagem *RayTrace*.
- Caso não existam luminárias nas bases de dados compatíveis com o *DIALux*, a conversão de um ficheiro de modelo de luminária em 3D para a extensão de ficheiros do *DIALux* apenas é possível recorrendo a uma aplicação informática de configuração de luminárias de elevado custo.
- Nas principais fornecedoras de energia são apresentadas aos clientes informações erradas na fatura. O valor de emissão de CO₂ por vezes encontra-se incorreto e é confundido com CO₂eq. Nalgumas faturas é apresentada a quantidade emitida, usando um fator desatualizado. Além disto, os valores de produção da energia face a um determinado período, são muitas vezes diferentes.

5.3.1 Recomendações

No cálculo do retorno de investimento seria importante incluir também o custo de manutenção das lâmpadas. Desta forma o tempo de retorno seria mais curto graças ao elevado tempo de vida útil das lâmpadas *LED*.

A importância da existência de uma entidade que regule a informação técnica na venda de lâmpadas importadas no nosso país. Este deveria obrigar a colocação de informação de fluxo luminoso e eficiência energética na rotulagem das lâmpadas que são comercializadas em território português.

A criação de uma entidade reguladora que permita monitorizar o consumo da energia final, de forma a otimizar o consumo de energia primária, possibilitando a diminuição da importação de energia, tomando como principais fontes de energia as energias renováveis.

Compatibilidade de *DIALux* EVO com projetos *DIALux* 4.11 e vice-versa. Caso se pretenda realizar uma avaliação energética (que apenas existe no *DIALux* 4.11, o tempo despendido seria menor, pois a disposição dos botões é diferente e até mesmo a navegação no espaço é diferente).

5.3.2 Trabalhos Futuros

Seria interessante a realização de um estudo que relacionasse a iluminação artificial com a iluminação natural, tendo em conta a sua utilização em diferentes postos de trabalho com o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade e as emissões de GEE associadas, num espaço ou edifício. Outra implementação tendo em vista a otimização de energia seria a instalação de sensores que permitissem a diminuição do consumo desnecessário de energia elétrica pela iluminação. É também de referir a relação do conforto e bem-estar dos utilizadores com esta otimização.

Além disto, seria importante relacionar o consumo da iluminação pública portuguesa com a tecnologia atual, relacionando esse consumo com as metas previstas no PNAEE 2016, e se seria necessário e viável o investimento para a redução desses mesmos custos.

5.3.3 Formas de redução do consumo de energia elétrica

Quanto mais energia consumida, mais emissões de GEE são emitidas. Para que a procura de energia seja menor é necessário modificar os nossos hábitos de consumo. Assim, diminuir os valores de consumo médio de energia permite diminuir valores de importação e produção de energia primária.

Desta forma deve ser realizado um plano de ação que obrigue as indústrias que consumam acima de um determinado valor de energia a aplicar algumas medidas. Mas não só as empresas, também nas habitações devem ser implementadas regras.

Esta informação deve ser sensibilizada pela explicação de todas as medidas de forma a instalar equipamentos de poupança e otimização do consumo de energia.

As práticas mais usuais na redução do consumo em iluminação passam por aproveitar o máximo de luz solar e desligar as luzes quando não forem necessárias. Outras modificações que podem ser tidas em conta aquando de uma eventual remodelação do espaço a considerar são:

- Pintar as paredes e o teto com cores mais claras, que permitam a reflexão da luz diminuindo a necessidade de iluminação artificial;
- Instalar sensores de movimento para controlo de iluminação nos locais de passagem;
- Instalar sensores de luz que permitem de forma autónoma, otimizar a luz artificial com a luz natural. A intensidade das lâmpadas diminui quando a iluminância proveniente da luz natural é suficiente;
- Dependendo da aplicação, substituir as lâmpadas fluorescentes compactas e de halógeno (pouco eficientes) por lâmpadas *LED*, reduzindo até 90% do consumo de energia elétrica;

- Onde não é necessário substituir lâmpadas fluorescentes tubulares, optar por substituir balastros magnéticos por balastros eletrónicos.

Assim, a diminuição do consumo de energia eléctrica através da iluminação, passa pela correta sensibilização dos utilizadores e pelo bom dimensionamento aquando da criação de instalações. Cada modificação deve ser vista como um investimento futuro associado ao seu conforto visual.

5.3.4 Instalação

Uma característica muito importante no bom funcionamento da lâmpada e o seu tempo de vida útil é a alimentação do *LED* aquando da sua instalação, pois este funciona a baixa tensão, entre 1 V e 9 V, para *LED* de alto brilho 4 V e para o de alta potência varia entre os 5 V e os 12 V e opera em corrente contínua, portanto em nenhum dos casos não pode ser ligada diretamente à rede eléctrica. Faz-se então uso de circuitos auxiliares para adequar esses sinais de tensão ao *LED*. Como a intensidade luminosa do dispositivo é proporcional à sua corrente, a intensidade luminosa pode ser controlada através do controlo de corrente. Esse circuito de controlo é conhecido como controlador.

Alguns fornecedores de iluminação começam a apresentar recomendações nos seus catálogos relativamente à instalação de equipamentos auxiliares, o que denota uma preocupação pelo bom funcionamento, garantindo o tempo de vida útil anunciado.

6 Referências

ADENE. (2010). *MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICÁVEIS À INDÚSTRIA PORTUGUESA: UM ENQUADRAMENTO TECNOLÓGICO SUCINTO*.

BASF AND PHILIPS FIRST TO DEVELOP OLED LIGHTING FOR USE AS A TRANSPARENT CAR ROOF. (2012). OBTIDO 7 DE MAIO DE 2013, DE [HTTP://WWW.NEWSCENTER.PHILIPS.COM/MAIN/STANDARD/NEWS/PRESS/2012/20120119-OLED-LIGHTING-FOR-TRANSPARENT-CAR-ROOF.WPD#.UYJRW6LVTSS](http://www.newscenter.philips.com/main/standard/news/press/2012/20120119-oled-lighting-for-transparent-car-roof.wpd#.UYJRW6LVTSS)

BETTER LIGHTING WITH QUANTUM DOTS. A BRILLIANT SOLUTION. (2012). OBTIDO 21 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=VJZNERMCLNU](http://www.youtube.com/watch?v=VJZNERMCLNU)

CATÁLOGO BRILUMEN. (2013). OBTIDO DE [HTTP://WWW.BRILUMEN.COM/ANEXOSITE/CATALOGO_2013_2014.PDF](http://www.brilumen.com/anexosite/catalogo_2013_2014.pdf)

CATÁLOGO ILUMINAÇÃO PHILIPS. (2012). OBTIDO DE [HTTP://WWW.RODEL.PT/UPLOAD/DOCS/RODEL/TABELAS/PHILIPS_2012_ILUMINACAO_PROFSSIONAL.PDF](http://www.rodel.pt/upload/docs/rodel/tabelas/philips_2012_iluminacao_profissional.pdf)

COB LED LIGHT SOURCE FROM LED SEMICONDUCTOR CO., LTD., TAIWAN MANUFACTURER. (SEM DATA). OBTIDO 21 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.TRADEKOREA.COM/PRODUCT-DETAIL/P00265177/COB_LED_LIGHT_SOURCE.HTML](http://www.tradekorea.com/product-detail/p00265177/cob_led_light_source.html)

DECRETO-LEI N.º319/2009. (2009). *EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO FINAL DE ENERGIA E AOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS PÚBLICOS*. DIÁRIO DA REPÚBLICA, 1ª SÉRIE - N.º213. MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO.

DESPACHO N.º17313/2008. (2008). *FACTORES PARA CÁLCULO DA INTENSIDADE CARBÓNICA PELA EMISSÃO DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA*. DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2.ª SÉRIE - N.º122.

EDENHOFER, O., MADRUGA, R. P., & SOKONA, Y. (2012). *RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION: SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CHOICE REVIEWS ONLINE* (VOL 49, PP 49-6309-49-6309). NEW YORK. DOI:10.5860/CHOICE.49-6309

ESTARREJA PIONEIRA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM TECNOLOGIA LED. (2009). OBTIDO 28 DE MAIO DE 2013, DE [HTTP://WWW.CM-ESTARREJA.PT/NEWSTEXT.PHP?ID=5829](http://www.cm-estarreja.pt/newstext.php?id=5829)

ETAP. (2012). *DOSSIER EN 12464-1*. OBTIDO DE [HTTP://WWW.ETAPLIGHTING.COM/UPLOADEDFILES/DOWNLOADABLE_DOCUMENTATION/DOCUMENTATIE/BROCHURES_ETAP_VERLICHTING/DOSSIER EN 12464-1_AT_PT_A4_LR.PDF](http://www.etaplighting.com/uploadedfiles/downloadable_documentation/documentatie/brochures_etap_verlichting/dossier_en_12464-1_at_pt_a4_lr.pdf)

HOW TO MAKE QUANTUM DOTS. (2011). OBTIDO 20 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=S3H0_8Tls-A](http://www.youtube.com/watch?v=S3H0_8Tls-A)

IEA - ADELINE. (2002). OBTIDO 3 DE JUNHO DE 2013, DE [HTTP://WWW.IEA-ADELINE.DE/INDEX.HTML](http://www.iea-adeline.de/index.html)

INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS (INERPA). (2011). APA. OBTIDO 27 DE JUNHO DE 2013, DE [HTTP://WWW.APAMBIENTE.PT/_ZDATA/DPAAC/INERPA/FE_GWh_1990-2009_v1.xls](http://www.apambiente.pt/_ZDATA/DPAAC/INERPA/FE_GWh_1990-2009_v1.xls)

KIM, J. (2009). *UNIVERSAL DISPLAY AND FLEXIBLE DISPLAY CENTER AT ASU TO SUPPLY FLEXIBLE PHOLED TO US ARMY. DISPLAYBLOG.* OBTIDO 5 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.DISPLAYBLOG.COM/2009/11/20/UNIVERSAL-DISPLAY-AND-FLEXIBLE-DISPLAY-CENTER-AT-ASU-TO-SUPPLY-FLEXIBLE-PHOLED-TO-US-ARMY/](http://www.displayblog.com/2009/11/20/universal-display-and-flexible-display-center-at-asu-to-supply-flexible-pholed-to-us-army/)

LEDs AND OLEDs. (2012). OBTIDO 6 DE MAIO DE 2013, DE [HTTP://WWW.EDISONTECHCENTER.ORG/LED.HTML](http://www.edisontechcenter.org/led.html)

LIGHT, T. L. (2001). *LED TECHNICAL SPECIFICATIONS AND APPLICATION NOTES.* OBTIDO 19 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.THELEDLIGHT.COM/TECHNICAL1.HTML](http://www.theledlight.com/technical1.html)

LIGHTING MARKT. (2012). *WHAT IS SMD LED? WHAT ARE THE BENEFITS?* OBTIDO 19 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.LIGHTINGMARKET.CO.UK/FAQ_INFO.HTML?FAQS_ID=128](http://www.lightingmarket.co.uk/faq_info.html?faqs_id=128)

MARC, A. BALDO, DIARMUID F. O'BRIEN, ANDRE SHOUSTIKOV, SCOTT SIBLEY, M. E. T., & FORREST, S. R. (1998). *HIGHLY EFFICIENT PHOSPHORESCENT EMISSION FROM ORGANIC ELECTROLUMINESCENT DEVICES. NATURE*, 395, 151-154.

MARTELETO, D. C. (2011). *AVALIAÇÃO DO DÍODO EMISSOR DE LUZ (LED) PARA ILUMINAÇÃO DE INTERIORES.* UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

MATOS, O. (2012). *LUZ.* OBTIDO DE [HTTP://WWW.OSVALDOMATOS.PT/](http://www.osvaldomatos.pt/)

MONSANTO MAN-1 SERIES. (2007). *THE VINTAGE TECHNOLOGY ASSOCIATION.* OBTIDO 4 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.DECADECOUNTER.COM/VTA/ARTICLEVIEW.PHP?ITEM=463](http://www.decadecounter.com/vta/articleview.php?item=463)

MONSANTO MV1. (2010). *THE VINTAGE TECHNOLOGY ASSOCIATION.* OBTIDO 4 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.DECADECOUNTER.COM/VTA/ARTICLEVIEW.PHP?ITEM=975](http://www.decadecounter.com/vta/articleview.php?item=975)

NERSISYAN, H. H., HOU, Y. B., & WON, C. W. (2009). *SYNTHESIS OF A-SiC(6H) USING 6H POLYTYPIC SiC DILUENT BY THE SEEDING TECHNIQUE. POWDER TECHNOLOGY*, 189(1), 48-51.
DOI:10.1016/J.POWTEC.2008.06.001

- NEXXUS LIGHTING UNVEILS NEW QUANTUM DOT TECHNOLOGY FROM QD VISION WITH ARRAY R30 LED REPLACEMENT LAMP. (SEM DATA). OBTIDO 20 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://WWW.SPECIALIZEDLIGHTINGCONCEPTS.CO.NZ/LATEST_NEWS.PHP?NEWS_ID=31&oscsid=33f58dc538be768df5d2da9d23f0a0a8](http://www.specializedlightingconcepts.co.nz/latest_news.php?news_id=31&oscsid=33f58dc538be768df5d2da9d23f0a0a8)
- PHILIPS. (2012A). *PHILIPS HUE*. OBTIDO 7 DE MAIO DE 2013, DE [HTTP://WWW.MEETHUE.COM/EN-US](http://www.meethue.com/en-us)
- PHILIPS. (2012B). *PRESSSECTION IMAGE*. OBTIDO 7 DE MAIO DE 2013, DE [HTTP://WWW.LIGHTING.PHILIPS.COM/MAIN/LED/OLED/PRESS_SECTION_IMAGES.WPD](http://www.lighting.philips.com/main/led/oled/press_section_images.wpd)
- PHILIPS. (2012C). *LUMIBLADE SHOP*. OBTIDO 7 DE MAIO DE 2013, DE [HTTPS://WWW.LUMIBLADE-SHOP.COM/INDEX.PHP/](https://www.lumiblade-shop.com/index.php/)
- PORTAL ERSE - CICLO SEMANAL PARA TODOS OS FORNECIMENTOS EM PORTUGAL CONTINENTAL. (2011). OBTIDO 20 DE JUNHO DE 2013, DE [HTTP://WWW.ERSE.PT/PT/ELECTRICIDADE/TARIFASEPREÇOS/PERIODOSHORÁRIOS/PÁGINAS/CICLOSEMANALTO DOSFORNECPTCONT.ASPX](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/paginas/ciclosemanaltoDOSFORNECPTCONT.ASPX)
- RANI, J., CHAUHAN, P., & TRIPATHI, R. (2012). *LI-FI (LIGHT FIDELITY) -THE FUTURE TECHNOLOGY IN WIRELESS COMMUNICATION*. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING RESEARCH*, 7(11), 2-5. OBTIDO DE [HTTP://GIMT.EDU.IN/CLIENTFILES/FILE_REPO/2012/NOV/23/1353645362045/69.PDF](http://gimt.edu.in/clientfiles/file_repo/2012/NOV/23/1353645362045/69.pdf)
- RELUX. (2013). OBTIDO 3 DE JUNHO DE 2013, DE [HTTP://WWW.RELUX.BIZ/](http://www.relux.biz/)
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 20/2013. (2013). *PLANO NACIONAL DE AÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O PERÍODO 2013-2016*. *DIÁRIO DA REPÚBLICA*, 1ª SÉRIE - N.º70.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 80/2008. (2008). *PLANO NACIONAL DE ACÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (2008-2015)*. *DIÁRIO DA REPÚBLICA*, 1ª SÉRIE - N.º97. OBTIDO DE [HTTP://DRE.PT/](http://dre.pt/)
- RIBEIRO, M. R. (2010). *ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA VERSUS LÂMPADA INCANDESCENTE, CENÁRIO ATUAL E ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
- RIBEIRO, T. (2010). *LUMINOTECNIA - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO*. UNIVERSIDADE DO PORTO.
- SCHUBERT, E. F. (2006). *LIGHT-EMITTING DIODES* (2A ED, PP 1-23; 191-220). CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

SGCIE. (2008). *PORTUGAL EFICIÊNCIA 2015. PLANO NACIONAL DE ACÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA*, p 17.

SHI, S., SADHU, V., MOUBAH, R., SCHMERBER, G., BAO, Q., & SILVA, S. R. P. (2013). *SOLUTION-PROCESSABLE GRAPHENE OXIDE AS AN EFFICIENT HOLE INJECTION LAYER FOR HIGH LUMINANCE ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODES*. *JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY C*, 1(9), 1708. DOI:10.1039/C3TC00707C

SILVA, N. (2011). *ANÁLISE DA VIABILIDADE DE MUDANÇA DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE UM ESTABELECIMENTO DE ENSINO SUPERIOR PARA OUTROS MAIS EFICIENTES*. UNIVERSIDADE DE COIMBRA.

TYPES OF LED | LEDO. (2012). OBTIDO 19 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://LEDO.AZ/LED_WHAT.ASP?ID=270](http://ledo.az/led_what.asp?id=270)

WIEDMANN, T., & MINX, J. (2007). *A DEFINITION OF 'CARBON FOOTPRINT'* (p 11). DURHAM. OBTIDO DE [HTTP://WWW.CENSA.ORG.UK/DOCS/ISA-UK_REPORT_07-01_CARBON_FOOTPRINT.PDF](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_REPORT_07-01_CARBON_FOOTPRINT.PDF)

WOERNER, J. (2001). *LEDs CAST MONSANTO IN UNFAMILIAR ROLE*. *DATA MATH CALCULATOR MUSEUM*. OBTIDO 4 DE MARÇO DE 2013, DE [HTTP://DATAMATH.ORG/DISPLAY/MONSANTO.HTM](http://datamath.org/display/monsanto.htm)

WRI. (2012). *GHG PROTOCOL TOOL FOR STATIONARY COMBUSTION - VERSION 4.4*. OBTIDO DE [HTTP://WWW.GHGPROTOCOL.ORG/](http://www.ghgprotocol.org/)

YEH, N. G., WU, C.-H., & CHENG, T. C. (2010). *LIGHT-EMITTING DIODES—THEIR POTENTIAL IN BIOMEDICAL APPLICATIONS*. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 14(8), 2161-2166. DOI:10.1016/J.RSER.2010.02.015

ZHELUDEV, N. (2007). *THE LIFE AND TIMES OF THE LED — A 100-YEAR HISTORY*. *NATURE PHOTONICS*, 1(APRIL), 189-192. OBTIDO DE [HTTP://WWW.ORB.SOTON.AC.UK/FILEADMIN/DOWNLOADS/100_YEARS_OF_OPTOELECTRONICS__2_.PDF](http://www.orc.soton.ac.uk/fileadmin/downloads/100_years_of_optoelectronics__2_.pdf)

ANEXOS

Anexo B - Relatório de Cálculo Emitido pela Aplicação Informática *DIALux*

O relatório do cálculo luminotécnico emitido pelo *DIALux* apresenta todas as informações relevantes sobre o projeto realizado. Apresenta-se de seguida um exemplo de cálculo na receção da *TuboTech* representado na Figura B. I.

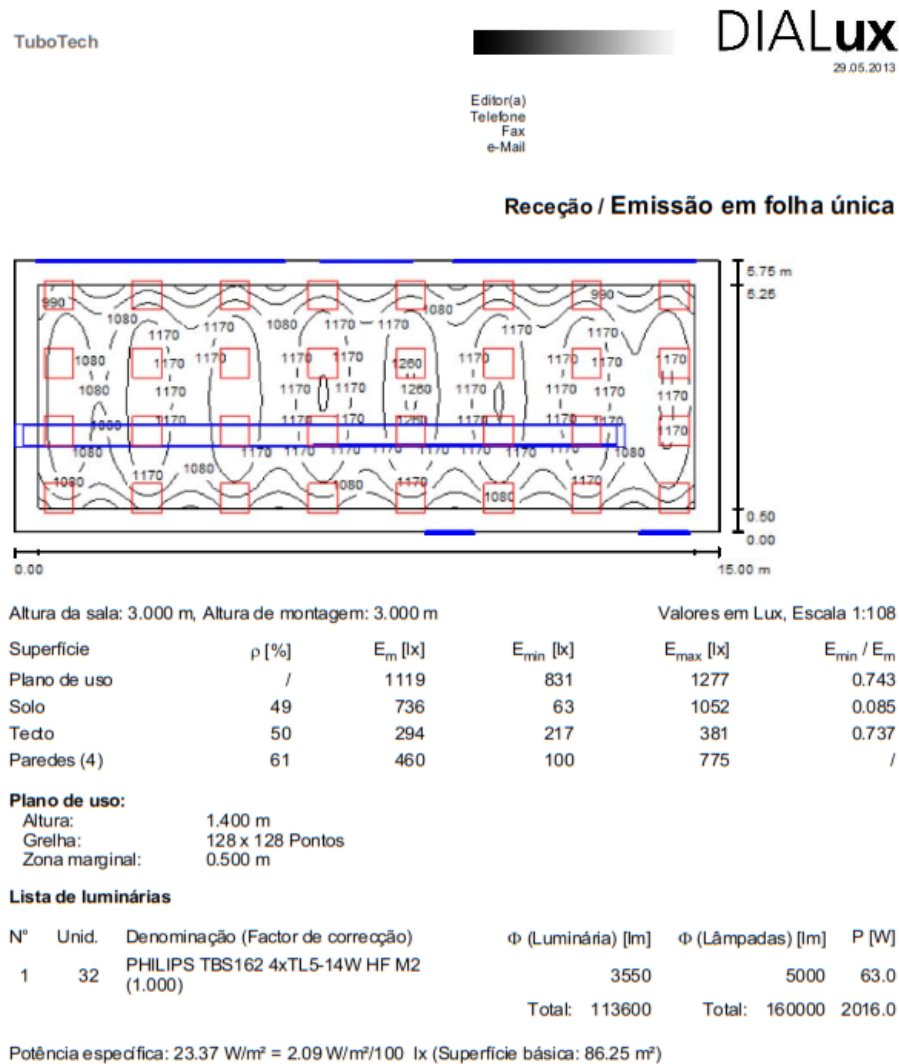


Figura B. I - Exemplo de relatório luminotécnico *DIALux*.