



**Gonçalo Pedro Salgueiro Iluminação em Ambientes Fabris; Otimização e Análise
Técnica-e-Económica**



**Gonçalo Pedro
Salgueiro**

**Iluminação em Ambientes Fabris; Otimização e
Análise Técnica-e-económica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Dr. Luís Filipe Mesquita Nero Alves, Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Dr. Anibal Manuel de Oliveira Duarte
Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica e Telecomunicações da
Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Luis Filipe Mesquita Nero Moreira Alves
Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica e Telecomunicações da
Universidade de Aveiro

Mestre Nuno Rafael Mendonça Lourenço
Mestre Especialista, Think Control, Unipessoal Lda

agradecimentos

Sob a forma de agradecimento gostaria de direcionar estas breves palavras a todos aqueles que, resumidamente, contribuíram para a prossecução do trabalho.

A concretização do meu estudo não teria sido bem-sucedida sem a contribuição amiga de um conjunto de pessoas que, de forma direta ou indireta, me deram um prestimoso contributo para a sua realização. A primeira referência vai para o meu orientador. Aceitou sê-lo o senhor Professor Doutor Luís Nero Alves, do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro. Para ele fica o testemunho da minha mais profunda gratidão; Queria expressar-lhe uma palavra especial de agradecimento.

Ao senhor Engenheiro Miguel Bento agradeço a total disponibilidade, o acompanhamento constante, o estímulo amigo e oportuno para a prossecução do trabalho. Oxalá que tenha sabido captar, traduzindo-as em texto, tantas ideias e sugestões que me transmitiu, nos longos debates em que traçámos as linhas mestras ou discutimos questões necessárias ao prosseguimento do estudo.

Ao senhor Professor Doutor Oliveira Duarte, do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro agradeço a permanente disponibilidade e a forma com que sempre ouviu as minhas dificuldades e dúvidas, esclarecendo-as de forma objetiva e concreta.

De muitos outros sou ainda devedor. Aos senhores Engenheiros Bruno Pires, Hermínio, Sílvio e Manuel Leite e à senhora D. Manuela Santos e ao senhor Manuel José, todos pertencentes ao Grupo Amorim, assim como às empresas OSRAM, ENLIGHT e LUSILED, não só agradecendo as sugestões mas também a disponibilidade que sempre manifestaram para atenderem as minhas solicitações.

É ainda devida uma palavra de agradecimento ao Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro por algumas facilidades concedidas para a realização deste trabalho.

Aos colegas que me acompanharam no percurso escolar agradeço a amizade que o convívio sempre acarreta.

À jornalista Joana Martins, um muito obrigado.

Finalmente à Família. É usual dizer-se que à Família não se agradece, o que não impede que não se reconheçam as ausências e as privações motivadas pelas exigências próprias da realização de trabalho desta natureza. Apesar de tudo, não quero perder a oportunidade para deixar uma palavra de agradecimento àquelas que mais diretamente tiveram de suportar as minhas ausências e intolerâncias. Aos meus pais a quem devo a compensação ao longo de todos estes anos do curso e porque deles partiram os maiores incentivos e todo o apoio.

palavras-chave

Luz, Iluminação fabril, Inovação, LED, Sensores, Automação, Controlo, Eficiência energética

resumo

Esta Dissertação aborda a temática da eficiência energética em sistemas de iluminação fabris. Desde os primórdios da história da humanidade que a iluminação tem representado um papel importante. Não só garante condições de segurança, como começou por ser o intuito primordial das fogueiras pré-históricas, traduzindo-se num elemento de conforto. Atualmente seria impensável conceber as mais diversas atividades económicas e produtivas de um país sem iluminação. Nesse sentido a iluminação representa também um elemento fomentador de produtividade. Não é bem conhecido o impacto que a iluminação tem nos custos operacionais de uma unidade fabril. Principalmente por ser difícil de quantificar separadamente na fatura de eletricidade qual a percentagem correspondente à iluminação. Tipicamente estes custos podem ascender a 20% do orçamento global da autarquia em países desenvolvidos. Por esse motivo, o sector da iluminação tem investido esforço no sentido de promover melhores soluções de iluminação capazes de por um lado de satisfazer os requisitos do espaço a iluminar, e por outro propiciar soluções eficientes do ponto de vista energético. Estas soluções assentam essencialmente no uso de dispositivos mais eficientes (como por exemplo os LED's ou as lâmpadas compactas fluorescentes) bem como em estratégias de controlo eficientes baseadas em dados sensoriais (como por exemplo deteção de movimento/presença). A combinação destas estratégias permite reduzir os consumos em cerca de 80% quando comparadas com soluções passivas. A empresa Amorim Cork Research Lda. é uma empresa prestadora de serviços ao universo das empresas da Corticeira Amorim, uma das maiores multinacionais de origem portuguesa. Teve origem no negócio da cortiça, em 1870, sendo hoje líder destacada no sector a nível mundial. Dada a dimensão da empresa e a sua subdivisão em várias Unidades Industriais com requisitos individuais, será expectável que a iluminação represente uma parte significativa da fatura de eletricidade. Atualmente, os vários setores encontram-se equipados com soluções de iluminação diferentes, na sua maioria empregando tecnologias passivas, noutros casos com dispositivos eficientes. Há algum interesse em migrar para soluções mais eficientes, em parte suportadas em DALI (com interface de comunicação PLC ou Zigbee).

keywords

Lighting, manufacturing lighting, sensors, automation, control, energy efficient, innovation,

abstract

This dissertation addresses the issue of energy efficiency in industrial lighting systems. Since the dawn of human history that the lighting has played an important role. Not only ensures safety, as was originally the primary purpose of prehistoric fires, resulting in a comfort element. Nowadays it would be impossible to conceive the most diverse economic and productive activities of a country without lighting. In this sense the lighting is also a productivity developer element. It is well known the impact that lighting has on operating costs of a plant. Mainly because it is difficult to quantify separately, in the electricity bill, the percentage of lighting. Typically these costs can amount to 20 % of the overall budget of the municipality in developed countries. For this reason, the lighting industry has invested effort to promote better lighting solutions that on the one hand meet the requirements of space to light, and on the other provide efficient solutions from the energy point of view. These solutions are essentially based on the use of more efficient devices (such as the LEDs or compact fluorescent lamps) as well as efficient control strategies based on sensory data (such as motion detection / presence). The combination of these strategies can reduce consumption by 80 % when compared to passive solutions. The Amorim Cork Research Lda. is a company providing services to the population of companies Corticeira Amorim, one of the largest multinationals of Portuguese origin. It originated in the cork business in 1870 and today is the clear leader in the global industry. Given the size of the company and its subdivision in various industrial units with individual requirements, it will be expected that lighting represents a significant part of the electricity bill. Currently, many industries are equipped with different lighting solutions, mostly using passive technologies in other cases with efficient devices. There is some interest in moving to more efficient, partly supported by DALI (with PLC or Zigbee communication interface). Therefore, this work aims to present numbers that can provide a complete answer with respect to effect a change in outdoor lighting.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do Projeto.....	1
1.2	Breve História do Grupo Amorim.....	2
1.3	Considerações gerais - Apresentação da unidade fabril.....	3
1.4	Porquê a escolha desta unidade fabril.....	4
1.5	Foco do estudo.....	4
1.6	Metodologia de Trabalho.....	4
1.7	Estrutura da dissertação.....	5
2	A Iluminação.....	7
2.1	Contextualização histórica.....	7
2.2	Luz e radiação eletromagnética.....	8
2.3	Principais grandezas e parâmetros.....	9
2.4	Qualidade da luz.....	16
3	Tecnologias de Iluminação	19
3.1	Enquadramento histórico da energia.....	19
3.2	Dispositivos de iluminação.....	19
3.2.1	Incandescência.....	20
3.2.1.1	Lâmpada de incandescência normal.....	20
3.2.1.2	Lâmpada de halogénio.....	21
3.2.1.3	Lâmpada de incandescência refletora.....	21
3.2.2	Descarga elétrica em gases.....	22
3.2.2.1	Lâmpadas fluorescentes.....	23
3.2.2.2	Lâmpada de luz mista.....	23
3.2.2.3	Lâmpada de vapor de mercúrio	24
3.2.2.4	Lâmpada de vapor de sódio	24
3.2.2.5	Lâmpada de iodetos metálicos.....	26
3.2.3	Iluminação de estado sólido (díodos emissores de luz - LEDs)	27
3.2.4	Comparativo entre tecnologias.....	28
3.3	Normas e regulamentos aplicáveis no contexto dos sistemas de iluminação.....	29
3.4	Soluções de iluminação LED para unidades fabris.....	31
3.4.1	Arquiteturas de controlo na Iluminação.....	31
3.4.2	Sensores.....	33
3.4.2.1	Tridonic.....	34
3.4.2.2	Steinel.....	36
3.4.3	Descrição Global do Sistema.....	38
3.4.3.1	Sistema baseado em P.L.C.	39
3.4.3.2	Sistema baseado em zigbee.....	40

3.5	Protocolos de Comunicação no âmbito da iluminação.....	40
3.5.1	DALI.....	40
3.5.2	DMX512.....	42
3.5.3	ZigBee.....	43
3.5.4	Comparação sumária entre protocolos.....	44
3.5.5	Comparação entre interfaces comunicação na iluminação.....	44
4	Sequência de Trabalhos.....	45
4.1	O existente na atualidade.....	45
4.1.1	Levantamento de luminárias (autocad)	45
4.1.2	Consumos / Custos Energéticos	47
4.1.3	Simulação do sistema em DIALUX e medições noturnas no terreno para estudo de fotometria.....	51
4.2	Sugestão de Investimento e respetiva Análise Técnico – Económica.....	53
4.2.1	Possibilidades Consideradas.....	53
4.2.1.1	Cenário1 - Substituição simples com controlo passivo.....	53
4.2.1.2	Cenário2 - Substituição com descentralização de informação.....	62
4.2.2	Análise Técnico – Económica comparativa.....	64
5	Conclusões.....	67
	Referências.....	69
	Anexos.....	72

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Exemplo de fontes luminosas e respetivo fluxo luminoso.....	11
Tabela 2.2 – Tonalidade da luz em função da temperatura de cor.....	15
Tabela 2.3 – Nível de iluminância recomendado para algumas tarefas.....	17
Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens das lâmpadas de vapor de sódio.....	28
Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens das lâmpadas de iodetos metálicos.....	28
Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens da tecnologia LED.....	29
Tabela 3.4 – Balanço sumário comparativo de alguns sensores existentes.....	38
Tabela 3.5 – Funcionamento ZigBee dos 20 kbps até 250 kbps, consoante a frequência.....	43
Tabela 3.6 – Tabela comparativa final dos vários protocolos comunicação.....	44
Tabela 3.7 – Comparação entre diferentes interfaces de comunicação.....	44
Tabela 4.1 – Tipo de iluminação atual na Amorim Revestimentos.....	46
Tabela 4.2 – Iluminação atual e respetivo consumo.....	48
Tabela 4.3 – Valores iluminação (lux) consoante posição.....	52
Tabela 4.4 – Utilização de espaços.....	54
Tabela 4.5 – Resumo de utilização de iluminação apra o cenário1.....	57
Tabela 4.6 – Iluminação proposta para o cenário1 e respetivo consumo.....	58

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Espectro Eletromagnético.....	9
Figura 2.2 – Curva de sensibilidade olho humano à radiação visível	10
Figura 2.3 – Fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa.....	11
Figura 2.4 – Representação do ângulo sólido (wikipédia, 2015)	12
Figura 2.5 – Esquema fluxo luminoso de 1 lúmen.	13
Figura 3.1 – Diagrama expositivo das várias tecnologias de iluminação	19
Figura 3.2 – Constituição de uma lâmpada de incandescência.....	20
Figura 3.3 – Lâmpadas de halogéneo.....	21
Figura 3.4 – Lâmpadas fluorescentes compactas OSRAM.....	23
Figura 3.5 – Lâmpada luz mista OSRAM.....	24
Figura 3.6 – Lâmpada sódio baixa pressão.....	25
Figura 3.7 – Lâmpada sódio alta pressão.....	26
Figura 3.8 – Lâmpada iodetos metálicos.....	27
Figura 3.9 – Curva característica de um LED.....	28
Figura 3.10 – Sistemas iluminação e sua arquitetura.....	32
Figura 3.11 – Smart HF 5BP.....	35
Figura 3.12 – Smart Sensor 10DPI.....	36
Figura 3.13 – Steinel NM 5000-2-24.....	37
Figura 3.14 – Steinel IS 3180-24.....	38
Figura 3.15 – Princípio de funcionamento do PLC e RF.....	39
Figura 3.16 – Sistema baseado em PLC.....	40
Figura 3.17 – Sistema baseado em zigbee.....	40
Figura 3.18 – Sistema DALI.....	42
Figura 3.19 – Rede ZigBee, segurança, serviços de aplicação na norma IEEE 811.15.4	43
Figura 4.1 – Planta Autocad da ARO com respectivas luminárias.....	45
Figura 4.2 – Imagem de luminária típica retirada para efeitos de testes e consumo.....	46
Figura 4.3 – Exemplo de lâmpadas instaladas atualmente no terreno.....	49

Figura 4.4 – Simulação DIALux dos níveis de iluminação para o cenário com a migração.....	51
Figura 4.5 – Esquema das medições para as duas luminárias consideradas.....	52
Figura 4.6 – Luminária LED 30W instalada para testes.....	55
Figura 4.7 – Diagrama de <i>dimming</i> para o <i>driver</i> LPF- 40 D.....	55
Figura 4.8 – Sistema de <i>dimming</i> switch para instalação nas luminárias da Enlight.....	56
Figura 4.9 – Interface de comunicação do sistema proposto.....	62
Figura 4.10 – Diagrama da regulação para o <i>driver</i> LPF- 40 D.....	63
Figura 4.11 – Diagrama funcional do sistema e respetivos <i>gateway's</i>	63
Figura a.1 – Zona A.....	73
Figura a.2 – Zona B.....	73
Figura a.3 – Zona C.....	74
Figura a.4 – Zona D.....	74
Figura a.5 – Zona E.....	75
Figura a.6 – Zona F.....	75
Figura a.7 – Zona G.....	76
Figura a.8 – Zona H.....	76
Figura a.9 – Zona I.....	77
Figura a.10 – Zona J.....	77
Figura a.11 – Zona K.....	78
Figura a.12 – Zona L.....	78
Figura a.13 – Zona M.....	79
Figura a.14 – Zona N.....	79
Figura a.15 – Zona O.....	80
Figura a.15 – Zona P.....	80
Figura a.15 – Zona Q.....	81
Figura a.15 – Zona R.....	81

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Consumo zona A,B e C atual.....	50
Gráfico 2 – Consumo zona D,E e F atual.....	50
Gráfico 3 – Consumo zona G,H e I atual.....	50
Gráfico 4 – Consumo zona J,K e L atual.....	50
Gráfico 5 – Consumo zona M,N e O atual.....	50
Gráfico 6 – Consumo zona P,Q e R atual.....	51
Gráfico 7 – Consumo zona A,B e C para cenário1.....	59
Gráfico 8 – Retorno financeiro para zona A,B e C para cenário1.....	59
Gráfico 9 – Consumo zona D,E e F para cenário1.....	59
Gráfico 10 – Retorno financeiro para zona D,E e F para cenário1.....	60
Gráfico 11 – Consumo zona G,H e I para cenário1.....	60
Gráfico 12 – Retorno financeiro para zona G,H e I para cenário1.....	60
Gráfico 13 – Consumo zona J,L e M para cenário1.....	60
Gráfico 14 – Retorno financeiro para zona J,L e M para cenário1.....	61
Gráfico 15 – Consumo zona N,O e P para cenário1.....	61
Gráfico 16 – Retorno financeiro para zona N,O e P para cenário1.....	61
Gráfico 17 – Progressão dos dois cenários.....	64

Capítulo 1

1. - Introdução

A iluminação é algo imprescindível no quotidiano do ser humano. Com o fluir do tempo as tecnologias de iluminação têm-se vindo a aperfeiçoar tornando-se mais eficientes e eficazes, o que se traduz numa maior poupança energética e vai de encontro com a boa gestão dos recursos energéticos.

A tecnologia LED (*Light-Emitting-Diode*) tem tendência a dominar o mercado da iluminação nos próximos anos visto que possibilita uma poupança energética expressiva quando comparada com outras tecnologias. Possui um índice de reprodução cromática aperfeiçoado, facilidade de variação do fluxo luminoso, fácil integração de sensores, possibilidade de arranque automático assim como uma longevidade maior quando comparada com tecnologias tradicionais.

Atualmente a iluminação representa aproximadamente 20% do consumo mundial de eletricidade o que corresponde a aproximadamente 2651 TW/h por ano e previsões apontam para que até 2030 a quantidade de energia usada para este fim possa aumentar cerca de 80%. Salienta-se que a iluminação não é somente conseguida com recurso à energia elétrica. [1] e [2].

Neste capítulo apresenta-se o esqueleto da dissertação bem como a metodologia de trabalho desenvolvida. A dissertação tem também o propósito de ambientar e esclarecer o leitor acerca da realidade inerente à Unidade Industrial em causa, assim como justificar a necessidade de um plano de eficiência energética no que concerne à iluminação exterior. Trata-se de um capítulo introdutório onde o objetivo passa, essencialmente, por facultar ao leitor uma contextualização geral acerca do trabalho realizado.

1.1 - Enquadramento do Projeto

A unidade industrial Amorim Revestimentos é uma unidade fabril pertencente ao Grupo Amorim, concretamente à Corticeira Amorim. Tendo em conta a sua antiguidade será expectável que tenha sofrido alterações sucessivas ao longo do tempo a fim de se modernizar com tecnologia recente permitindo assim ser competitiva e eficiente a nível energético. Esta dissertação não só é direcionada para o mundo empresarial prático como também reúne esforços muito concretos no que respeita a apresentar números que possam dar uma resposta cabal no que respeita a economizar custos energéticos e, portanto, serve igualmente como um pré-estágio em que permite adquirir conhecimento no que respeita à iluminação atual, como igualmente permite lidar de perto com problemas concretos do mundo real.

1.2 - Breve história do Grupo Amorim

A atividade corticeira e vinícola eram indissociáveis já desde o século XIX e como exemplo dessa simbiose temos precisamente Vila Nova de Gaia ou Porto Novo como na época fora designado. A exportação de vinho do Porto englobava inúmeras indústrias associadas a esta atividade. Em 1865 a extinção da Companhia Geral das Vinhas do Alto Douro, criada em 1756 pelo Marquês de Pombal, representou o fim de restrições existentes ao livre comércio na barra do Douro o que estimulou o desenvolvimento destas indústrias e as levou, no seu conjunto, a duplicarem as exportações em menos de dez anos. No concelho da Feira o trabalho da cortiça veio a desenvolver-se constituindo-se uma fonte de conhecimento e experiência que, nesses anos de crescimento, levou muitos operários desta indústria para as firmas vinícolas de Gaia. António Alves de Amorim nasceu precisamente nesta região, em São Tiago da Lourosa no ano de 1832 e em 1870 foi para Gaia com o propósito de construir uma fábrica de cortiça com a imprescindível associação dos Belchior, garantindo assim o capital para iniciar o seu negócio. Nascia assim o embrião do que viria a ser o atual Grupo Amorim. Em 1913 a família Amorim iniciou-se na construção de uma fábrica que viria a estar concluída nove anos depois. Era o nascimento da Amorim & Irmãos. Posteriormente, em 1953, com a morte de Américo Alves de Amorim, o testemunho da sociedade iniciou o processo de transição para a terceira geração da família tendo ficado da responsabilidade de Américo, um dos oito filhos do falecido Américo Alves de Amorim, liderar e dirigir os esforços desta empresa familiar. Ficou conhecido como um “ministro dos negócios estrangeiros” da Amorim & Irmãos devido às inúmeras viagens efetuadas assim como uma notável penetração nos mercados do leste europeu outrora considerados impenetráveis pelas economias ocidentais. Para Américo Amorim a obsessão era a verticalização. Com a dispersão do capital da sociedade pelos membros da vasta família Amorim levou, naturalmente, a que as ambições de uns não tivessem sincronizadas pela remanescente família. Américo Amorim pretendia aproveitar os consideráveis desperdícios originados pela produção de rolhas na Amorim & Irmãos para penetrar no mercado dos aglomerados de cortiça. Para o efeito decidiu avançar sem o apoio de todos os acionistas da sociedade, nomeadamente o dos seus primos. Nasceu assim a atual Amorim Cork Composites no ano de 1963 em parceria com três dos seus irmãos bem como do seu tio Henrique Amorim. Após o período que se seguiu à revolução industrial foi recuperada a confiança no futuro da economia e na embrionária democracia portuguesa. Com o fluir do tempo o Grupo Amorim desenvolveu uma estratégia de diversificação de negócio que o tornou num grupo relevante, forte e competitivo com posições de elevado destaque nas áreas financeira, industrial, turística e de telecomunicações. António Rios de Amorim assumiu a presidência da Corticeira Amorim em 2001, numa altura em que se questionava o futuro da cortiça e que poderá ser encarado como a quarta geração da família. Desde então, muito trabalho foi feito e o resultado está à vista. A utilização de cortiça por parte de grandes arquitetos internacionais era uma realidade que nos levava para os longínquos anos 30. Atualmente, a cortiça é amplamente utilizada como solução de construção por importantes arquitetos, de que são exemplo Eduardo Souto Moura ou Herzog & de Meuron. No início do seu percurso na liderança da Corticeira Amorim, António Amorim encontrou um ambiente hostil para a rolha de cortiça, com o maior crítico de vinhos do mundo – Robert Parker – a indicar que a sua utilização em 2015 “seria residual”. Contrariamente ao que era anunciado, a Corticeira Amorim tem apresentado nos últimos anos resultados recorde, vendendo mais rolhas do que em qualquer momento da sua história.

A este facto, não é alheia a performance da cortiça, mas não é alheio também o conhecimento profundo e global do mundo do vinho e da floresta que António Rios de Amorim possui, que lhe permite um domínio de toda a cadeia de valor e, assim, uma vantagem estratégica que nenhum concorrente consegue igualar. Nascido no concelho de Santa Maria da Feira, é hoje um dos melhores representantes de Portugal no mundo, por onde viaja constantemente, não só para defender os interesses da Corticeira Amorim, mas também em defesa do montado e da cortiça, o único sector em que Portugal é líder mundial. Prova disso, são os 3 mandatos à frente da APCOR e da Confederação Europeia da Cortiça que, sob a sua liderança, conseguem obter fundos para a promoção da cortiça portuguesa em países como a França, a Itália, os EUA e o Canadá, a China e o Brasil. Os resultados obtidos nestas campanhas internacionais (12 horas de cobertura televisiva, cerca de 9 mil notícias e mais de uma dezena de prémios internacionais) foram, nas palavras de quatro ministros de diferentes partidos políticos, “um exemplo de bom investimento público-privado”. O percurso de António Rios de Amorim fica inequivocamente marcado por uma aposta inequívoca em I&D e Inovação, com vista a assegurar uma qualidade consistente dos produtos de cortiça. O resultado desta postura é que, em pleno séc. XXI, a cortiça aparece como o material que substitui os produtos artificiais em algumas das organizações mais exigentes do mundo em termos de qualidade.

Para um material que é utilizado pela indústria aeroespacial desde os tempos da guerra fria, os horizontes para a cortiça em indústrias de ponta como esta estendem-se literal e figurativamente a outros planetas. Recentemente, a qualificação da cortiça como material para as sondas enviadas a Marte é exemplo disso. As suas qualidades profissionais são muitas e amplamente reconhecidas e em muitos casos beneficiam também das suas qualidades pessoais. A sua insistência nas vantagens sociais e ambientais da cortiça não só fazem sentido no mundo de hoje, como foram premonitórias quando, há mais de uma década, a Corticeira Amorim foi a primeira empresa de packaging do mundo a obter a certificação FSC. Paralelamente, o diálogo com os agentes do montado (parte crítica de toda a cadeia de valor) atingiu um patamar nunca antes alcançado. Ecoando de certa forma John F. Kennedy - Não perguntes o que a cortiça pode fazer por ti, pergunta o que podes fazer pela cortiça - parece ser o mote de uma carreira que, sendo já longa, sabemos ter muito ainda para dar quer à Corticeira Amorim, quer a Portugal, quer ao mundo que certamente não seria melhor sem a cortiça.

1.3 - Considerações Gerais - Apresentação da unidade fabril

A Unidade de Negócios Amorim Revestimentos é líder mundial na produção e distribuição de revestimentos com cortiça. Presente em mais de 50 países é internacionalmente reconhecida pela qualidade e inovação dos seus produtos. Ao combinar métodos tradicionais de produção com a mais recente tecnologia, a Amorim Revestimentos desenvolve produtos distintos, elegantes, resistentes e confortáveis, utilizando um material cujas características a ciência não consegue superar assim como com benefícios ambientais comprovados – a cortiça. E é relevante evidenciar este material tão nobre que é a cortiça porque de facto é único e as suas aplicações são muito diversificadas visto ser um material que se denota um excelente isolante térmico e acústico, leve, elasticidade notável, impermeável a líquidos e gases, combustão lenta, elevada resistência ao atrito, etc. o que, atualmente, tem uma importância muito grande e exponencial porque cortiça representa

sustentabilidade, conforto, comodidade, elegância e suavidade [37]. Neste contexto, e com o principal propósito de otimizar os custos energéticos da Amorim Revestimentos S.A. tornou-se imperativo efetuar um caso de estudo.

1.4 - Porquê a escolha desta Unidade Fabril

A dimensão significativa para que exista uma elevada diversidade de equipamentos distintos no que respeita à iluminação tornou possível lidar com uma maior disparidade de situações permitindo dessa forma adquirir um *know-how* abrangente e portanto mais enriquecedor não só a nível da iluminação mas também a nível de conviver com problemas reais no contexto empresarial e fabril em que existem várias áreas de trabalho distintas (interior e exterior). Dentro destas duas zonas também a diversidade dos trabalhos que são executados implicando um grande leque de equipamentos e utilização. Permite criar vários exemplos com uma diversidade superior repercutindo-se num trabalho mais completo e abrangente. Atualmente o grupo Amorim é constituído por algumas unidades industriais abrangidas pelo SGCE e tenta cumprir as suas obrigações. No sentido de atingir indicadores nela obrigados investe em medidas de eficiência energética nomeadamente térmico, processo, motores e controlo, ar comprimido e iluminação. Nesta última, na iluminação, apesar de possuir apenas 4% no peso total respeitante à fatura de energia o Grupo estuda de forma criteriosa cada sector da sua área produtiva e não produtiva. A exemplo de vários projetos onde se analisam as condições luminotécnicas, caracterizando a tecnologia, o ambiente de trabalho e a análise técnico-económica.

1.5 - Foco do estudo

Este estudo foca-se nas zonas exteriores uma vez que as necessidades reais assim o ditaram e uma vez que a nível das soluções existentes na atualidade coexistem uma imensidão de diferentes tecnologias tornando-se imperativo migrar para uma solução única e abrangente com uma tecnologia sustentável e eficiente no que concerne à eficiência energética, longevidade e *payback*. Embora existam vários trabalhos que sejam feitos numa forma independente terá de existir, paralelamente, um estudo para que os pontos seguintes se tornem mais eficazes.

1.6 - Metodologia de Trabalho

Os objetivos desta dissertação prendem-se com o seguinte:

- Levantamento das condições atuais de iluminação na unidade fabril (tipos de dispositivos em utilização e respetivos consumos, estratégias de controlo, fotometria e estimação da presença humana nos espaços alvo, requisitos normativos de iluminação a respeitar)
- Recolha de elementos bibliográficos no que concerne a dispositivos de iluminação, fotometria, protocolo DALI

- Identificação de medidas a propor e sua análise técnica-e-económica
- Análise técnica-e-económica das soluções existentes e propostas de melhoria

Resumidamente os objetivos do projeto prendem-se com uma séria tentativa de atualizar eficientemente as infraestruturas de iluminação exterior de uma unidade fabril que se denota competitiva nos mercados contudo envelhecida em questões de iluminação exterior havendo portanto uma necessidade de migrar para soluções mais eficientes a nível energético.

1.7 - Estrutura

No segundo capítulo faz-se uma alusão histórica acerca da evolução dos sistemas de iluminação, descreve-se sucintamente a definição de luz e radiação eletromagnética assim como são apresentadas as principais grandezas de fotometria e a definição de qualidade da luz.

No terceiro capítulo abordam-se as tecnologias de iluminação existentes mais relevantes, o seu princípio de funcionamento assim como se apresentam algumas soluções de iluminação LED para unidades fabris, arquiteturas de controlo na iluminação, sensores e alguns protocolos de comunicação no âmbito da iluminação.

No quarto capítulo aborda-se a sequência de trabalhos no terreno no que respeita ao levantamento de luminárias, consumos energéticos atuais e respetivos custos assim como se faz uma sugestão de investimento baseada na análise energética de dois cenários distintos, apresenta-se uma descrição global de ambos os sistemas assim como se efetua uma análise técnica e económica geral.

No quinto capítulo apresentam-se algumas conclusões.

CAPITULO2 - A Iluminação

2.1- Contextualização Histórica

A iluminação artificial é antiquíssima e data desde que o Homem descobriu e aprendeu a controlar o fogo usando-o para diversificados fins. De facto a iluminação constitui uma das necessidades básicas para o Homem que desde cedo procurou arranjar formas de poder imitar as fontes de luz naturais a fim de desenvolver atividades independentes das mesmas.

Da descoberta do fogo ter-se-ão criado as primeiras formas de iluminação portáteis como tochas a partir da madeira de troncos de árvores. A partir daí foram criadas as primeiras lâmpadas primitivas com recurso a óleo, gorduras vegetais e animais, seguindo-se a criação das velas e da lâmpada a óleo.

É já a partir do século XVIII que consideráveis progressos são feitos desenvolvendo a lâmpada a óleo com a descoberta de matérias-primas mais adequadas para o combustível e novas aplicações sendo usadas na indústria, marinha, iluminação pública, iluminação residencial e mesmo nos veículos. Foi o início da era da tecnologia da iluminação [6].

O próximo passo seria a criação de iluminação por meios alternativos à chama sendo usados corpos sólidos incandescentes. Destacam-se a invenção da lâmpada incandescente, com o conhecido contributo de Thomas Edison, e da camisa de gás em finais do século XIX. Em 1903 foi apresentada a primeira lâmpada funcional incandescente com filamento de tungsténio, começando a sua produção comercial em 1907 com o contributo de conhecidas companhias como a Philips e a Siemens.

Consideráveis progressos foram sendo feitos nesta tecnologia ao longo de todo o século XX. Paralelamente foram efetuadas investigações relativas à produção de luz como resultado da descarga elétrica em gases e vapores metálicos sendo já em pleno século XX que são produzidas as primeiras lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio às quais se seguiram as lâmpadas fluorescentes.

A tecnologia mais recente é a da produção de luz através da passagem de corrente elétrica em semicondutores - LED (díodos emissores de luz) tendo os mesmos contribuído significativamente na migração para novos sistemas de iluminação otimizados e mais eficientes.

O enorme desenvolvimento que ocorreu nos últimos dois séculos nas formas de produção de luz artificial levou à criação de uma disciplina científica e tecnológica que se dedicasse ao estudo destes assuntos. Foi em 1880 que, no resultado da criação da lâmpada de incandescência, Werner Von Siemens referiu o termo “Tecnologia da Iluminação” pela primeira vez. A base científica para este termo está nas medições quantitativas de luz, ou seja na fotometria, que remonta a cerca de 1760 com a publicação de trabalhos de Pierre Bouguer e Johann Heinrich Lambert sobre a comparação da luminosidade entre diversas fontes de luz. Estes e outros estudos levaram, por exemplo, à construção do fotómetro, aparelho capaz de medir a intensidade da luz [6].

Com o fluir do tempo surgiu a necessidade de encontrar parâmetros que permitissem aprofundar esta ciência e definir grandezas convenientes e apropriadas, como por exemplo um padrão de luz reprodutível. Este e outros assuntos foram pois sendo discutidos em diversos encontros, congressos e paralelamente, foram sendo criadas várias associações de

iluminação sendo a mais conhecida e influente a Comissão Internacional de Iluminação (CIE – *Commission International de l’Eclairage*) fundada em 1900, responsável pela organização em 1998 do primeiro simpósio em qualidade de iluminação (*first CIE symposium on lighting quality*) em Ottawa, Canadá e, posteriormente, de conferências de peso como em 2010 *Lighting Quality and Energy Efficiency* em Viena, Áustria e em 2014 em Kuala Lumpur, Malásia. [7].

A disponibilidade cada vez maior de fontes de luz e o aumento dos níveis de eficiência e de luminosidade levaram a que progressivamente a iluminação viesse a ser encarada como um bem essencial aumentando assim a dependência da sociedade face a esta comodidade. Como tal, tornou-se imperativo otimizar os sistemas de iluminação, utilizando para o efeito a tecnologia, de maneira a tornar os serviços mais eficientes a nível energético assim como relevantes a nível económico.

2.2 - Luz e Radiação Eletromagnética

Para que se possa compreender o encadeamento de todo este processo é importante perceber alguns conceitos fundamentais. A radiação eletromagnética é uma forma de energia composta por uma componente de campo elétrico e outra de campo magnético que se propagam simultaneamente no espaço. Trata-se de um fenómeno físico complexo que se encontra estudado e descrito essencialmente através de duas teorias distintas.

A primeira teoria é a de Maxwell que descreve a radiação eletromagnética como um fenómeno de natureza ondulatório em que as suas diferentes propriedades são dependentes do comprimento de onda da radiação. É importante perceber que quando fazemos uma chamada móvel nada mais ativamos do que uma equação de Maxwell.

A outra teoria foi formulada por Planck e é denominada teoria quântica. Esta refere que todas as formas de radiação consistem em pequenas quantidades indivisíveis de energia designadas por quanta, de tal forma que diferentes tipos de radiação consistirão em quantas de nível de energia diferente.

Ambas as teorias fornecem uma explicação cabal para partes distintas da radiação eletromagnética. A teoria de Maxwell explica as leis da propagação da luz, sendo a teoria quântica adequada para explicar a forma como a radiação é emitida e absorvida. Dessa forma tornou-se impossível escolher uma teoria principal que regule os fenómenos físicos associados à radiação. Foi em parte conseguido por De Broglie e Heisenberg que publicou em 1927 uma equação matemática que indica o grau de impossibilidade em observar simultaneamente a radiação na sua natureza ondul e de partícula, naquela que ficou conhecida como o princípio da incerteza de Heisenberg [6]. A radiação eletromagnética envolve então um conjunto alargado de fenómenos que podem portanto ser definidos pelo seu comprimento de onda. Diferentes comprimentos de onda referem-se, portanto, a diferentes regiões do espectro eletromagnético.

A luz consiste então em radiação eletromagnética com um comprimento de onda tal que pode ser percecionada pelo olho humano. O espectro visível situa-se entre os comprimentos de onda de 380 a 780 nanómetros [5]. Para comprimentos de onda superiores situam-se as radiações infravermelhas que se caracterizam pela emissão de calor sensível ao ser humano, as ondas de radar, seguindo-se as ondas de televisão e rádio FM e AM. Com comprimentos de onda inferiores aos 380 nanómetros existem as radiações ultravioletas emitidas, por exemplo, pelo sol e que são responsáveis pelo bronzeamento da pele, descoloração dos objetos ou outros efeitos mais nocivos. Para comprimentos de onda ainda

menores situam-se os raios X, capazes de penetrar os corpos, seguindo-se a perigosa radiação gama e os raios cósmicos [6].

A radiação visível situa-se portanto numa porção muito limitada do espectro eletromagnético. Para diferentes comprimentos de onda dentro desse limite é possível distinguir diversas regiões que se manifestam através da maior ou menor sensibilidade para o olho humano, e se traduzem na percepção das diferentes cores. O espectro visível, normalmente designado como luz branca é composto por uma combinação desses diferentes comprimentos de onda, ou seja, das várias cores. Uma fonte de luz emite portanto radiação com comprimentos de onda no espectro visível podendo também conter radiação infravermelha e ultravioleta. A figura que se segue ilustra o espectro eletromagnético e a gama, notoriamente reduzida, correspondente à luz visível.

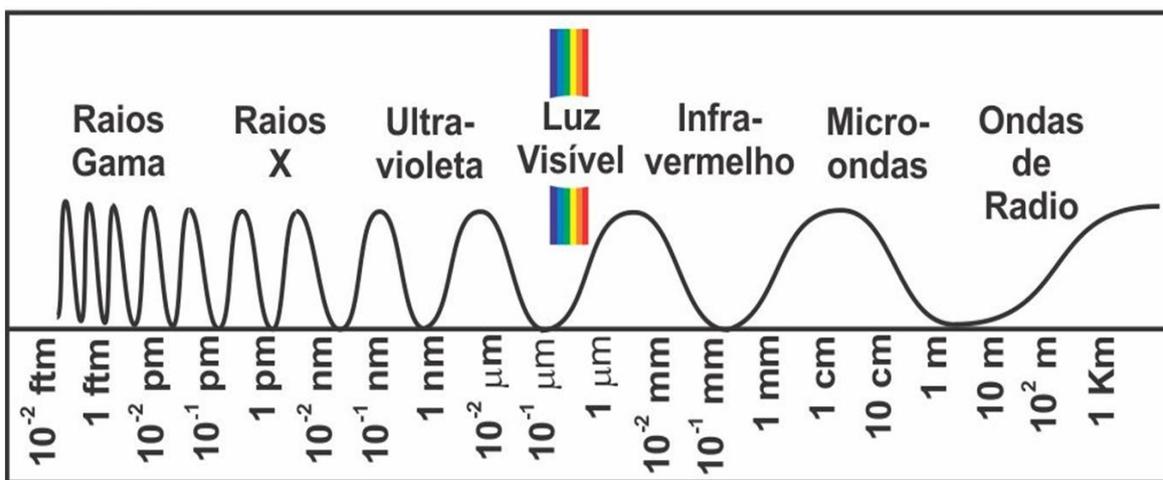


Figura 2.1 – Espectro Eletromagnético [3]

De facto, analisando com alguma abstração o que foi dito, e tendo em atenção que uma lâmpada poderá ser considerada uma antena que emite radiação dentro da gama do visível, possivelmente num futuro a médio prazo a iluminação poderá servir não só para iluminar mas também para comunicar. Porém, se convertermos para frequência os comprimentos de onda respeitantes à gama do visível facilmente nos apercebemos que estamos numa ordem de grandeza na ordem das centenas de *terahertz*.

2.3 - Principais Grandezas e Parâmetros

Neste ponto apresentam-se as grandezas e os parâmetros que permitem aferir acerca da iluminação em geral, e respetivo desempenho dos diversos tipos de lâmpadas, que serão apresentadas no próximo capítulo. Inicialmente serão apresentadas as seguintes grandezas fundamentais: Fluxo luminoso, Intensidade luminosa, Iluminância e Luminância. Seguidamente definem-se alguns dos principais parâmetros luminotécnicos usados para comparação qualitativa das fontes de iluminação tais como: Rendimento luminoso, Temperatura de cor, Índice de restituição de cores e Duração de vida.

O processo de quantificação das radiações eletromagnéticas naturalmente baseia-se em medidas relacionadas com grandezas tradicionais tais como a potência ou a energia. Para o caso particular da radiação visível existe um conjunto específico de grandezas porque, para além de levar em conta as quantidades de energia presentes na radiação, devem ser considerados os efeitos que esta tem ao nível da percepção do sistema visível humano.

Como já foi referido, a luz corresponde a uma pequena porção de todo o espectro eletromagnético que, por sua vez, consegue ser percebida pelo olho humano e está compreendida para comprimentos de onda situados entre os 380 e os 780 nanómetros [5]. Porém nem toda essa radiação produz a mesma luminosidade. A figura 2.2 ilustra a curva de sensibilidade ocular ao espectro eletromagnético em função do comprimento de onda, verificando-se que a sensibilidade é máxima (=1) para a radiação correspondente ao verde com um comprimento de onda aproximado de 555 nanómetros. Com base nisso seria possível definir uma unidade de medida correspondente ao watt luminoso, que equivaleria à radiação de 1 Watt a um comprimento de onda de 555 nm, pelo que para diferentes comprimentos de onda, ter-se-ia de afetar esse valor por um fator dado pela curva de sensibilidade [6].

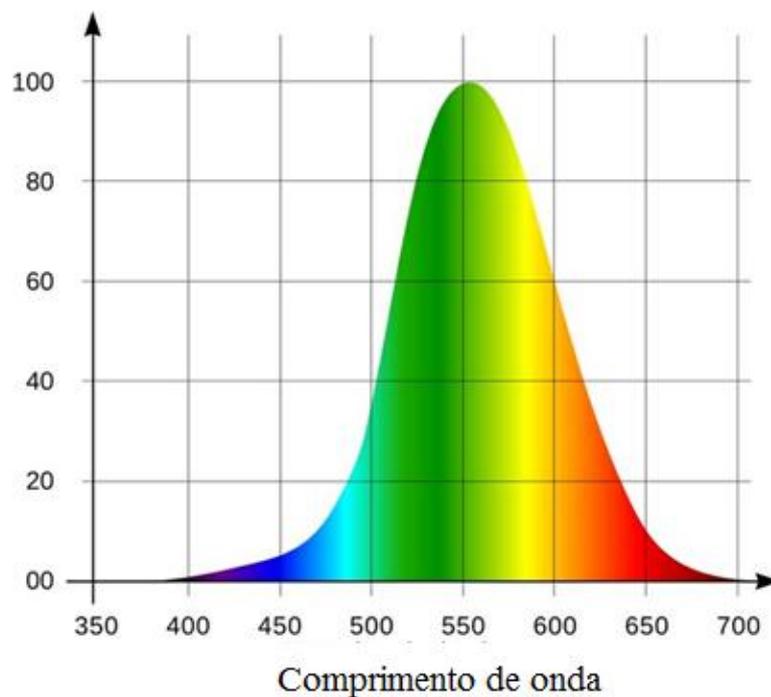


Figura 2.2 – Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível em função do comprimento de onda [6].

No entanto, a unidade adotada resultou de um conceito que caracteriza a intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz numa dada direção. Assim, definiu-se que uma fonte de luz emitindo uma candela de intensidade luminosa em todas as direções produz uma conhecida quantidade de luz por segundo, ou seja um lúmen. Este tornou-se então o padrão generalizado de medida de luz. Definem-se então as seguintes grandezas.

Fluxo luminoso

O fluxo luminoso (Φ) é a quantidade total de luz emitida por segundo por uma fonte luminosa e a sua unidade é o lúmen (lm). É a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, em todas as direções, a qual produz estímulos visuais dentro do espectro visível (380 a 780 nm). Uma radiação de 1 watt com comprimento de onda de 555 nm, ou seja um watt luminoso, corresponde a um fluxo luminoso de 683 lúmen [5]. A tabela seguinte ilustra alguns valores típicos do fluxo luminoso para diferentes fontes.

Fonte	Fluxo Luminoso (lm)
LED de potência (1 W)	35
Lâmpada Incandescente (40 W)	415
Lâmpada fluorescente (65 W)	4800
Lâmpada halogénea (20 KW)	580000

Tabela 2.1 – Exemplo de fontes luminosas e respetivo fluxo luminoso

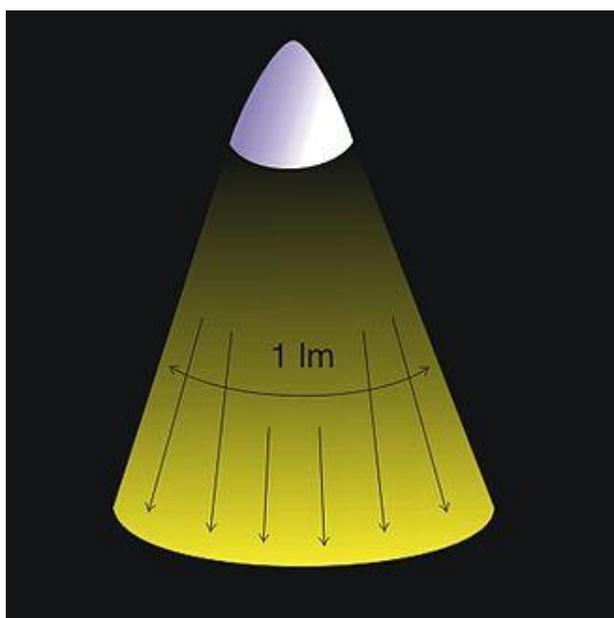


Figura 2.3 – Fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa [4]

Intensidade luminosa

Para compreender o conceito de intensidade luminosa é necessário conhecer o conceito de ângulo sólido ou seja aquele que, visto do centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre a superfície dessa mesma esfera tal como se pode visualizar na figura 2.4. A equação 2.2 expressa o conceito de ângulo sólido, a sua unidade é o esterradiano (sr).

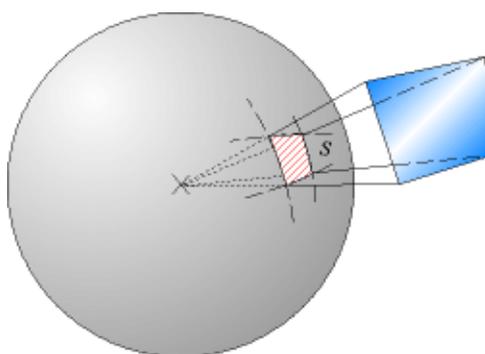


Figura 2.4 – Representação do ângulo sólido [26]

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad (2.1)$$

Onde:

- ω é o ângulo sólido (sr);
- S é a área de superfície esférica (m^2);
- r é o raio da esfera (m).

A intensidade luminosa (I) mede a concentração de luz emitida por segundo numa determinada direção e a sua unidade é a candela (cd). É definida pelo fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz numa dada direção por unidade de ângulo sólido. Para se determinar o seu valor adota-se um vetor para uma dada direção, e o seu comprimento indica uma determinada intensidade luminosa. A equação (2.2) expressa a intensidade luminosa.

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (2.2)$$

Onde:

- ω é o ângulo sólido (sr);
- I é a intensidade luminosa (cd).

Iluminância

A iluminância (E), também por vezes referida como iluminação, é a quantidade de luz ou fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada e a sua unidade é o lux ou lúmen por metro quadrado. Se o fluxo luminoso de 1 lúmen incidir numa superfície de 1 metro quadrado a iluminação dessa área é de 1 lux. A equação 2.3 expressa a grandeza iluminância. É uma unidade base para a luminotecnia e é normalmente muito usada para fazer alusão ao nível de iluminação necessária para as diversas aplicações.

A título de exemplo, alguns valores típicos de iluminância são os seguintes: 100000 lux para um dia limpo de sol, 1000 lux para um escritório de trabalho e 30 lux para iluminação noturna de via pública.

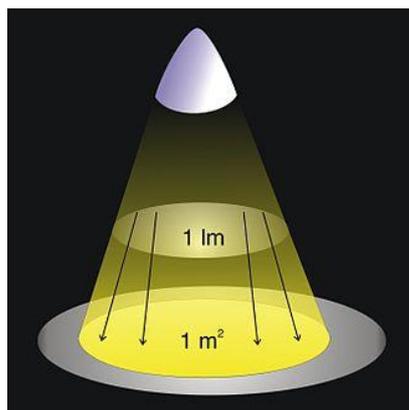


Figura 2.5 – Esquema do fluxo luminoso de 1 lúmen que incide sobre uma área de 1 metro quadrado e produz uma iluminância de 1 lx [27]

Dependendo da atividade que se realiza, a fim de se obter conforto visual, é necessário garantir certos níveis de iluminância. Os mesmos são recomendados pela norma (EN-12464-1).

Luminância

A Luminância (L) especifica a intensidade luminosa emitida por unidade de área numa determinada direção. É definida como o quociente entre a intensidade luminosa emitida por uma fonte sobre uma superfície e pela área aparente dessa superfície e é medida em candela por metro quadrado (cd/m^2). A área aparente corresponde à área projetada num plano perpendicular à direção de observação. A equação 2.4 expressa a grandeza luminância.

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad (2.4)$$

Onde:

- L é a luminância (cd/m^2);
- I é a intensidade luminosa (cd);
- A é a área projetada (m^2);
- α é o ângulo considerado em graus.

Como é difícil medir a intensidade luminosa (I) que provém de um corpo não radiante, pela reflexão, pode-se recorrer à equação 2.5

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2.5)$$

Onde:

- L é a luminância (cd/m^2);
- ρ é o coeficiente de reflexão (cd);

- **E** é a iluminância (lx).

As quatro definições apresentadas (fluxo luminoso, intensidade luminosa, luminância, iluminância) constituem as grandezas fundamentais da luminotecnica sendo normalmente à custa destas que são projetadas as aplicações práticas de iluminação e existem relações conhecidas entre elas que são úteis nessas aplicações. Para além destas grandezas existem alguns parâmetros adicionais que são igualmente importantes, particularmente na avaliação das características das diferentes fontes de iluminação que vão ser apresentadas de seguida.

Rendimento luminoso

O rendimento luminoso é definido como o quociente do fluxo luminoso emitido por uma fonte de iluminação e a sua potência elétrica absorvida. É expresso em lúmen por watt (lm/W). Este é o principal parâmetro de medida da eficácia energética de uma fonte de iluminação, uma vez que avalia a proporção de energia que efetivamente é convertida em luz. Não nos esqueçamos que todos os processos de produção de luz acarretam, invariavelmente, perdas de energia. Essas perdas significam pois transformações de energia elétrica em outras formas de energia que não a Luz como sejam a radiação ultravioleta ou infravermelha ou perdas de calor por condução ou convecção [5].

Obviamente que o rendimento luminoso, sendo definido à custa do fluxo luminoso, é dependente da sensibilidade do olho humano à radiação emitida, ou seja, mesmo a energia que é convertida em radiação de comprimento de onda perceptível pelo olho humano causa diferentes níveis de sensação, e como tal o rendimento luminoso relaciona-se diretamente com a curva de sensibilidade espectral da figura 2.2. Como já fora analisado, a máxima percepção visual ocorre para um comprimento de onda de 555 nanómetros. Então uma radiação de 1 Watt com este comprimento de onda produz um fluxo luminoso de 683 lúmen pelo que o rendimento luminoso teórico máximo é de 683 lm/W. Na prática os valores são significativamente inferiores devido aos processos de funcionamento das diversas lâmpadas e às perdas de energia associadas. Finalmente interessa salientar que o rendimento luminoso pode ser referente à lâmpada, luminária, ou todo o sistema produtor de luz, uma vez que alguns tipos de lâmpadas necessitam de aparelhagem auxiliar para o seu funcionamento e portanto os valores de rendimento luminoso devem-se referir ao processo integral de produção de luz de determinada tecnologia luminotécnica.

Temperatura de cor

A temperatura de cor é uma característica da luz que indica a cor aparente de luz emitida e vem expressa em graus Kelvin. Ela é determinada através da escala de temperatura de cores inserida no triângulo de cores da CIE (Comissão de Iluminação Internacional) que é um sistema de classificação de cores. Um corpo negro é um conceito físico derivado da propriedade de emissão de radiações dos corpos quando aquecidos. Assim um corpo que,

quando aquecido acima de uma determinada temperatura, emita energia em todo o espectro até ao valor máximo teórico de acordo com a sua temperatura é um emissor térmico perfeito. É também um objeto capaz de absorver toda a radiação sobre ele emitida o que significa que nenhuma radiação o atravessa ou é refletida. Assim, a temperaturas tão reduzidas que não seja possível a emissão de radiação visível ele terá um aspeto perfeitamente negro, daí a sua designação de corpo negro radiador [5].

Se uma fonte de luz tiver uma distribuição espectral semelhante à do corpo negro, como acontece com as fontes térmicas (e.g. lâmpadas de incandescência), ele terá a sua localização no triângulo de cores na curva de *planck* ou muito próxima desta. Para outras fontes, como as lâmpadas fluorescentes, com uma distribuição espectral diferente existem linhas isotérmicas que permitem calcular a sua temperatura de cor desde que não se encontrem demasiado afastadas da linha de *planck* [6]. As temperaturas de cor da luz emitida por uma fonte luminosa têm uma relação próxima com a sua aparência e evidenciam-se na seguinte tabela:

Temperatura de cor (°K)	Tonalidade
<3300	Branco Quente
>3330 e <5000[Branco Neutro
>5000	Branco frio

Tabela 2.2 – Tonalidade da luz em função da temperatura de cor

Índice de restituição de cores.

O índice de restituição de cores (IRC) é a propriedade das fontes de iluminação que indica a sua capacidade de restituir corretamente as cores de um objeto ou superfície. Assim, sobre diferentes formas de iluminação, um mesmo objeto pode ter aparências distintas como por exemplo, uma tonalidade branca quando iluminado por uma lâmpada fluorescente ou mais amarelada quando iluminado por uma lâmpada de incandescência. O IRC é expresso numa escala de 0 a 100 em que o valor maior corresponde à máxima restituição possível. [10]

Tempo de Vida

Este parâmetro refere-se ao tempo de funcionamento de uma lâmpada até deixar de poder operar nas suas condições normais. É difícil prever a duração de uma lâmpada individual com exatidão pois depende de uma imensidão de fatores como as tensões e correntes de funcionamento, temperatura ambiente, condições de operação, etc. Contudo, existem formas de estimar o tempo médio de vida de um conjunto de lâmpadas através de testes e medições em determinadas condições. Usualmente, para LED's, o tempo de vida é especificado como o tempo até atingir 70% da eficiência máxima. Para além deste indicador, os fabricantes podem definir outros valores de referência como um tempo de vida mínimo ou a depreciação de lúmen emitido ao longo do seu tempo de funcionamento.

De qualquer forma a análise da duração de funcionamento de uma lâmpada varia significativamente com a tecnologia de iluminação em questão, já que as causas de falha são muito diversas, pelo que os parâmetros adequados serão usados na descrição das diversas tecnologias no capítulo seguinte. Finalmente é importante referir que a curva de sensibilidade apresentada, e portanto as grandezas e parâmetros que daí resultam, referem-se ao funcionamento do olho humano no modo de visão fotópica. Com efeito, o olho humano tem a capacidade de se adaptar às condições de iluminação existentes havendo pois partes específicas deste a funcionar consoante o nível de iluminação. Assim, para níveis de luminância mais elevados, normalmente acima dos 10 cd/m², o olho funciona no modo de visão fotópica ou visão diurna que se caracteriza pelo funcionamento dos cones oculares existentes principalmente no centro da retina. É nesta situação que a maioria das aplicações luminotécnicas irá trabalhar e é para níveis de iluminâncias entre os 500 e os 2000 lux, que compreende a maioria das tarefas de trabalho, que são realizadas a generalidade das investigações relativas ao funcionamento do olho humano. Como tal, é com base na curva de sensibilidade espectral fotópica, ou seja com as grandezas fotométricas, que se caracterizam as fontes de iluminação [9]. A visão escotópica ou noturna ocorre para valores de luminância normalmente inferiores a 0,01 cd/m². É o que acontece geralmente para noites estreladas em que os cones oculares deixam de funcionar e a sensibilidade à luz provém essencialmente dos bastonetes situados na zona periférica da retina. Nesta situação não há perceção de cor, e a maior eficácia visual desloca-se no espectro visível para a zona do azul esverdeado para um comprimento de onda de 507 nanómetros. Entre os extremos da visão escotópica e da visão fotópica, ou seja para uma luminância compreendida aproximadamente entre 0,01 e 10 cd/m², situa-se a visão mesópica característica de situações de entardecer ou de noite com um luar intenso. Nesta situação tanto os cones como os bastonetes oculares encontram-se em funcionamento, e é o que acontece na generalidade das situações de iluminação exterior. Este facto é importante, tanto mais porque uma das mais importantes aplicações de iluminação, e que constituirá o caso de estudo neste trabalho, é a iluminação exterior fabril, em que a situação de visão mesópica deve ser levada em conta na avaliação das diferentes soluções. Acresce a isso a dificuldade de não haver atualmente um padrão internacional bem definido para esta zona de visão, nomeadamente uma curva de sensibilidade espectral [9].

2.4 - Qualidade da luz

A qualidade da luz é uma noção abstrata que reflete a adequabilidade da iluminação artificial à realização de determinada tarefa pelo ser humano. O projeto e implementação de uma aplicação luminotécnica deve ser baseada em função da área a ser iluminada e respeitando alguns parâmetros concretos relativos à perceção visual humana. Esses parâmetros são: o nível de iluminação, a distribuição da luminosidade ao campo de visão, ausência de encandeamento, direção da luz e sombras, cor da luz, aparência de cor e a reprodução de cor.

Nível de iluminação

O nível de iluminação é um dos aspetos mais importantes a considerar relativamente à conceção de uma instalação. É normalmente especificado com recurso à grandeza

iluminância já previamente referida como o fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada e cuja unidade é o lux (lúmen por metro quadrado). Dependendo do cenário concreto da aplicação são definidos os planos de interesse, ou seja, a altura mais indicada para considerar as atividades que aí vão decorrer. Para uma aplicação em ambiente interno é comum considerar-se o plano de trabalho, por exemplo a uma altura de 0.75m. Se for em ambiente externo o plano de interesse será normalmente a altura do chão [6]. A escolha da iluminância adequada para uma aplicação tem de ter em conta o grau de exigência ao olho humano que as tarefas a serem realizadas acarretam. Quanto maiores forem as exigências do trabalho a executar maior deve ser a iluminância. Assim, o nível de iluminação depende de fatores como a duração do trabalho, a velocidade a que este deve ser realizado, o risco de se cometer erros, a idade do trabalhador, quantidade de luz natural presente, etc. Portanto são estabelecidas recomendações por entidades como a comissão internacional de iluminação C.I.E. Em seguida apresenta-se uma tabela ilustrativa da iluminância aconselhada para a maior parte das tarefas.

Tarefa	Iluminação Recomendada (lux)
Iluminação Exterior	30
Nível geral para indústria	300
Oficinas, Lojas, Armazéns	500
Escritórios, laboratórios	750
Trabalho de precisão; avaliação de cores	>1000

Tabela 2.3 – Nível de iluminância recomendado para algumas tarefas

A qualidade de iluminação abrange ainda um conjunto mais alargado de parâmetros, porém de difícil quantificação, mas nem por isso devem ser considerados menos importantes visto que refletem essencialmente noções relativas ao conforto do olho humano face à luminosidade existente. Serve isto para referir que as fontes de iluminação, e mais especificamente a componente espectral da luz, por elas emitidas, têm uma repercussão na forma como são vistos todos os objetos, superfícies, e demais componentes que nos rodeiam. Tal deve ser considerado nos projetos de iluminação e, igualmente, em atividades banais do dia-a-dia.

3 - Tecnologias de Iluminação

Este capítulo será iniciado com uma breve história acerca da evolução dos sistemas de iluminação. De seguida são apresentadas algumas das tecnologias mais utilizadas na atualidade com especial ênfase na tecnologia LED ou, de outra forma, na tecnologia de iluminação de estado sólido através de díodos emissores de luz. As diferentes tecnologias são alvo de análise no que concerne à sua constituição, princípio de funcionamento, balanço energético e características do espetro eletromagnético produzido. Serão explicitados valores típicos de rendimento luminoso, tempo de vida, índice de restituição de cores assim como temperatura de cores para as distintas tecnologias.

3.1 - Enquadramento histórico da Energia

A origem da eletricidade, bem como o termo adotado para este fenómeno remonta aos tempos da civilização grega. Numa primeira fase a eletricidade teve como principal campo de aplicação a iluminação pública contudo não nos esqueçamos que foi ela que contribuiu significativamente para a revolução industrial no século XIX assim como no desenvolvimento tecnológico, social e económico de diversos países. Numa segunda fase a eletricidade integra-se nos bens de consumo, tendencialmente imprescindíveis ao bem-estar e conforto da sociedade. É fulcral evidenciar o caráter único e específico da energia elétrica no contexto de outras comodidades tais como o facto de o seu armazenamento, apesar de ser possível, ainda não se encontrar otimizado nem eficiente, o seu consumo se efetuar à medida da sua produção e a sua procura sofrer flutuações à medida que o tempo flui. [20]. Atualmente a energia é interpretada como um bem de consumo e, numa perspetiva etimológica desperta uma visão de sustentabilidade.

3.2 - Dispositivos de Iluminação

Atualmente os diversos sistemas de iluminação agrupam-se de acordo com a seguinte Figura 3.0

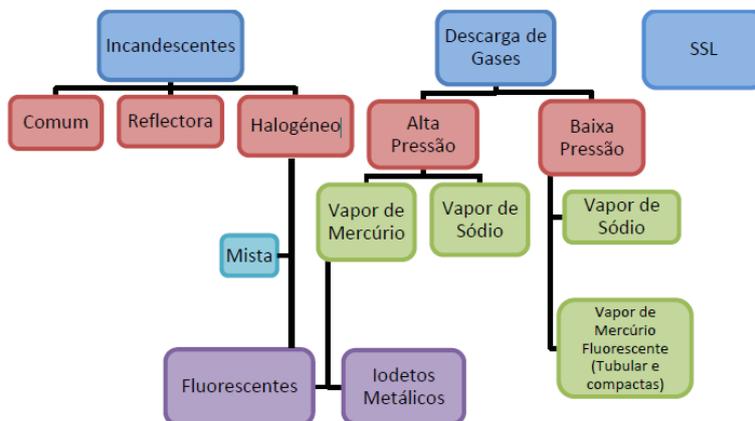


Figura 3.1 – Diagrama expositivo das várias tecnologias de iluminação [28]

3.2.1 - Incandescência

Esta forma de produção de luz artificial é realizada com um aparelho emissor de radiações por elevação da temperatura que resulta da passagem de corrente elétrica por um material condutor. As radiações emitidas desta forma, ou seja, em resultado do aquecimento de materiais, têm em geral a denominação de radiações térmicas ou caloríficas já que dependem exclusivamente da temperatura do corpo emissor. Quando parte dessa radiação é emitida dentro do espectro visível dá-se o fenómeno de incandescência, sendo por isso denominada radiação incandescente [5].

3.2.1.1 - Lâmpada de incandescência normal

Tal como se visualiza na figura 3.1, uma lâmpada de incandescência é constituída pelo filamento, ampola, gás de enchimento e base. O filamento, tipicamente constituído por tungsténio, é o responsável pela emissão de luz. O gás de enchimento é inserido dentro da ampola, envolvendo o filamento, e tem a função de reduzir a vaporização deste último devido ao funcionamento a altas temperaturas. Normalmente usam-se gases inertes para o efeito como azoto, árgon ou cripton conseguindo-se maiores temperaturas de funcionamento o que se repercute em maiores rendimentos luminosos.



Figura 3.2 – Constituição de uma lâmpada de incandescência [30]

Como já fora referido a produção de luz artificial por incandescência implica a elevação da temperatura de um corpo. Porém, da radiação produzida, apenas uma pequena porção corresponde a comprimentos de onda sensível ao olho humano o que significa que a maior parte da energia elétrica fornecida para o funcionamento da lâmpada de incandescência é dissipada.

Numa lâmpada de incandescência têm-se, aproximadamente, a seguinte distribuição energética resultante do seu funcionamento: 70% de radiação infravermelha; 20% de perdas por convecção e condução (resultantes da atmosfera gasosa que envolve o filamento) e 10%

de radiação incandescente útil e, portanto, visível para o olho humano [5] o que se repercute numa tecnologia que, tendencialmente, está em obsolescência.

3.2.1.2 - Lâmpada de halogéneo

A fim de evitar o enegrecimento das ampolas nas lâmpadas de incandescência existe um processo que consiste na adição de halogéneo ao gás de enchimento e portanto, adicionando iodo, flúor ou bromo vai permitir o funcionamento de um ciclo de halogéneo regenerativo que consiste na combinação do halogéneo com o tungsténio vaporizado formando um gás que, através de correntes de convecção, se aproxima do filamento. Devido às altas temperaturas esse gás é decomposto em tungsténio voltando a depositar-se no filamento [5]. Na figura seguinte ilustra-se algumas lâmpadas de halogéneo.



Figura 3.3 – Lâmpadas de halogéneo [32]

Com o propósito de suportar os elevados valores de temperatura necessária ao ciclo de halogéneo é usada uma ampola de quartzo. A reutilização de tungsténio permite aumentar a durabilidade média deste tipo de lâmpadas para as 2000/3000 horas. Permite igualmente temperaturas de funcionamento maiores e que se traduz num aumento dos fluxos e rendimentos luminosos que podem alcançar os 25 lm/W [10].

3.2.1.3 - Lâmpada de incandescência refletora

De entre as lâmpadas de incandescência é ainda de referir as lâmpadas refletoras. Para além de particularidades construtivas, como diversas formas e materiais usados, têm como principal característica o facto de possuírem uma cobertura espelhada incorporada na superfície interior da ampola que permite a reflexão do fluxo luminoso emitido pelo filamento.

O material usado, normalmente o alumínio, é denominado refletor dicróico visto ter a propriedade de refletir alguns comprimentos de onda e absorver outros, alterando portanto as características do espectro emitido, permitindo assim modelar as características da luz. [5]

3.2.2 - Descarga elétrica em gases

Contrariamente às radiações incandescentes, as radiações que não dependem da temperatura do corpo denominam-se luminescentes. Este tipo de radiação depende fundamentalmente da estrutura atômica do corpo emissor e não se pode expressar em função da temperatura, mas sim relaciona-se com as trocas energéticas que ocorrem a nível dos seus átomos. É este tipo de radiações que acontecem nas lâmpadas de descarga e segundo as quais é baseado o seu princípio de funcionamento. Para se perceber de que forma ocorre este tipo de radiação há que considerar a matéria a nível atômico e dos seus principais constituintes.

Um átomo é constituído pelo núcleo com neutrões (carga elétrica nula) e prótons (carga elétrica positiva). Fora do núcleo existem eletrões em número igual ao de prótons com carga negativa que executam trajetórias ou órbitas à volta do núcleo. As referidas órbitas que cada eletrão realiza, correspondem a um nível de energia potencial associado a essa partícula. Assim, eletrões com órbitas mais afastadas do núcleo têm maior energia potencial do que aqueles que circulam mais perto. Se não houver perturbações exteriores o átomo encontra-se num estado de equilíbrio em que o número de cargas positivas e negativas é igual, não havendo qualquer emissão ou absorção de energia por parte dos eletrões. No entanto, se houver uma atuação externa nos átomos, por exemplo devido à aplicação de uma tensão elétrica no material, o átomo pode ir para um estado de excitação que poderá conduzir ao aparecimento de diferentes fenómenos. Por um lado, os eletrões mais exteriores alargam as suas orbitas podendo libertar-se da estrutura atômica tornando-se eletrões livres. Outros eletrões passam a ocupar órbitas mais exteriores devido ao excedente de energia. Finalmente, outros eletrões podem passar a ocupar órbitas mais interiores, que ficam entretanto desocupadas devido às variações de energia, e como para o fazer têm de diminuir o seu nível de energia potencial, transformam esse excedente sob a forma de radiação.

A energia radiante emitida pela passagem de um eletrão para uma órbita mais interior não é sempre igual. Essa radiação pode ser luz no espectro visível, infravermelha, ultravioleta, raios X, etc. Pode portanto ter diversos comprimentos de onda. Em geral, quanto maior for o número de órbitas que o eletrão transita em direção ao interior do átomo menor será o comprimento de onda da radiação emitida.

As radiações luminescentes podem ter diversas classificações segundo o tipo de agente responsável pelo seu aparecimento. Assim, pode haver radiações emitidas por corpos radioativos, causadas por fenómenos químicos ou bioquímicos, provocadas por agentes mecânicos, etc. Para as aplicações práticas de iluminação interessam porém as radiações luminescentes produzidas pela descarga elétrica em gases e vapores metálicos [5]. As lâmpadas de descarga elétrica em gases, tal como se visualiza na figura 3.0 podem ser:

- Fluorescentes
- Luz mista
- Vapor de mercúrio
- Vapor de sódio
- Iodetos metálicos

3.2.2.1 - Lâmpadas Fluorescentes

São lâmpadas que utilizam a descarga elétrica através de um gás para produzir luz. Estas lâmpadas são constituídas por um tubo, tendo nas suas extremidades eletrodos metálicos revestidos com um óxido por onde circula a corrente elétrica. No interior do tubo existe vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão e as suas paredes internas são revestidas de materiais fluorescentes, conhecidos como cristais de fósforo. As lâmpadas fluorescentes necessitam de equipamentos auxiliares tais como o arrancador e o balastro (reator).

O arrancador é um dispositivo constituído por um pequeno tubo, dentro do qual são colocados dois eletrodos imersos num gás inerte responsável pela formação inicial do arco que permite estabelecer contacto entre os eletrodos. O arrancador permite despoletar um pulso de tensão e fazer o arranque da lâmpada. Muitas vezes têm associado um condensador em paralelo, para compensar o fator de potência quando são utilizados balastros eletromagnéticos.

Quanto aos balastros, estes podem ser de dois tipos, eletromagnéticos ou eletrónicos. Um balastro eletromagnético, consiste basicamente numa bobina com o núcleo de ferro, ligada em série com a alimentação da lâmpada. A sua função é provocar um aumento de tensão durante a ignição e uma uniformização na intensidade da corrente durante o funcionamento da lâmpada.

No caso de balastros eletrónicos, estes têm exatamente a mesma função. Contudo operam pela elevação da frequência de trabalho por técnicas de comutação, permitindo excluir a necessidade da utilização de arrancador e eliminando a cintilação das lâmpadas. Devido ao seu tamanho e peso reduzidos permitiram ainda o aparecimento das LFC (lâmpadas fluorescentes compactas). Ilustram-se alguns exemplos destas últimas (LFC) na imagem seguinte.

Relativamente a eficiência, este tipo de lâmpadas, atualmente ronda os 80 lm/W.



Figura 3.4 – Lâmpadas fluorescentes compactas OSRAM [32]

3.2.2.2 - Lâmpadas de luz mista

Estas são constituídas por um tubo com vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungsténio que, para além de produzir um fluxo luminoso, atua também como estabilizador da lâmpada. Estas lâmpadas dispensam a utilização do balastro uma vez que o filamento além de produzir luz, limita sob a forma de resistência a corrente de funcionamento, podendo ser ligadas diretamente aos 230VAC



Figura 3.5 – Lâmpada luz mista [32]

3.2.2.3 - Lâmpadas de vapor de mercúrio

Na base construtiva destas lâmpadas temos um tubo de quartzo, contendo vapor de mercúrio em alta pressão, capaz de suportar elevadas temperaturas, possuindo em cada extremidade um eléctrodo principal e numa das extremidades outro eléctrodo auxiliar. Em funcionamento, quando a tensão é aplicada à lâmpada cria-se um campo eléctrico entre o eléctrodo auxiliar e o principal. O arco eléctrico gerado entre eles provoca um aquecimento que leva à ionização do gás e o aparecimento de vapor de mercúrio. Desta forma, a impedância eléctrica é reduzida e como a do circuito de partida é elevada, devido à presença de uma resistência de arranque em série, a descarga passa a ser feita pelos eléctrodos principais. A lâmpada leva cerca de 6 minutos a arrancar, e após ser desligada, o mercúrio não pode ser de novo ionizado até que a temperatura seja suficientemente baixa. Isto pode levar entre 3 a 10 minutos, dependendo da potência e das condições externas.

3.2.2.4 - Lâmpadas de vapor de sódio

Este tipo de lâmpadas pode ser encontrado sob duas formas distintas de operação ou seja, em alta e baixa pressão, as quais se ilustram de seguida. Salienta-se que, neste caso concreto a predominância é notoriamente VSAP (vapor sódio alta pressão) que corresponde precisamente à figura 3.7.

De seguida ilustram-se as lâmpadas de sódio de alta e baixa pressão, e caracterizam-se sinteticamente ambas as tecnologias.

- Baixa Pressão



Figura 3.6 – Lâmpada sódio baixa pressão [40]

As lâmpadas de sódio de baixa pressão são as fontes luminosas conhecidas com maior eficiência luminosa, isto porque todo o seu espectro é gerado numa gama de grande sensibilidade do olho humano, pois emitem radiação numa gama do espectro muito estreita e a luz tem coloração amarela. O principal problema é o baixíssimo valor de IRC que apresentam. As lâmpadas de sódio de baixa pressão são constituídas por um invólucro de vidro, capaz de manter o vácuo, revestido interiormente por uma fina camada de material transparente para a luz visível, mas refletor para a gama de infravermelhos. Este invólucro permite manter a atmosfera extremamente rarefeita necessária à formação do plasma de vapor de sódio, permitindo a saída da luz visível mantendo a radiação infravermelha no seu interior. No interior deste invólucro existe um fino tubo em forma de U, contendo sódio sólido e uma pequena quantidade de uma mistura gasosa de néon e argón necessários no arranque da lâmpada.

- Alta Pressão



Figura 3.7 – Lâmpada sódio alta pressão [40]

Neste tipo de lâmpadas o tubo é preenchido por um composto de sódio e mercúrio, além de uma mistura gasosa de néon e argon, que serve para despoletar o arranque. A principal perda em relação às congéneres de baixa pressão é o facto de terem uma menor eficiência luminosa, no entanto apresentam um IRC mais generoso. No geral, as lâmpadas de vapor de sódio são as mais utilizadas na iluminação pública, visto que a luz característica amarelada do fluxo luminoso emitido é especialmente útil em locais/situações de forte ocorrência de nevoeiro.

3.2.2.5 - Lâmpadas de iodetos metálicos

As lâmpadas de iodetos metálicos são similares às lâmpadas de vapor de mercúrio, contendo adicionalmente iodetos como: índio e sódio, que aumentam a eficiência luminosa (até 90 lm/W) e o rendimento cromático. Podem apresentar tonalidades amarelas ou brancas. Apesar do seu custo inicial elevado, podem ser indicadas devido a sua forma compacta, para ambientes internos. São especialmente recomendadas quando se necessita de ótima qualidade de iluminação e reprodução de cores.



Figura 3.8 – Lâmpada iodetos metálicos [40]

3.2.3 - Iluminação Estado Sólido

Aqui será feita uma descrição da tecnologia LED, apontada como o futuro da iluminação em geral. A tecnologia básica que está por detrás do aparecimento do LED surgiu na década de 60, quando cientistas trabalhavam com um *chip* semiconductor, dopando-o com impurezas de modo a criar uma junção p-n [11]. Tal como nos díodos, a corrente no LED circula da região p (ânodo) para a região n (cátodo). À semelhança do díodo, no LED, facilmente se cria uma corrente que flui da região tipo p para a região tipo n, mas não no sentido inverso [11]. A criação de luz acontece quando um eletrão atravessa a barreira de potencial da zona de depleção e encontra um buraco, caindo assim num nível de energia mais baixo, resultando na libertação de um fóton (libertação de energia). O comprimento de onda da luz que é gerada bem como a sua cor dependem da energia de *BandGap* (entenda-se como *BandGap* a energia que é necessária ultrapassar para que os eletrões se movam da banda de valência para a banda de condução [12] dos materiais usados para formar a região p-n. Na tabela seguinte explicitam-se as cores associadas a alguns semicondutores utilizados na atualidade neste tipo de tecnologia.

O LED é então uma fonte de luz no estado sólido (*Solid State Light*) que já tem vindo a substituir as lâmpadas incandescentes, e não só, em algumas áreas, como por exemplo em sinais de trânsito [13]. Normalmente produzem radiação numa banda estreita, o que pode levar a pensar que o seu uso onde luz branca é requerida não é possível. No entanto não é bem assim, uma vez que é possível produzir luz branca utilizando LEDs. Uma forma de o conseguir consiste em combinar a luz de saída de LEDs vermelhos, azuis e verdes (RGB) nas proporções corretas. Uma vez conseguida a luz branca é então possível a utilização desta tecnologia no âmbito da iluminação pública. De referir que também é possível implementar um LED que emite diretamente luz branca, utilizando para isso seleneto de zinco (ZnSe), possuindo um pico aos 460 nm e outro aos 560 nm. À semelhança de um díodo o LED tem uma curva característica que se evidencia na figura seguinte.

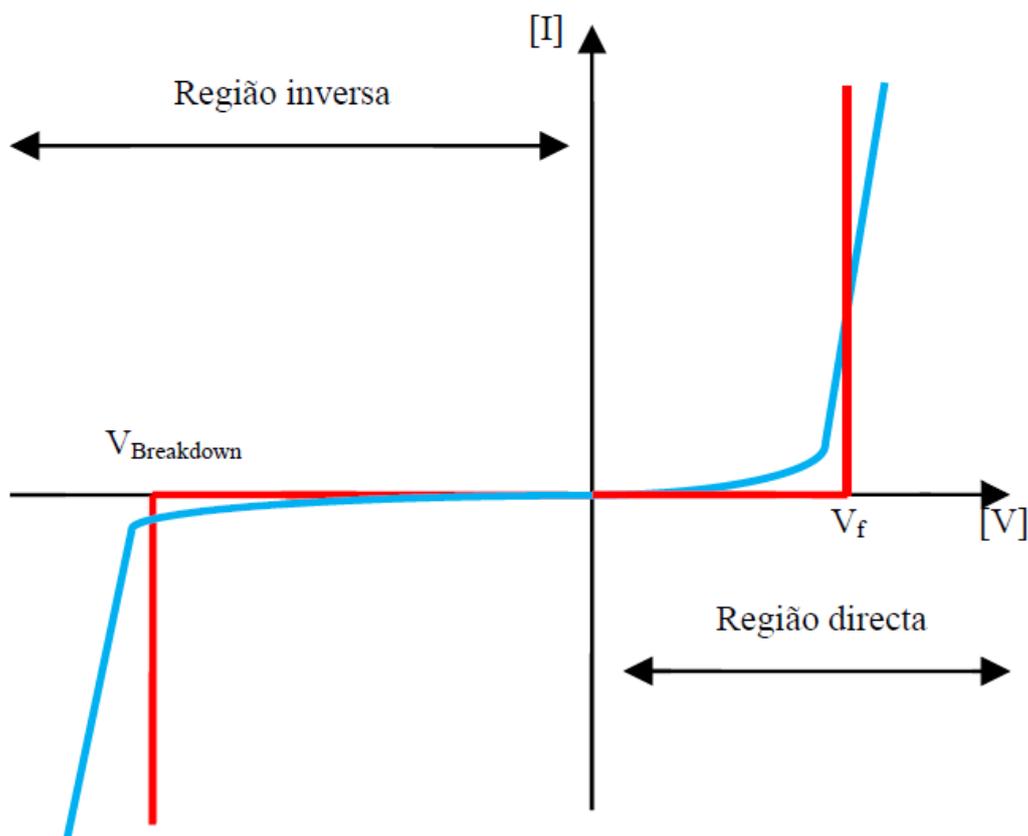


Figura 3.9 – Curva característica de um LED

3.2.4 - Comparativo entre tecnologias

Vantagens	Desvantagens
IRC aceitável (VSAP)	Distorção das cores pela emissão monocromática
Durabilidade elevada	Equipamento auxiliar
Variação fluxo luminoso	Arranque lento
Eficiência energética considerável	
Fluxo luminoso contante no tempo de vida	

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens das lâmpadas de vapor de sódio

Vantagens	Desvantagens
IRC bom	Custo elevado
Baixa carga elétrica	Equipamento auxiliar
Elevada eficiência	Não admitem flutuações de tensão superiores a 5%

Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens das lâmpadas de iodetos metálicos

Vantagens	Desvantagens
Ausência de partes móveis, mercúrio, gases e filamentos	
IRC elevado	Custo de aquisição elevado
Eficiência energética elevada	Necessidade de dissipadores
Melhor qualidade da luz	Dependência da temperatura
Facilidade na integração de sensores	Alimentação DC
Tamanho reduzido	
Arranque Imediato	
Facilidade na variação do fluxo luminoso	
Resistência a impactos e vibrações	
Tempo de vida elevado	
Pouca poluição	

Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens da tecnologia LED

3.3 - Normas entidades e regulamentos para a sustentabilidade energética

Salienta-se a importância de algumas normas/entidades que disciplinam os sistemas de iluminação e, também, a eficiência energética, enumerando as mesmas de seguida:

CIE – Comissão Internacional de Iluminação – 2001

Este órgão internacional recomenda níveis de iluminância média para iluminação interior [35].

Artigo 18º do Regulamento Geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos estabelecimentos Industriais (Portaria nº 702/80, de 22 de Setembro)

- Os locais de trabalho devem ser iluminados com luz natural, recorrendo-se à artificial, completamente, quando aquela seja insuficiente. Exceção-se os casos em que razões de ordem técnica impossibilitem a utilização de luz natural
- A iluminação dos locais referidos no número anterior deve ser adequada às operações e tipos de trabalho a realizar
- As vias de passagem devem ser, de preferência, iluminadas com luz natural
- Deve intensificar-se a iluminação geral onde existe perigo particular de acidente, designadamente nas zonas de risco de quedas
- Os níveis de iluminação não devem ser inferiores aos limites mínimos recomendados pelas entidades competentes
- As grandes variações de iluminação entre zonas contíguas devem ser atenuadas através de uma adequada graduação

Existem ainda mais alguns regulamentos que arbitram a a questão da energia como sendo:

Artigo 19º do Regulamento Geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos estabelecimentos Industriais (Portaria nº 702/80, de 22 de Setembro)

- As superfícies de iluminação natural devem ser dimensionadas e distribuídas de tal forma que a luz diurna seja uniformemente repartida e serem providas, se necessário, de dispositivos a evitar o encandeamento
- As superfícies de iluminação natural devem ser mantidas em boas condições de limpeza

Artigo 20º do Regulamento Geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos estabelecimentos Industriais (Portaria nº 702/80, de 22 de Setembro)

- Quando houver recurso à iluminação artificial, esta deve ser elétrica
- A iluminação geral deve ser de intensidade uniforme e de modo a evitar sombras prejudiciais
- Quando for necessária iluminação local intensa, esta, deve ser obtida por uma conveniente combinação de iluminação geral com iluminação suplementar no local onde o trabalho for executado
- Os sistemas de iluminação geral e suplementar devem ser instalados de forma a evitar o encandeamento
- Nos locais de trabalho onde se possa verificar o efeito estroboscópico, a instalação de iluminação deve obedecer às disposições regulamentares em vigor
- Os meios de iluminação artificial devem ser mantidos em boas condições de funcionamento e de limpeza.

RGCE – Regulamento da gestão do consumo de energia – O RGCE abrange empresas ou instalações consideradas consumidoras intensivas de energia ou seja, que verifiquem uma das seguintes situações:

- Ter tido, durante o ano anterior, um consumo energético superior ou igual a 1000 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano.
- Ter instalado equipamentos cuja soma dos consumos energéticos nominais seja maior do que 0.5 tep / hora
- Ter instalado pelo menos um equipamento cujo consumo energético nominal seja maior do que 0.3 tep / hora

Se a empresa em questão se enquadrar numa das situações descritas anteriormente e portanto estiver abrangida pelo RGCE torna-se obrigatório:

- Avaliar as condições em que opera no que concerne à utilização da energia (auditoria energética)
- Elaborar um plano de racionalização do consumo de energia (período de 5 anos) sujeito à aprovação do RGCE
- Cumprir o referido plano sob orientação de um técnico qualificado

Com o avançar do tempo a tecnologia sofreu uma importante evolução e atualmente existem patamares a cumprir por parte de cada Estado-Membro pertencente à União Europeia (EU) no sentido de cumprir objetivos que vão de encontro com a sustentabilidade energética. Neste sentido, Portugal, enquanto estado membro da UE, criou a ENE 2020 [31] – estratégia nacional de energia 2020 onde define estratégias que visam o cumprimento das medidas impostas pela IE.

3.4 - Soluções de Iluminação LED para unidades fabris

Nesta secção apresentam-se as principais arquiteturas de controlo existentes na iluminação, abordam-se alguns sensores e suas características e apresentam-se duas soluções distintas *PLC* e *ZigBee* que convergem para o âmbito da iluminação fabril/industrial.

3.4.1 - Arquiteturas de controlo na Iluminação

Com o propósito de controlar as diferentes luminárias será conveniente abordar, resumidamente, o que é um sistema de controlo assim como as diferentes arquiteturas de controlo no âmbito da iluminação. Neste sentido um sistema de controlo é uma unidade que permite realizar ações pretendidas na saída perante informação de entrada. Concretamente, no caso da iluminação exterior fabril, a informação de entrada será então a luminosidade, a presença de movimento, entre outras possibilidades, enquanto a informação de saída será a intensidade de iluminação e o tempo que a mesma perdura. Este controlo adicional deverá, portanto, munir as luminárias de inteligência artificial no que respeita à gestão de energia. Um sistema básico de iluminação (tal como o caso atual) apenas permite manter as luminárias ligadas ou desligadas (ON-OFF). Tal como já fora mencionado, o objetivo passa por munir as diversas luminárias, consoante os casos e as necessidades, de alguma inteligência que lhes permita facultar potência máxima para a carga apenas quando se justificar. Neste caso a arquitetura de um sistema de iluminação exterior poderá ser autónomo ou centralizado De seguida ilustram-se as diversas topologias de acordo com o tipo de controlo e topologia e explicitam-se alguns detalhes importantes que se traduzem nas diferentes arquiteturas dos sistemas de iluminação e respetiva implementação.

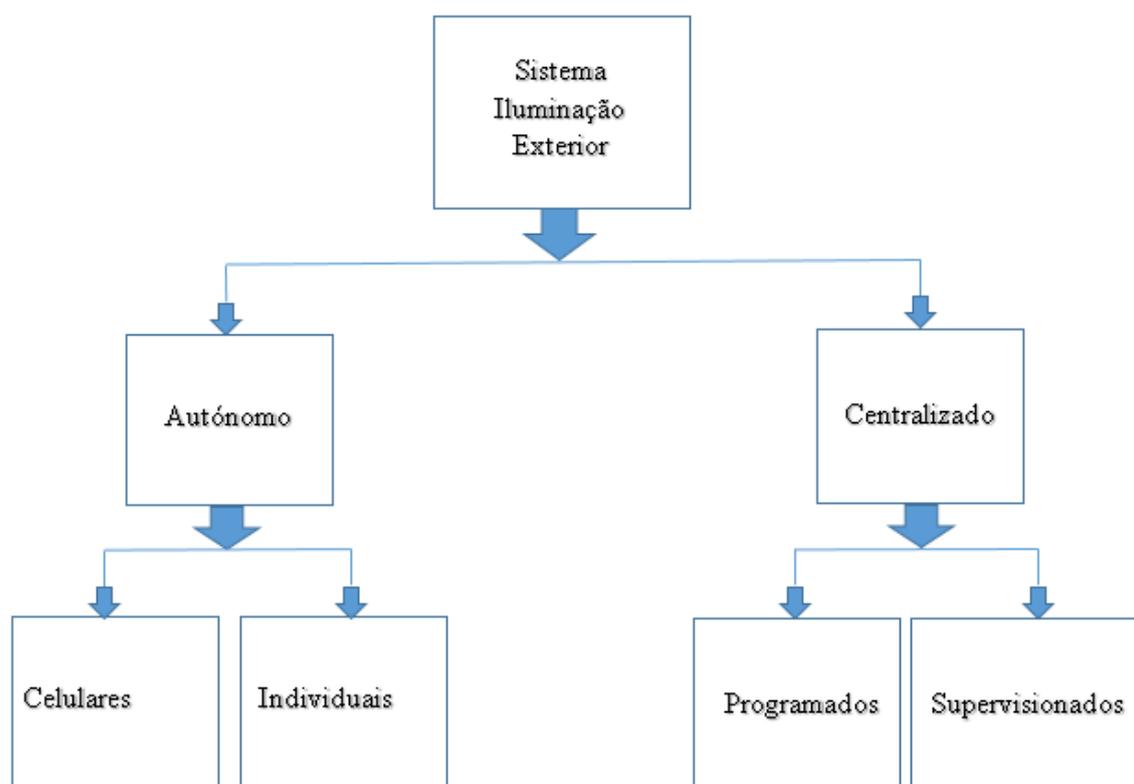


Figura 3.10 – Sistemas Iluminação e sua arquitetura

É possível visualizar que, no que concerne ao controlo, há duas implementações distintas: controlo autónomo e controlo centralizado, as quais são brevemente explicadas de seguida.

- Controlo autónomo – Este tipo baseia-se no facto de cada luminária possuir uma unidade de controlo integrada repercutindo-se num controlo absoluto e independente por cada ponto de iluminação. Para o caso dos sistemas celulares com controlo autónomo há, igualmente, a possibilidade de haver comunicação entre sistemas vizinhos.
- Controlo centralizado – Este tipo diverge do anterior na medida em que neste caso a gestão de energia é efetuada por uma unidade central comum a um grupo de pontos de iluminação os quais terão um comportamento semelhante em toda a zona de ação.

Salienta-se que em ambos os casos é possível integrar uma unidade de comunicação que permita uma gestão remota. No caso de coexistir gestão remota o sistema dispõe duma unidade de controlo local em que se torna possível efetuar configurações duma forma remota sem, portanto, haver necessidade de ir fisicamente ao local alterar algo ou mesmo mudar algum componente eletrónico.

No que respeita ao controlo energético, na atualidade e percentualmente os sistemas não possuem controlo ativo pelo que apenas ligam e desligam a uma determinada hora pré programada ou por controlo de luminosidade ambiente não sendo, portanto, capazes

de perceber as necessidades de iluminação. Este facto deve-se essencialmente à dificuldade de alterar o fluxo luminoso eficientemente nas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão pelo que com a introdução dos LED's há uma maior e mais significativa capacidade de alterar o fluxo luminoso bem como integrar sensores. No entanto nem sempre se justifica um controlo ativo visto que, para além de tornar mais dispendioso o investimento inicial, o sistema torna-se mais simples quando estamos perante controlo passivo nomeadamente quando se pretende uma iluminação constante. De seguida apresentam-se os dois tipos de controlo: controlo passivo e controlo ativo.

- Controlo passivo de energia (sem inteligência) – Tal como fora dito este sistema é o mais simples em que basicamente a comutação é efetuada através de sensores crepusculares ou horário. Salienta-se que na atualidade, em Portugal, a iluminação pública exterior é efetuada, maioritariamente, com este tipo de tecnologia.
- Controlo ativo de energia (com inteligência) – Este tipo de sistema de gestão de energia embora seja mais dispendioso tem grandes vantagens concretamente numa gestão otimizada da energia, visto que possui a capacidade de avaliar as condições circundantes tais como deteção de movimento/presença a fim de tomar decisões no que respeita à gestão da luminária, nomeadamente quando e durante quanto tempo a mesma permanece ligada traduzindo-se num menor consumo de energia assim como no fornecimento de potência à carga apenas quando se justificar.

De seguida apresentam-se as diferentes topologias possíveis de implementar assim como o respetivo balanço. Salienta-se que as diferentes possibilidades têm em comum a alimentação alternada (AC) o que implica que os sistemas deverão estar adaptados para trabalhar com a rede pública (230 VAC @ 50 Hz).

- Sistema autónomo Individual com controlo passivo energia
- Sistema autónomo Celular com controlo ativo de energia
- Sistema centralizado programado
- Sistema centralizado com supervisão
- Sistema com gestão remota e supervisão / programado

3.4.2 - Sensores

Os sensores são importantes e imprescindíveis para que se torne possível adquirir informação do exterior para, posteriormente, poder tomar decisões. Estes podem ser mecânicos, elétricos, químicos ou eletrónicos. Consoante o espaço alvo e ambiente onde colocar os mesmos há determinados sensores que se destacam em detrimento de outros pelo que as características dos sensores são fulcrais e, portanto, explicitadas de seguida

- Sensibilidade
- Interface de comunicação

- Tempo de resposta
- Calibração
- Gama dinâmica de entrada e de saída
- Precisão
- Histerese
- Não linearidades
- Limites de operação em função de fatores ambientais
- Alimentação
- Consumo de energia
- Temperatura de funcionamento

Sensores de movimento – Este tipo de sensores são transdutores que permitem a deteção de movimento quando uma pessoa e/ou objeto entra no campo de deteção do aparelho. Podem ser divididos em dois grupos: ativos e passivos. Os primeiros dependem da emissão de energia para verificar a presença dum corpo no seu raio de ação contrariamente aos sensores passivos que captam a energia do meio em redor para detetar esse movimento. [38 e 39]. De seguida explicitam-se os componentes necessários para a implementação dos dois tipos assim como alguns exemplos dos mesmos.

- Sensores de movimento ativos – Este tipo de sensor é constituído por um emissor e um recetor
- Sensor ótico por reflexão – neste caso o emissor está junto do recetor pelo que se torna possível detetar a presença ou movimento de um corpo por interrupção da reflexão de um feixe de infravermelhos. No caso em que não existe nenhum corpo a atravessar o campo de cobertura do sensor, o refletor recebe o feixe refletido. No caso de presença, o feixe que seria refletido é agora intercetado pelo corpo levando o recetor a indicar uma interrupção.

Com a implementação deste tipo de sensores torna-se mais fácil uma poupança considerável nos gastos energéticos.

Um dos principais problemas com a deteção de movimento empregando unicamente sensores PIR está relacionada com as condições ambientais. Estas baseiam-se na deteção de variações térmicas. Tendo em conta que a temperatura do ar não segue uma distribuição uniforme, estes sensores podem ser desencadeadas por acontecimentos aleatórios associados ao fluxo de correntes de ar quente. Para evitar estas

ocorrências falsas, alguns produtores empregam sensores de microondas para a detecção de movimento. O seu princípio baseia-se na medição da radiação reflectida na presença de um objecto no seu campo de vista, sendo assim insensível aos efeitos da temperatura. No entanto, os sensores de microondas são geralmente mais caros do que soluções baseadas em PIR. De seguida apresentam-se algumas soluções disponíveis no mercado com base nos sensores de movimento PIR e microondas. Salienta-se que, os sensores aqui apresentados incluem capacidades de detecção crepuscular.

Duas empresas foram seleccionadas para este estudo de comparação, Tridonic e Steinel. Ambas fornecem um conjunto de sensores que estão comercialmente disponíveis e em conformidade com o cumprimento dos regulamentos.

3.4.2.1 - TRIDONIC

Tridonic é uma empresa Austríaca, com experiência conhecida no campo dos sensores de luminárias e controlo de dispositivos. O seu portfólio de produtos inclui soluções completas para ambos os cenários de iluminação interior e exterior. Entre os seus produtos, é possível encontrar uma grande variedade de soluções para sensores ambientais e nível de controlo de luz. Estas soluções abrangem diversas especificações de projeto, visando protocolos de comunicação, alcance e precisão dos dispositivos. De seguida descrevem-se brevemente alguns dos sensores disponíveis, incidindo nas suas características a adequação para iluminação exterior fabril.

Sensor Switch HF 5BP



Figura 3.11 – Smart HF 5BP [41]

O sensor interruptor HF 5BP [22] fornece um nível de iluminação configurável e detecção de movimento adequado para a integração com reator eletrónico. O sensor pode ser integrado dentro da luminária, uma vez que permite a detecção através de vidro e materiais finos. A configuração do sensor é realizada manualmente no local de instalação e inclui três potenciômetros ajustáveis para o limiar do nível de iluminação, detecção e especificação do *switch-off delay*. Este sensor oferece uma solução mais adequada para cenários de interior. Podem também ser empregues em aplicações no exterior não exigindo alturas de montagem muito elevadas. Naturalmente que a gama de detecção depende da altura de montagem tal como é possível visualizar na respetiva folha técnica; a melhor cobertura pode chegar a uma área circular com 5m de diâmetro, quando instalado a 3m de altura. Compensações por detecção de movimento em pontos cegos podem ser conseguidos usando maiores *switchOff delays* (que são de forma flexível programáveis entre 30 segundos a 30 minutos).

SMART Sensor 10DPI 19f



Figura 3.12 – Smart Sensor 10DPI [41]

O *Smart Sensor 10DPI 19f* [23] é outro exemplo de sensor de detecção de presença e luminosidade da Tridonic. Estes sensores oferecem opção de controlo remoto, a uma altura máxima de instalação de 10m (cobrindo por esta situação, uma área de 7m de diâmetro para a luz e uma área de 21.1m de diâmetro para detecção de presença). Este suporta *software* de configuração. Estes sensores suportam controlo pelos sinais DALI, DSI, SwitchDIM e da rede, proporcionando assim um uso fácil e uma solução de baixo custo. A família do SMART Sensor tem outros dispositivos com altura reduzida de instalação e áreas de cobertura reduzidas. Estes dispositivos também permitem diferentes padrões de cobertura, empregando lentes ópticas diferentes para cada caso. Estes podem ser relevantes para a iluminação da unidade fabril onde a deteção de movimento deve preferencialmente ser restrita ao percurso pedestre. Uma importante distinção entre o Sensor Switch HP 5BP e SMART Sensor 10DPI 19f é o princípio ativo para a deteção de movimento. O primeiro emprega um sensor de microondas para deteção de movimento, que o transforma num verdadeiro dispositivo de deteção de movimento. Mais tarde, emprega um dispositivo PIR, restringindo assim o sensor para deteção de presença.

Para além destes sensores, a Tridonic fornece soluções para DALI e sensores DSI com áreas de cobertura reduzidas (semelhantes ao Switch Sensor HF 5BP), que encontram baixa aptidão para iluminação exterior geral onde a faixa de cobertura é de suma importância. Estes são, no entanto, possíveis soluções para instalações de iluminação que requerem distâncias mais curtas entre luminárias ou baixas alturas de iluminação.

3.4.2.2 - Steinel

A Steinel é outra empresa de referência no controlo de iluminação, tendo iniciado a sua actividade na Alemanha em 1959, evoluindo para um nível europeu, com representações na Alemanha, Suíça, República Checa, Roménia e Moldávia. O seu produto alvo são soluções inteligentes destinadas a medidas de eficiência energética e implementação de iluminação LED com soluções base. O portfólio de produtos Steinel inclui uma ampla gama de sensores, considerando aspectos tais como a detecção de ocupação/presença, detecção de movimento e detecção de nível de luz. Os sensores STEINEL fornecem uma fácil integração e suporte de comunicação. De seguida apresentam-se alguns dos sensores disponíveis para cenários de iluminação exterior.

Light Level Controller NM 5000-2-24



Figura 3.13 – Steinel NM 5000-2-24 [42]

O Steinel NM 5000-2-24 [24] é um controlador de nível de luz que permite ajustar o limiar de comutação entre níveis pré-configurados. Este suporta procedimentos de configuração fácil e flexível. Os modos de comutação reagem à detecção do nível de luz, de acordo com os níveis pré-definidos e dos modos programados. As suas principais aplicações incluem aplicações internas, tais como áreas de escritório, entradas e garagens. NM 5000-2-24 vem com caixas IP20 que implicam protecção adicional para a exposição ambiental.

Sensor IS 3180-24, IS 3360-24 and IS 345-24

Steinel tem um conjunto de sensores de ocupação de três especificações diferentes [25]. As séries IS, que incluem IS 345-24, IS 3360-24 e IS3180-24. Ilustra-se de seguida:



Figura 3.14 – Steinel IS 3180-24 [42]

Consistem em três detectores PIR de ocupação adequados para corredores, montagem na parede e montagem no tecto. Estes sensores incluem capacidades de detecção de nível de luz, com limiares programáveis. Detecção de ocupação é baseada em 2 detectores piroeléctricos para dispositivos IS 345-24 e IS 3180-24, e 3 detectores piroeléctricos em IS 3360-24. Em caso de detecção de ocupação, estes sensores ligam a luz por um tempo programado definido, após as quais, as luzes são automaticamente desligados. A faixa de cobertura pode chegar a até 20m quando instalados a uma altura máxima de 3m. Estes sensores estão disponíveis em IP20, que os tornam mais adequado para cenários de aplicação interior. Uso possível em aplicações externas requer proteção adicional.

Estudo Comparativo

A tabela 4.0 apresenta um estudo comparativo entre as soluções de sensores.

Nome	Det. Luminosidade	Det. Movimento	Altura Max(m)	Área máx	Consumo	Dispositivos Adicionais	IP
Switch HF 5BP	Sim	RF	5	5m círculo	500 mW	Não	20
Smart 10 DPI 19F	Sim	PIR	10	21m círculo	230 mW	Sim	20
IS 345	Sim	PIR	3	20 m	288 mW	Sim	20
IS 3180	Sim	PIR	2	40 m	288 mW	Sim	20
IS 3360	Sim	PIR	2.5	40 m	288 mW	Sim	20
HBS 200	Sim	PIR	12	30 m		Não	20
HBS 300	Sim	PIR	1	36 m		Não	20

Tabela 3.4 – Balanço sumário comparativo de alguns sensores existentes

3.4.3 - Descrição Global do sistema

Nesta descrição do sistema interessa ressaltar que no caso de se pretender controlo ativo consideraram-se duas possibilidades de implementação plausíveis e distintas, as quais poderão ser baseadas em PLC (*power line communication*) ou radiofrequência (*zigbee*) visto que a instalação de cabos adicionais é algo que, atualmente e tendencialmente, se torna desaconselhável. Os diagramas de blocos explicitam-se de seguida. Salienta-se que a grande diferença prende-se no facto de no sistema baseado em PLC coexistir a necessidade de existir uma ligação física entre as várias luminárias e o *gateway* o que já não se verifica no sistema RF visto que o interface de comunicação é o ar sendo possível criar uma rede em malha porém, quando comparado com o PLC, existem limitações a nível de alcance e taxa de transferência de dados, o que para este caso concreto não têm qualquer repercussão. Mais adiante estes detalhes serão analisados com mais pormenor.

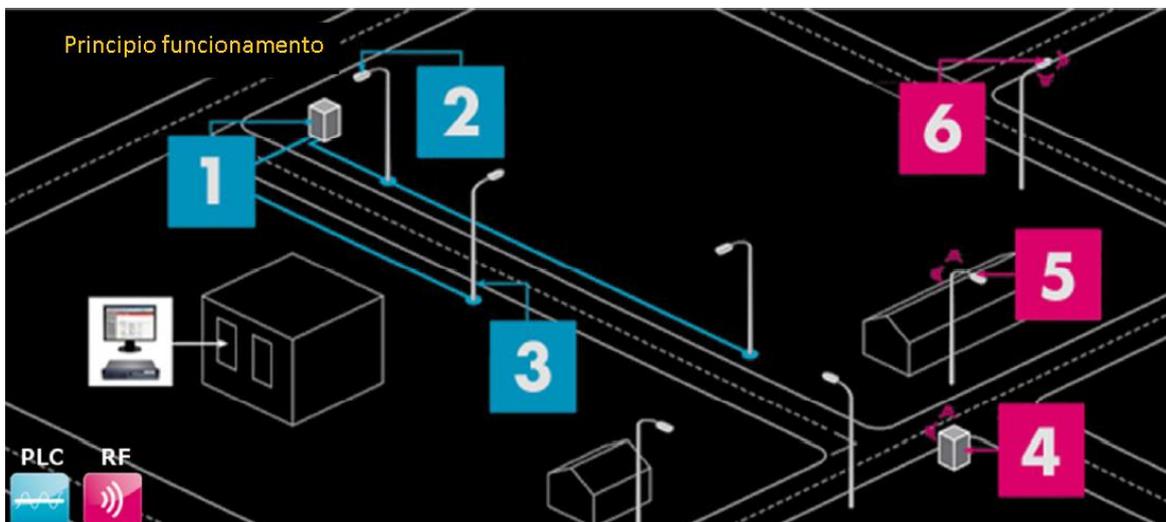


Figura 3.15 – Princípio de funcionamento do PLC e RF [21]

Tal como é possível visualizar na imagem, no caso do *ZigBee*, a ideia passa por construir uma rede que abranja as respetivas luminárias de forma a conseguir endereçar cada luminária na respetiva rede que por sua vez é criada pelos *gateway's* que se encontram espalhados na área. Desta forma a interação e manipulação de cada luminária será exequível a partir do exterior o que significa, portanto, que não necessitamos de estar fisicamente ao pé das luminárias para poder tomar decisões e manipular as mesmas no que diz respeito a regulação, tempo de subida, tempo de descida e tempo de permanecimento na potência máxima para a carga.

3.4.3.1 - Sistema baseado em PLC

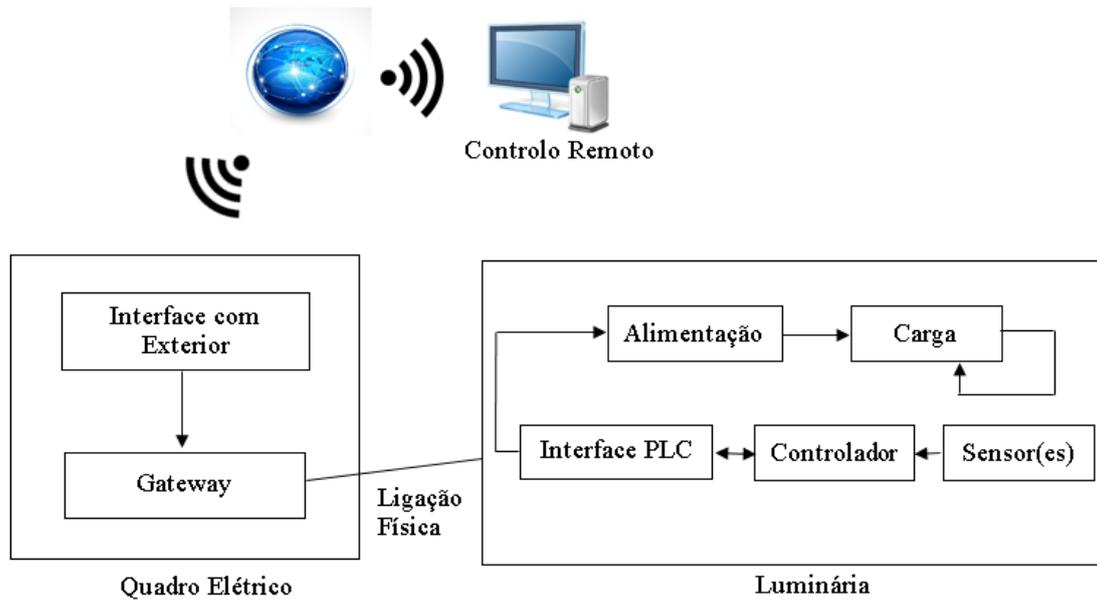


Figura 3.16 – Sistema baseado em PLC

3.4.3.2 – Sistema baseado em radiofrequência (zigbee)

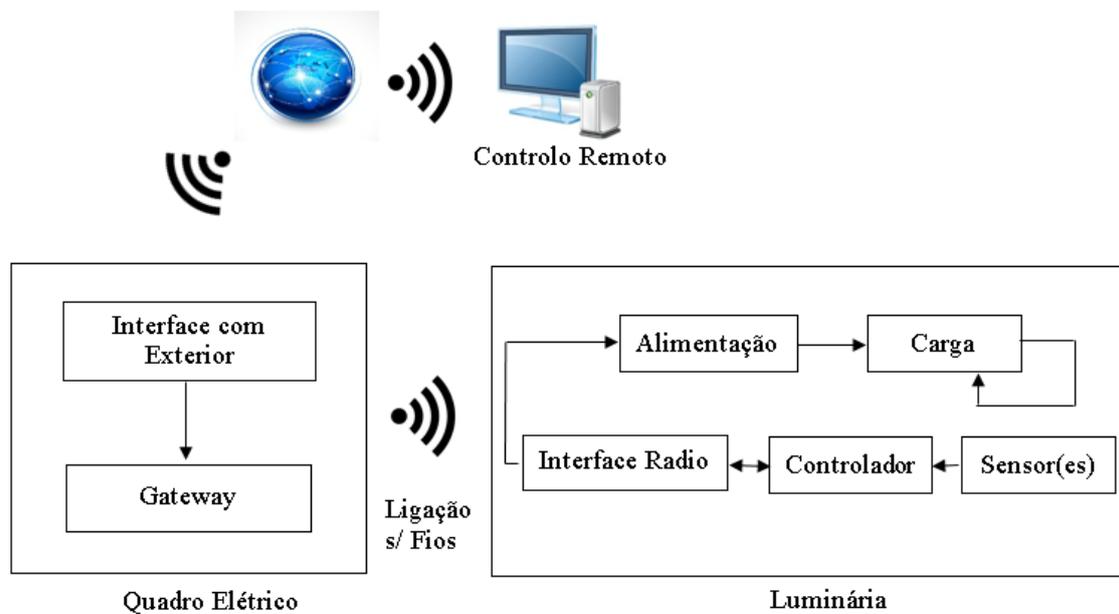


Figura 3.17 – Sistema baseado em zigbee

3.5 - Protocolos de Comunicação no âmbito da iluminação

Com o propósito de interligar equipamentos numa forma otimizada é necessário e conveniente usar determinado protocolo em detrimento de outrem com o propósito de otimizar a comunicação. De seguida enumeram-se alguns deles assim como se explicitam algumas vantagens e desvantagens. Por fim faz-se um estudo comparativo entre os mesmos.

3.5.1 - Protocolo DALI

O protocolo DALI (*Digital Adressable Lighting Interface*) é um protocolo de comunicação para o controlo de dispositivos de iluminação e tem como principal objetivo normalizar interfaces digitais de balastos eletrónicos permitindo criar e implementar soluções complexas de iluminação numa forma mais simples e eficiente. Contrariamente a outras tecnologias o DALI é especificamente concebido para gestão de iluminação e tem como principal propósito reduzir os custos de integração, manutenção assim como permite uma mais facilitada migração para sistemas mais otimizados.

Trata-se de um protocolo *standard* onde podemos ter até 64 dispositivos por cada controlador DALI podendo os dispositivos ser ligados através de um cabo não blindado de 2 condutores ou seja, uma tecnologia de fácil instalação que possibilita uma ligação totalmente digital de luminárias e outros dispositivos semelhantes em aplicações de automação de edifícios.

Tal como dito anteriormente, cada controlador DALI pode endereçar individualmente 64 dispositivos que podem ser divididos em 16 grupos com 16 cenários de iluminação distintos. O controlador DALI pode comunicar com os dispositivos DALI diretamente, realizar funções de diagnóstico e obter informação de estados de dispositivos.

Sendo o DALI uma norma internacional a interoperabilidade de diferentes tipos de balastos eletrónicos DALI ou seja, diferentes cargas e diferentes fabricantes é garantida.

O protocolo DALI é descrito pela norma IEC 62386 e esta descreve o tipo de balastro para cada tipo de carga:

- Parte 201: lâmpadas fluorescentes (dispositivos tipo 0).
- Parte 202: iluminação de emergência (dispositivos tipo 1).
- Parte 203: lâmpadas HID – Descarga de alta intensidade (dispositivos tipo 2).
- Parte 204: lâmpadas de halogéneo de baixa tensão (dispositivo tipo 3)
- Parte 205: regulação de lâmpadas de uso geral (dispositivo tipo 4)
- Parte 206: conversão de sinais digitais para sinais de tensão DC (dispositivo tipo 5)
- Parte 207: Módulos de LED (dispositivo tipo 6)
- Parte 208: função de comutação (dispositivo tipo 7)

Tipicamente os balastos DALI necessitam de alimentação externa 230 VAC (o controlador DALI não alimenta os balastos DALI) e cada controlador pode gerir até 64 endereços que correspondem na prática a 64 dispositivos DALI. Salienta-se que cada sistema DALI apenas permite um controlador. A nível das topologias de ligação o sistema pode assumir uma topologia em estrela, árvore ou mista. A título de exemplo na copa do mundo

de 2006 os jogos realizados no estádio Olímpico de Berlim foram iluminados sob controlo DALI.

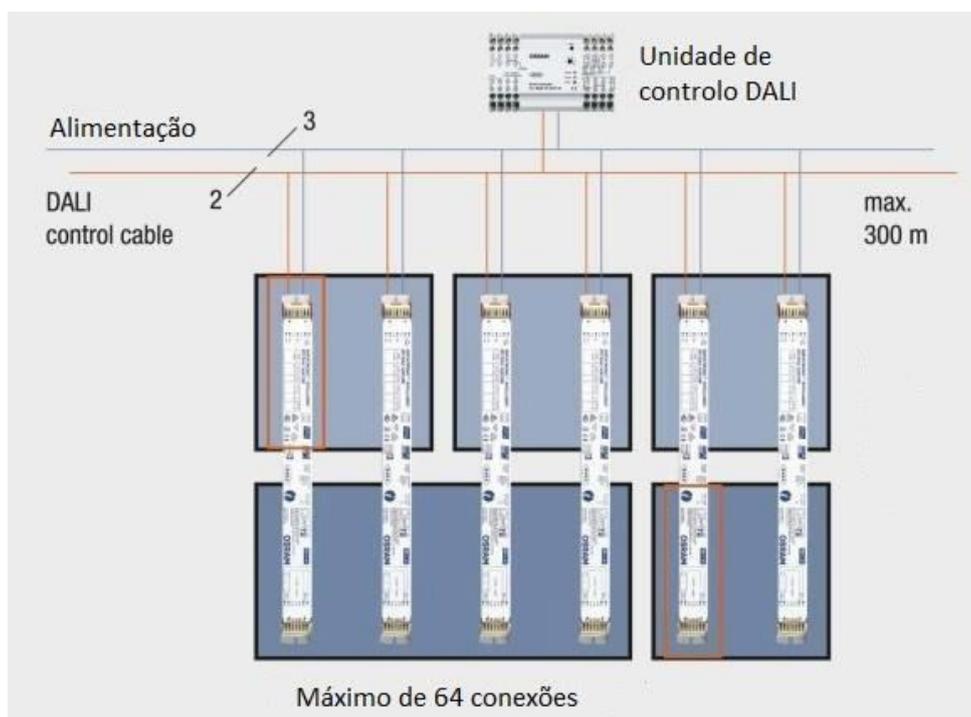


Figura 3.18 – Sistema DALI [32]

Características do Sistema DALI

- Dimerização/junção de luminárias individuais ou por grupos
- Criação de grupos de luminárias
- Criação de diversos cenários para diversos grupos num mesmo ambiente
- Monitorização do sistema
- Instalação simplificada
- Redução consumo de energia
- Controlo de claridade constante
- Detecção movimento (PIR – *Passive infra-red sensor*)
- Operação por controlo remoto (IR – *Infra-red*)
- Identificação de luminárias com defeito (fluxo informação bidirecional)
- Escalabilidade, flexibilidade e robustez

3.5.2 - Protocolo DMX512

DMX512 (Digital Multiplex) é um padrão para redes de comunicação digitais que são comumente usados para controlar a iluminação de palco e alguns efeitos. O conceito

prende-se com o criar uma rede de gestão da iluminação do género do DALI. A rede DMX512 é composta por um nó principal e 512 secundários que poderão ser atuadores, módulos LED, etc. Este protocolo foi concebido fundamentalmente para trabalhar com velocidade e simplicidade pelo que não possui deteção de erros e funcionalidades não sendo pois aconselhado para situações perigosas. A camada física é implementada com base na norma EIA-485 e a interconexão entre diferentes dispositivos cujas conexões são terminais com conetores XLR embora suporte também conetores RJ-45.

3.5.3 - Protocolo ZigBee

O termo *ZigBee* designa um conjunto de especificações para a comunicação sem-fios entre dispositivos eletrónicos, com ênfase na baixa potência de operação, baixa taxa de transmissão de dados e no baixo custo de implementação. Tal conjunto de especificações define camadas do modelo OSI subsequentes àquelas estabelecidas pelo padrão IEEE 802.15.4 [14] [47]

Frequência	Banda	Cobertura	Velocidade (Kbps)	Nº de Canais
2.4 GHz	ISM	Planeta Terra	250	16
868 MHz		Europa	20	1
915 MHz	ISM	America	40	10

Tabela 3.5 – Funcionamento ZigBee dos 20 kbps até 250 kbps, consoante a frequência

O *ZigBee* funciona sobre as camadas PHY e MAC do padrão 802.15.4 e adiciona funcionalidades como recursos de roteamento, melhorias na segurança e outras melhorias gerais em matéria de eficiência energética e fiabilidade das comunicações. As especificações mais relevantes são:

- Taxas de transmissão de dados 250 Kbps
- Alcance de 100 m
- Totalmente *hand-shaked* para a confiabilidade de transferência

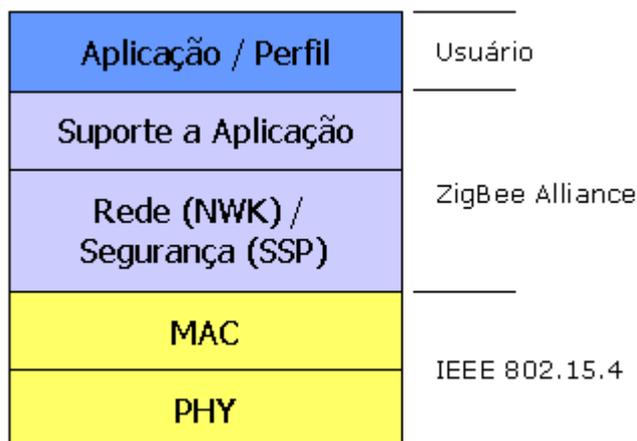


Figura 3.19 – Rede ZigBee, segurança, serviços de aplicação na norma IEEE 811.15.4

ZigBee foi projetado para redes de domótica e tem como objetivo atender as necessidades de um transceptor sem fios capaz de enviar, de forma confiável, pequenos pacotes de informação a um baixo custo [19].

3.5.7 - Comparação sumária dos Protocolos

Protocolo	Licença	Taxa de transmissão
DALI	Sim	1.2 Kb/s
DMX512	Não	250 Kb/s
ZigBee	Sim	250 Kb/s

Tabela 3.6 – Tabela comparativa final dos vários protocolos comunicação

3.5.8 - Comparação entre interfaces de comunicação na iluminação

Anteriormente evidenciam-se comparativamente as tecnologias de controlo para iluminação existentes no mercado e de seguida torna-se relevante abordar resumidamente os interfaces de comunicação tipicamente utilizados neste propósito. Estes são caracterizados por diversos parâmetros como taxa de transferência, abrangência espectral, frequência de operação, cobertura entre outros. A tabela seguinte ilustra algumas destas características.

Tecnologia	Espectro	Taxa transferência	Cobertura
GSM	900-1800 MHz	14.4 Kbps	1-10 km
GPRS	900-1800 MHz	170 Kbps	1-10 km
3G	1.92-1.98 GHz e 2.11-2.17 GHz	384 Kbps – 2 Mbps	1-10 km
WiMAX	2.5 ; 3.5 ; 5.8 GHz	75 Mbps	10-50 km
WiFi	2.5 ; 5 GHz	11 / 54 Mbps	50-100 m
Bluetooth	2.4 GHz	1 Mbps	10 m
PLC	9 – 148.5 KHz	2-3 Mbps	1-3 km
ZigBee	2.4 GHz / 868-915 MHz	250 Kbps	30-50 km

Tabela 3.7 – Comparação entre diferentes interfaces de comunicação

4 - Sequência de trabalhos

4.1 - O existente na atualidade

Para que seja possível estudar pormenorizadamente os consumos energéticos no que concerne à iluminação exterior atual assim como justificar uma migração para tecnologia LED mais eficiente foi efetuado um levantamento das respetivas luminárias e consequentemente a sua estratificação, por zonas, em autocad com o propósito de simplificar o processo.

4.1.1 - Levantamento de Luminárias

Na figura seguinte consta a planta autocad, atualizada com a localização das respetivas luminárias assim como o seu tipo e entretanto apresenta-se uma luminária típica do existente a nível de iluminação exterior da unidade fabril e resume-se a informação numa tabela. Em anexo encontram-se assinaladas as diferentes zonas.



Figura 4.1 – Planta Autocad da ARO com respetivas luminárias



Figura 4.2 – Imagem de luminária típica retirada para efeitos de testes e consumo

A tabela seguinte representa o que existe na atualidade a nível de iluminação exterior por cada diferente zona considerada. O total, neste caso representa, para cada zona, o somatório do produto entre o número de luminárias pela respetiva potência para todas as potências atualmente no terreno.

O que existe na atualidade							
Preço/U	5 €	10 €	15 €	30 €	40 €	50 €	
P_Atual (W)	22	72	100	150	250	400	Total (kWh)
zona A				16			2400
zona B				6			900
zona C				7	3		1800
zona D					5	4	2850
zona E					6		1500
zona F		6			4	1	1832
zona G					6		1500
zona H		13			3		1686
zona I					4	7	3800
zona J					5		1250
zona K					1	8	3450
zona L	12		9		2	2	2464
zona M					1	2	1050
zona N					4		1000
zona O			6		1	1	1250
zona P						1	400
zona Q		17					1224
zona R		7			1		754

Tabela 4.1 – Resumo do tipo de iluminação atual na Amorim Revestimentos

4.1.2 - Consumos/custos energéticos

Para os consumos energéticos foi considerado o tempo de funcionamento noturno de acordo com as coordenadas geográficas do local assim como efetuados os respetivos cálculos de maneira a que consigamos perceber o quanto se está a consumir na atualidade. Com este propósito foram retiradas algumas luminárias para efeitos de teste do respetivo consumo real com um alicate amperímetro. Considerou-se a manutenção, diluída nos vários anos, dada pela seguinte depreciação:

$$\text{Manutenção} = \frac{\text{Preço Lâmpada} \times \text{Quantidade} \times \text{Horas Funcionamento}}{\text{Vida Útil}} \quad (4.1)$$

No que respeita ao custo da iluminação a informação é detalhada de seguida. Foi usado o excel para permitir uma melhor estratificação dos resultados assim como tornar mais perceptível a metodologia de trabalho. Salienta-se que este caso de estudo é prático e portanto parte-se do princípio que já coexiste uma determinada iluminação e apenas se pretende migrar para uma tecnologia mais eficiente do ponto de vista ambiental e energético. Na tabela seguinte considerou-se a vida útil das lâmpadas VSAP de oito mil horas. Quanto às horas de funcionamento considerou-se que nas coordenadas da unidade fabril, em média, durante os 365 dias do ano, estaria 41.3 % de noite. Este tipo de luminária VSAP, tendo em conta o balastro ferromagnético, dissipa 30% para além da potência associada à lâmpada que possui. Estes 30% foram considerados nas contas de maneira a convergir o máximo possível para a realidade das contas.

O que existe na atualidade e respetivo consumo										
Preço/U	5	10	15	30	40	50	Total	Manutenção	Vida Útil	Perdas 30%
	€	€	€	€	€	€				
Potência atual (W)	22	72	100	150	250	400				
Zona A				16			2400	219 €	8000	3 339 €
Zona B				6			900	82 €	8000	1 252 €
Zona C				7	1	6	3700	251 €	8000	5 061 €
Zona D					5	4	2850	183 €	8000	3 888 €
Zona E					6		1500	110 €	8000	2 060 €
Zona F		6			4	1	1832	123 €	8000	2 505 €
Zona G					6		1500	110 €	8000	2 060 €
Zona H		13			3		1686	114 €	8000	2 306 €
Zona I					4	7	3800	233 €	8000	5 173 €
Zona J					5		1250	91 €	8000	1 716 €
Zona K					1	8	3450	201 €	8000	4 686 €
Zona L	12		9		2	2	2464	171 €	8000	3 374 €
Zona M					1	2	1050	64 €	8000	1 429 €
Zona N					4		1000	73 €	8000	1 373 €
Zona O			6		1	1	1250	82 €	8000	1 707 €
Zona P						1	400	23 €	8000	543 €
Zona Q		17					1224	78 €	8000	1 669 €
Zona R		7			1		754	50 €	8000	1 030 €

Tabela 4.2 – Iluminação atual e respetivo consumo

O gráfico anterior representa o consumo, já com a respetiva manutenção diluída ao longo dos anos, para as zonas anteriormente separadas, que representam, na sua totalidade toda a área da unidade fabril no que concerne à iluminação exterior.



Figura 4.3 – Exemplo de lâmpadas instaladas atualmente no terreno

Por fim, com o propósito de ter uma estimativa da progressão dos consumos ao longo do tempo foram desenhados os seguintes gráficos de barras que representam os consumos energéticos atuais nas diferentes zonas anteriormente separadas, sendo que o eixo das ordenadas nos indica o consumo energético e o eixo das abcissas o tempo a fluir em anos, de zero a catorze. Este ano zero foi considerado para posteriormente, quando da comparação com os remanescentes cenários, se possa avaliar com maior facilidade as diferenças visto que nele constam os investimentos iniciais em material e, neste caso da iluminação atual, naturalmente tem um valor nulo visto não existir qualquer investimento. A título de exemplo o valor do consumo para o ano número 1, será o valor de consumo durante um ano de funcionamento, já com a respetiva manutenção diluída, para uma determinada zona. E extrapolou-se, perante este raciocínio, os valores para a totalidade dos anos e das zonas.

Gráfico1- Consumos zona A, B e C

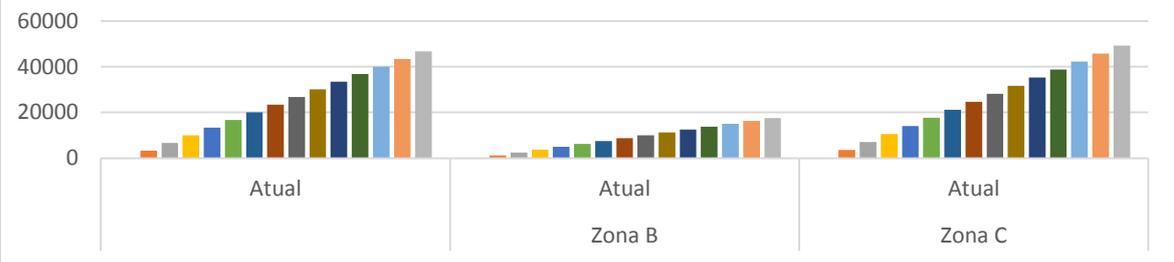


Gráfico2 - Consumos zona D, E e F

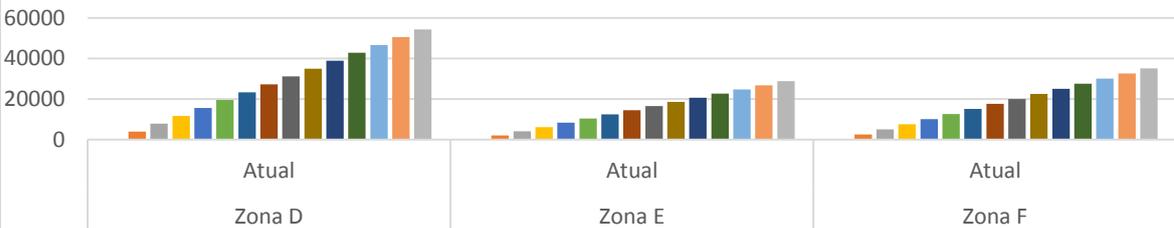


Gráfico 3 - Consumos zona G, H e I

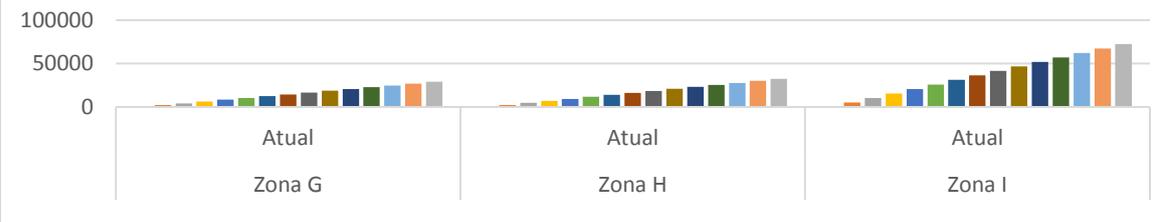


Gráfico 4 - Consumos zona J, K e L

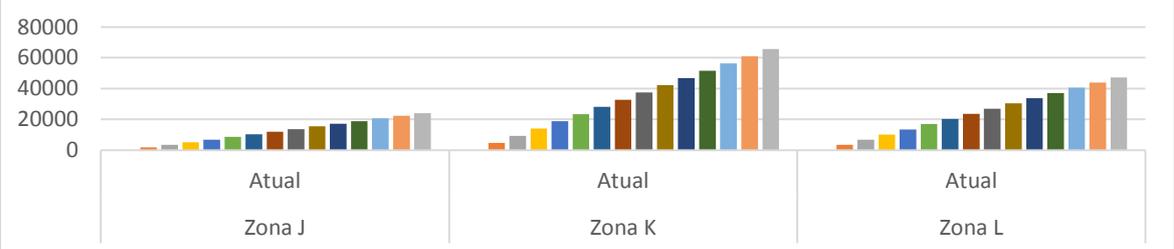
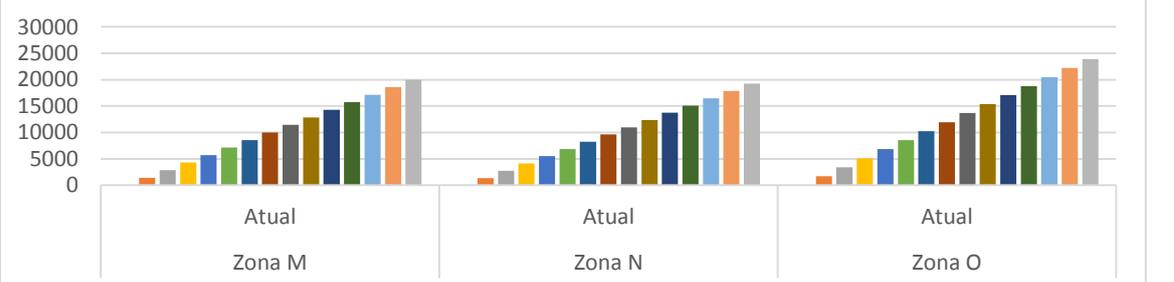
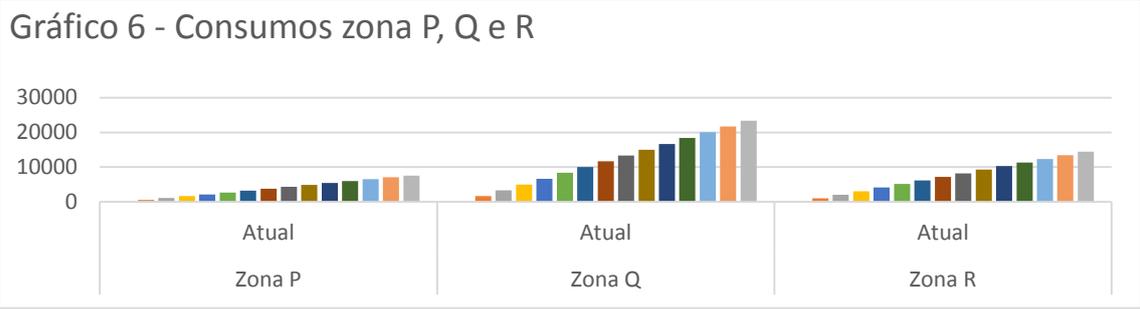


Gráfico 5 - Consumos zona M, N e O





4.1.3 - Simulação do sistema no *software* DIALux e medições noturnas no terreno

Depois dos pontos anteriores o sistema foi simulado em Dialux, com o propósito de estimar qual seria o nível de iluminação alcançado com a migração. Esta simulação encontra-se na imagem seguinte.

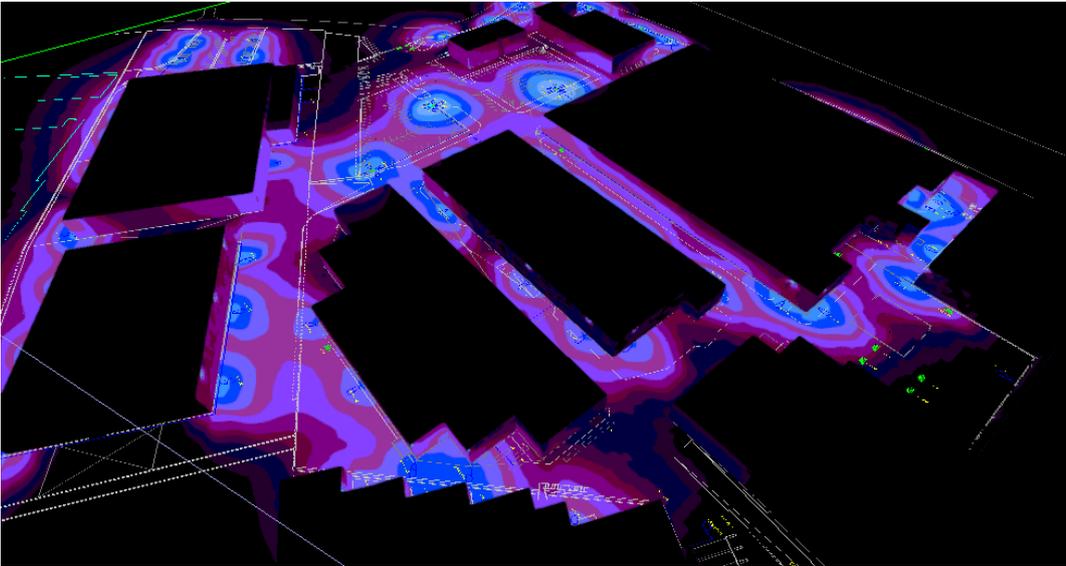


Figura 4.4 – Simulação DIALux dos níveis de iluminação para o cenário com a migração sem controlo para os LED´s

De seguida, efetuou-se, com um Luxímetro, uma medição noturna no terreno de duas luminárias VSAP 150W referentes à iluminação existente atualmente na unidade fabril conforme se ilustra de seguida

Para as medições seguintes naturalmente apenas foram consideradas duas luminárias VSAP 150 W adjacentes com a ajuda do chefe electricista da fábrica e de uma plataforma elevatória. As medições baseiam-se no esquema seguinte.

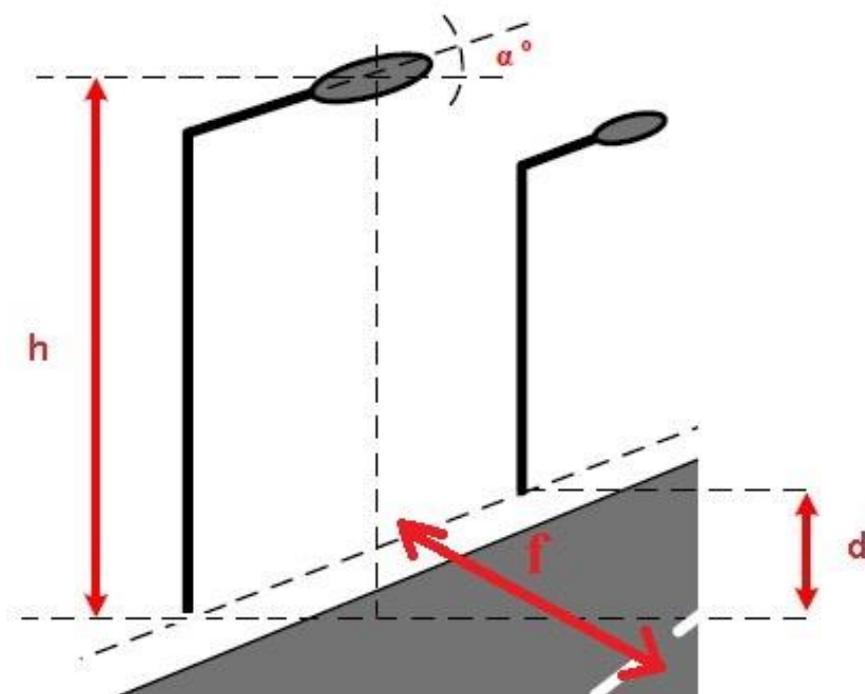


Figura 4.5 – Esquema das medições para as duas luminárias consideradas

Neste caso o h , d e α foram considerados respetivamente de 6m, 7m e 10° .

	-2	-1	0	1	2
0	19	20	21	20	19
1	21	22	23	22	18
2	17	19	20	19	17
3	12	14	17	15	12
4	6	10	13	10	6
5	6	7	8	6	6

Tabela 4.3 – Valores Iluminação (lux) consoante posição $d \in [-2,2]$ (m) e $f \in [0,5]$ (m)

4.2 - Sugestão de Investimento

4.2.1 - Possibilidades Consideradas

Para a sugestão de investimento foram considerados dois cenários distintos; um primeiro cenário em que fundamentalmente baseia-se numa migração simples com controlo passivo apenas em alguns espaços específicos e um segundo cenário onde essencialmente consiste numa migração mais inteligente do ponto de vista tecnológico em que, cada luminária, se encontra endereçada perante uma infraestrutura de rede previamente criada pelos *gateway's* que se encontram hipoteticamente espalhados pela unidade fabril e que, portanto, permitem uma monitorização descentralizada da iluminação. Nos pontos seguintes esta análise será mais pormenorizada e o fluir do trabalho converge, neste caso, para a solução que apresenta benefícios do ponto de vista económico e energético. Salienta-se que neste estudo foi dada uma maior ênfase à progressão de consumo à medida que o tempo flui em valores relativos visto que o preço unitário do KWh é algo que, de acordo com informações, tem flutuações significativas ao longo do ano encontrando-se a preços mais reduzidos no último e primeiro trimestres de cada ano pela razão que nessas alturas, probabilisticamente, é quando chove mais o que se repercute numa significativa acrescida produção por parte das hídricas e respetiva atenuação nos preços de mercado pelo que neste caso concreto o Grupo renegoceia trimestralmente a energia. Portanto, neste estudo estas flutuações não serão consideradas mas sim o consumo das luminárias consoante a tecnologia associada tal como veremos nos pontos seguintes.

4.2.1.1 - Cenário1 - Substituição simples com controlo passivo

Esta primeira migração consiste numa substituição simples com controlo passivo nalguns espaços específicos e de acordo com a sua respetiva utilização, ficando os remanescentes a operar sem controlo.

Esta primeira possibilidade é a mais simples em que as luminárias atuais de 150W e 250W são substituídas por luminárias LED com potência mínima (30 W), tal como se ilustra na figura 5.3, e as luminárias de 400W VSAP serão substituídas por luminárias LED de 145W salvo algumas exceções, e de acordo com a respetiva utilização dos espaços. De facto, quando os espaços não são utilizados, a iluminação com potência máxima fornecida à carga é um puro desperdício de energia; cenários de *dimming* e luz à medida podem adaptar a iluminação às reais necessidades do local permitindo poupanças substanciais.

Após reunião com dois Engenheiros da Amorim Revestimentos S.A. concluiu-se sucintamente que, a nível da utilização dos espaços estamos presentes a tabela que se segue. A numeração das luminárias está coincidente com a numeração utilizada no autocad.

Zona	Utilização		Controlo passivo proposto
	Atual	Condições Normais	
A	Apenas Vigilância	3 Turnos - o armazém de expedição tem pouca frequência e há necessidade de luminária nº1 luz manutenção; nº3 e nº4 iluminação circulação empilhadores	Nº1,3,4 – 60W com sensor
B	Apenas Vigilância	3 Turnos - nº21 - iluminação manutenção filtro - garantir apenas iluminação vigília	Nº21- 60W com sensor
C	Apenas vigilância	Apenas vigilância	Ausência controlo
D	Apenas vigilância	Corredor principal fábrica - acesso aos parques (2 horas críticas (20:45 - 21:15) - zona filtros (direita) necessário iluminação constante e boa / zona esquerda - presença	Iluminação totalmente com sensores
E		Nº79 e nº80 associar à zona do parque e nº83 filtros (iluminação manutenção casual)	Sensores nº 79, nº80 e nº 83
F	Apenas vigilância	Nº 90 e nº91 e nº92 - iluminação manutenção filtros	Sensores nº 90 e nº91 e nº92
G	Apenas vigilância	Parque estacionamento 21:00 e 05:00	Sensores no nº73,nº74,nº75,nº76,nº77 e nº78
H	Apenas vigilância	Vigília e manutenção casual	Ausência controlo
I	Apenas vigilância	Zona crítica - necessidade de maior iluminância	Iluminação totalmente com sensores
J	Apenas vigilância	Zona crítica - necessidade de maior iluminância	Iluminação totalmente com sensores
K	Apenas vigilância	Manter o existente	Ausência controlo
L	Apenas vigilância	Nº 29,30,31 e 53 - mínimo dos mínimos; videovig na restante zona	Nº63 e nº64 Sensores
M	Apenas vigilância	Videovigilância	Nº65 e nº67 Sensores
N	Apenas vigilância	Iluminação parque	Nº142, nº143, nº144, nº145 Sensores
O	Apenas vigilância	Iluminação de vigilância	Ausência controlo
P	Apenas vigilância	(boa luz mesmo para circunscrever a fábrica)	Nº68 Sensor
Q	Apenas vigilância	Manter o existente	Ausência controlo
R	Apenas vigilância	Manter o existente	Ausência controlo

Tabela 4.4 – Utilização de espaços



Figura 4.6 – Luminária LED 30W instalada para testes

O *driver* que esta luminária possui e que, portanto, permite converter a tensão da rede sinusoidal para *DC*, assim como efetuar a regulação encontra-se esquematizado de seguida e corresponde a um LPF-40D

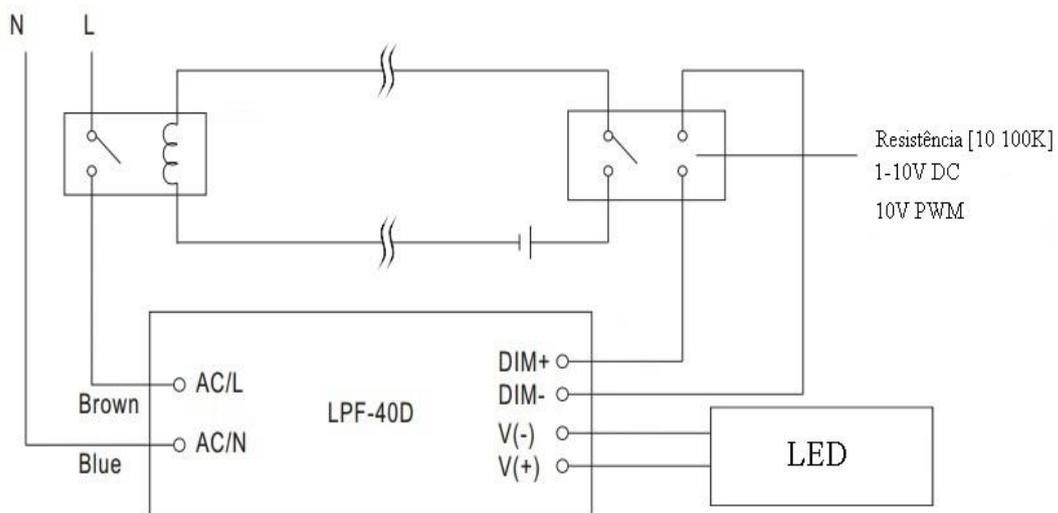


Figura 4.7 – Diagrama de *dimming* para o *driver* LPF- 40 D [43]

Adição de controlo passivo

Para efeitos do controlo passivo, neste 1º cenário foi apenas considerada a hipótese de cada luminária atuar sobre a sua respetiva carga, numa forma independente, não permitindo comunicação entre várias luminárias. A incidência da aplicação do controlo baseia-se em efetuar regulação quando a carga é de 60 W ou 145 W visto que, de acordo com as medições efetuadas concluiu-se que fazê-lo para as luminárias de 30 W não é vantajoso por se traduzir numa iluminação insuficiente. A nível de regulação este *driver* permite efetua-lo de três maneiras distintas:

- Aplicando uma resistência entre 10 K Ω e 100 K Ω em que a mesma controla a corrente que flui para os LED's traduzindo-se numa aplicação que, em termos práticos, permite apenas truncar a potência aplicada aos LED's. Para o caso concreto não tem aplicabilidade a não ser o facto de permitir compensar a perda de eficiência que os LED's vão sofrendo à medida que os anos fluem.
- Aplicando um sinal DC entre 1 e 10 Volt. Esta solução parece mais adequada para o controlo passivo dos LED's visto que já coexistem soluções comerciais para este efeito a nível de sensores movimento em que o seu *output* está adaptado para o *driver* em questão
- Por último, há a possibilidade de efetuar o *dimming* com um sinal pwm porém surge a necessidade de, para além do respetivo *driver* ter de haver um microcontrolador em que o mesmo lê o sinal do sensor de movimento e tem como *output* um sinal pwm com o propósito de controlar a corrente que flui nos respetivos LED's.

Depois de ter analisado anteriormente as características do *driver* específico da luminária e de ter feito um estudo de mercado a nível de sensores com o propósito de ficar com uma visão generalizada dos sensores de movimento mais comuns e suas principais especificações considerou-se, para o caso das luminárias que necessitavam dos sensores, o uso do equipamento da Tridonic Smart SwitchII para as luminárias de 60 W e 145 W.



Figura 4.8 – Sistema de dimming switch para instalação nas luminárias da Enlight [42]

Foram instaladas duas luminárias LED 30 W semelhantes às da figura 4.6, a substituir duas luminárias de 150 VSAP, e foi efetuada uma segunda medição noturna com

o propósito de prever e comparar a iluminação das duas distintas luminárias, tal como se visualiza na figura seguinte.

De seguida apresenta-se uma tabela que ilustra o resumo do tipo de iluminação considerado para o *retrofit 1*.

	<i>Retrofit 1</i>						
Preço/U	20 €	25 €	50 €	160 €	262 €	415 €	
Pot (W)	18	22	26	30	60	145	Total
A	0	0	0	13	3	0	570
B				5	1		210
C				7	6		570
D				0	5	4	880
E				6			180
F		6		5			282
G		0		6			180
H		13		3			376
I				4	7		540
J				5			150
L		12		11	2		714
M				1	2		150
N						4	580
O				7	1		270
P					0	1	145

Tabela 4.5 – Resumo do tipo de iluminação para o cenário1

Por último, de acordo com a seguinte expressão assim com as equações (5.1) e (5.2), construiu-se a tabela 6.1 com o propósito de estimar os consumos deste primeiro *retrofit* considerado e aferir acerca de sua exequibilidade, com a exceção dos cenários das zonas k, q e r, indo de encontro com a tabela 6.0 referente à utilização dos espaços.

$$Investimento\ Inicial = N^{\circ}\ Luminárias \times Preço - U + Custo\ Instalação + Controlo$$

(6.1)

Preço Controlo Tridonic Smart SwitchII aproximado PVP = 20,0 €

Zona	Manu	V Útil	Inv i	Consumo	Controlo
A	209 €	50000	3 046 €	779 €	180
B	78 €	50000	1 102 €	288 €	40
C	197 €	50000	2 692 €	767 €	
D	217 €	50000	3 150 €	1 097 €	180
E	70 €	50000	1 020 €	250 €	60
F	69 €	50000	1 010 €	351 €	60
G	70 €	50000	1 080 €	250 €	120
H	59 €	50000	805 €	435 €	
I	181 €	50000	2 694 €	721 €	220
J	58 €	50000	900 €	208 €	100
L	189 €	50000	2 624 €	903 €	40
M	50 €	50000	724 €	200 €	40
N	121 €	50000	1 740 €	701 €	80
O	101 €	50000	1 382 €	371 €	0
P	30 €	50000	435 €	175 €	20

Tabela 4.6 – Iluminação proposta para o cenário1 e respetivo consumo

$$Retorno (anos) = \frac{Investimento Inicial}{Custo Energia - Custo migração} \quad (6.2)$$

Os gráficos de barras a seguir apresentados representam o consumo energético nas várias áreas de A a Z, neste caso englobando o 1º cenário, assim como o respetivo retorno financeiro dado pela expressão (6.2), sendo que o eixo das ordenadas nos indica o consumo energético em euros e o eixo das abcissas os anos, de zero a catorze, em que zero representa o ano do investimento inicial, indicado na primeira barra a azul neste primeiro cenário considerado, contrariamente ao gráfico referente às luminárias existentes atualmente não existindo esta primeira barra a azul, pois não há qualquer investimento inicial.

Gráfico 7 - Consumo zona A, B e C

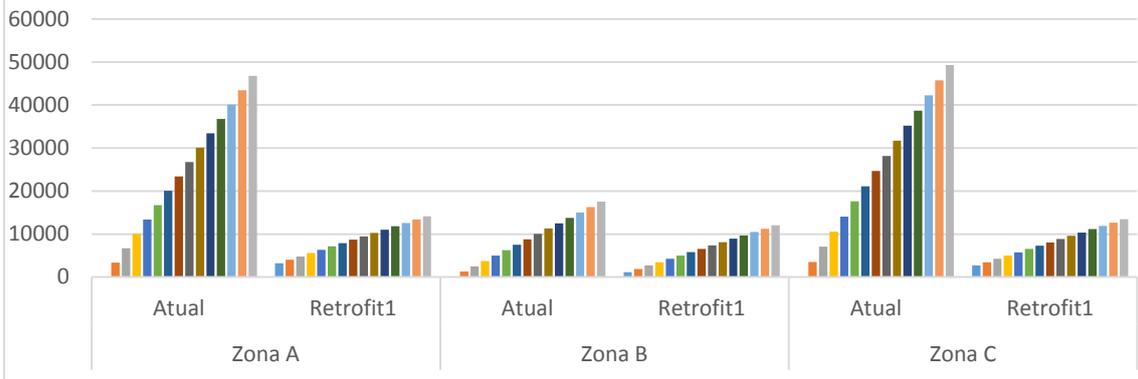


Gráfico 8 - Payback zona A, B e C

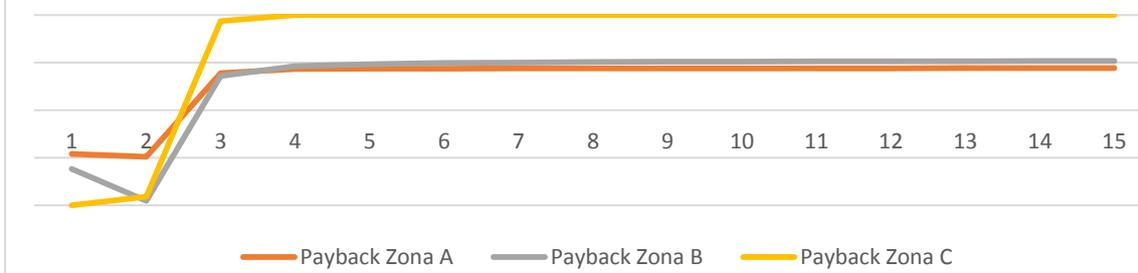


Gráfico 9 - Consumo zona D, E e F

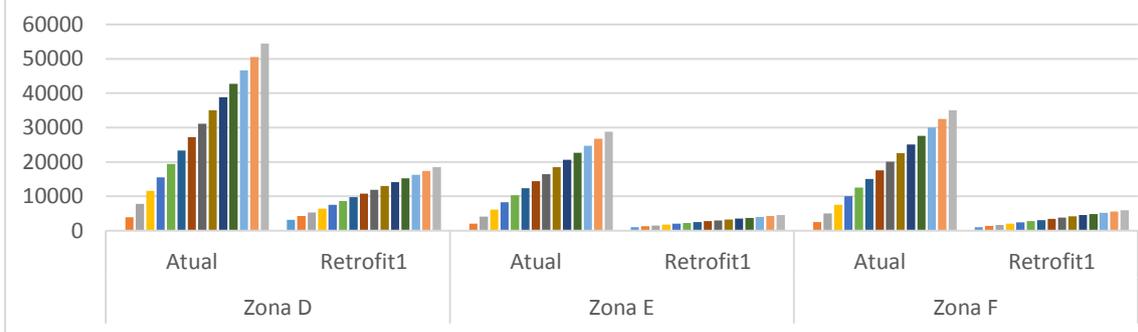


Gráfico 10 - Payback zona D, E e F

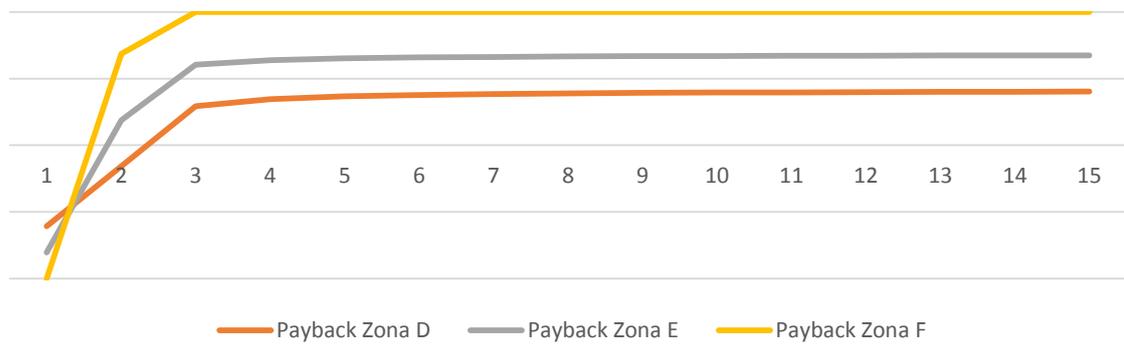


Gráfico 11 - Consumo zona G, H e I

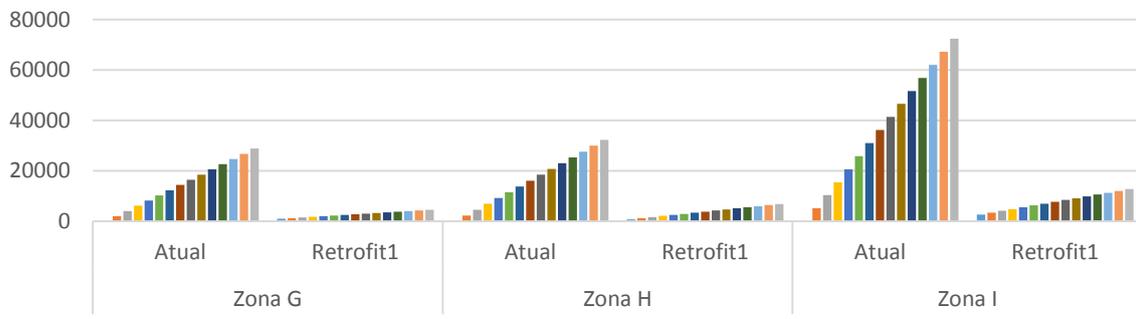


Gráfico 12 - Payback zona G, H e I

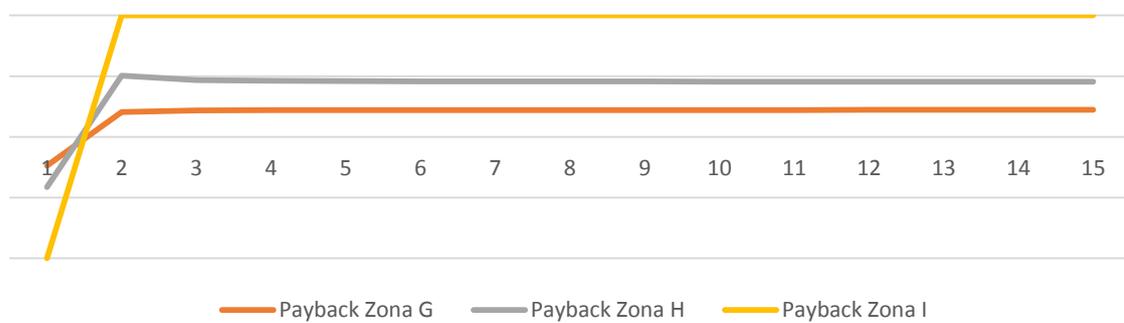


Gráfico 13 - Consumos zona J, L e M

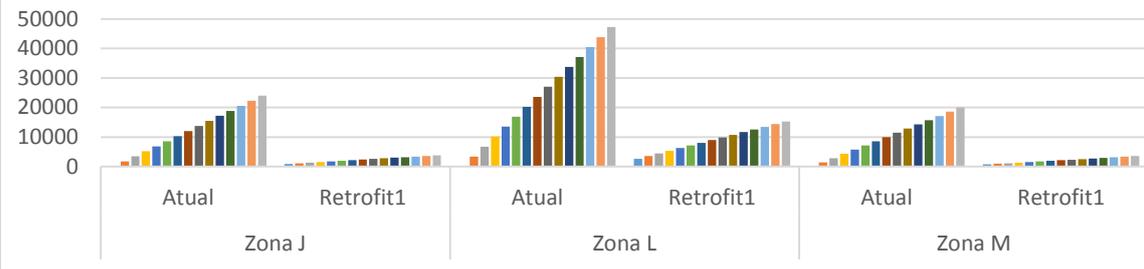


Gráfico 14 - Payback zona J, L e M

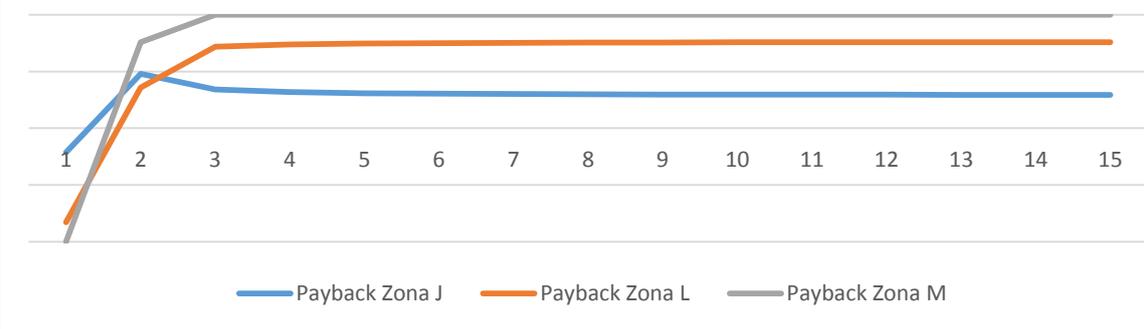


Gráfico 15 - Consumo zona N, O e P

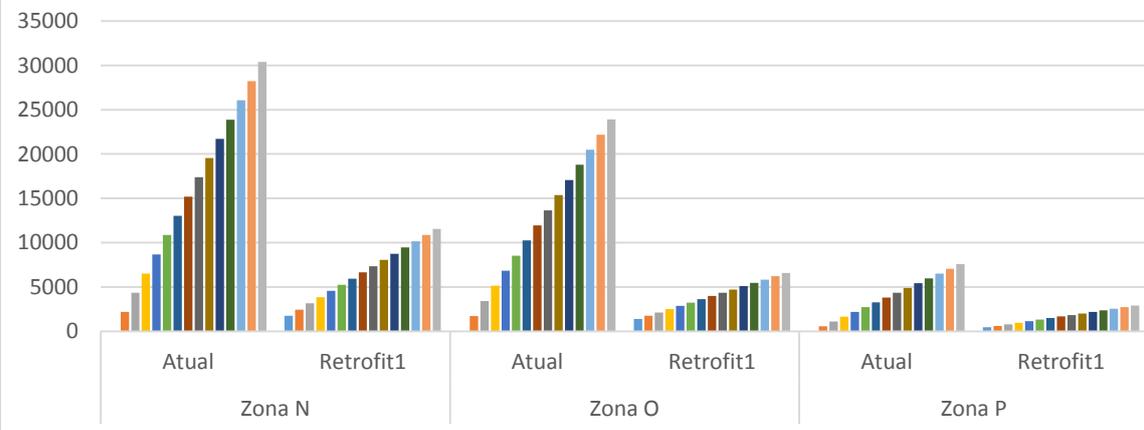
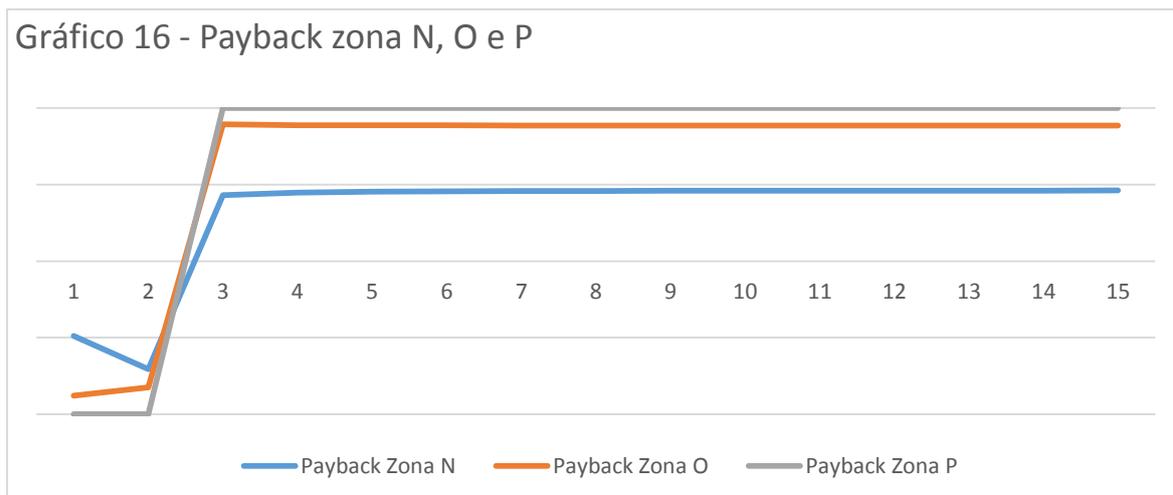


Gráfico 16 - Payback zona N, O e P



4.2.1.2 - Cenário 2 - Substituição com descentralização de informação

Neste controlo, o mais vanguardista a nível tecnológico, cada luminária está endereçada perante uma rede que coexiste na fábrica o que permite uma monitorização em tempo real em qualquer parte do mundo assim como agrupar conjuntos de luminárias, configurar a regulação, entre outros tal como veremos mais adiante. O investimento inicial mais avultado comparativamente ao cenário anterior é uma realidade porém interessa estudar este caso e tentar perceber qual a sua exequibilidade económica assim como a mais-valia a curto/médio prazo que possa representar para a unidade fabril em questão visto que com este tipo de solução criar-se-ia uma rede na unidade fabril o que facilitaria significativamente a descentralização de informação diversa para o exterior ainda para mais quando, tendencialmente, existem, cada vez mais, diversificados sensores para medir uma imensidão de diferentes eventos, e conseguindo obter os valores em tempo real desses mesmos eventos disponibilizados duma forma descentralizada é uma mais valia relevante e significativa. O sistema deste cenário² baseia-se na figura 4.3.

Para a detecção de movimento, a solução mais vanguardista emprega tanto detecção de movimento por microondas como por PIR (infravermelho passivo). Nesta abordagem o problema de consumo de energia é potenciado utilizando um sensor PIR como elemento de disparo. Assim, quando o sensor PIR gera um evento desencadeador, o sensor de micro-ondas é ligado para validar a detecção. Este sistema torna-se mais robusto e vanguardista.

A nível de interface de comunicação o sistema ilustra-se na imagem seguinte

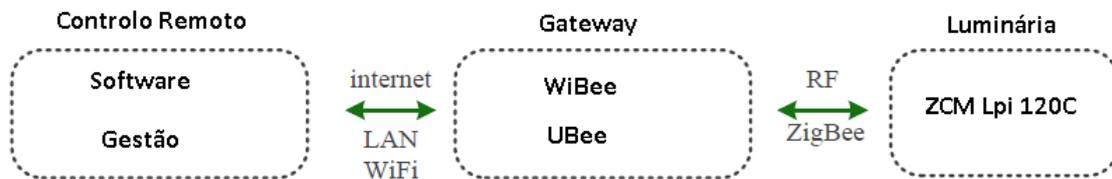


Figura 4.9 – Interface de comunicação do sistema proposto

Este *driver* considerado (Lpi 120C) é bastante atrativo para utilizar neste tipo de aplicações de iluminação porque permite endereçar cada luminária significando portanto que se torna fácil manipular alguns parâmetros, tais como *dimming*, *delay's*, que se tornam preponderantes a nível de sustentabilidade energética com a fluidez do tempo; além disto possui uma longevidade substancial (superior a 10 anos). A nível do *dimming*, e com o respetivo *software* Clairbee para manipular a série ZCM-C, é fácil manipular os *delay's* de subida e descida e o tempo em que a luminária permanece em determinado nível. Estas propriedades encontram-se discriminadas na imagem seguinte que ilustra precisamente o interface do utilizador com o propósito de manipular os parâmetros supramencionados.

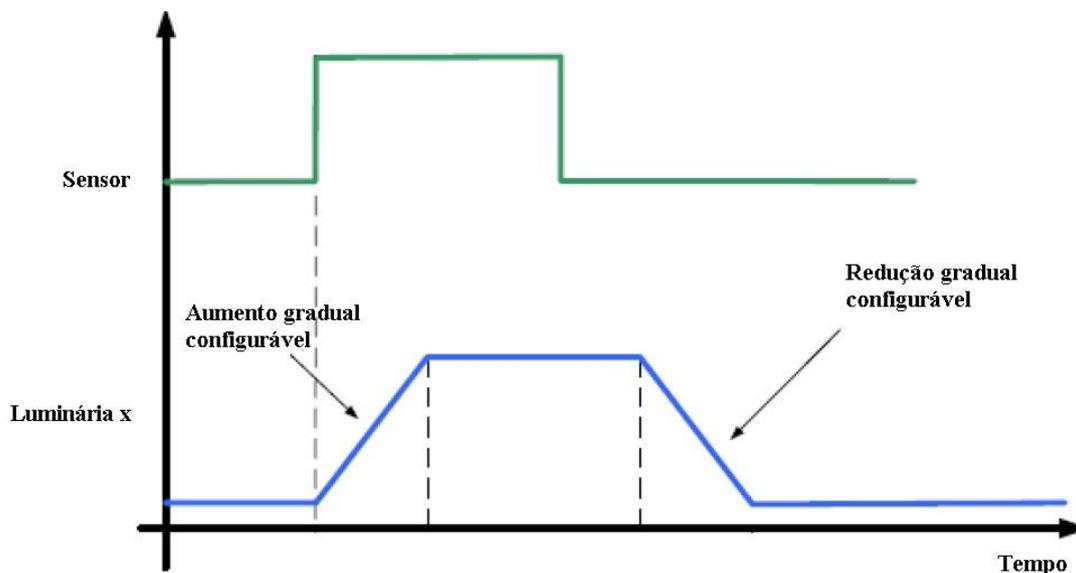


Figura 4.10 – Diagrama da regulação para o driver considerado

Relativamente aos *gateway's*, e ao funcionamento das comunicações, o sistema é ilustrado de seguida.

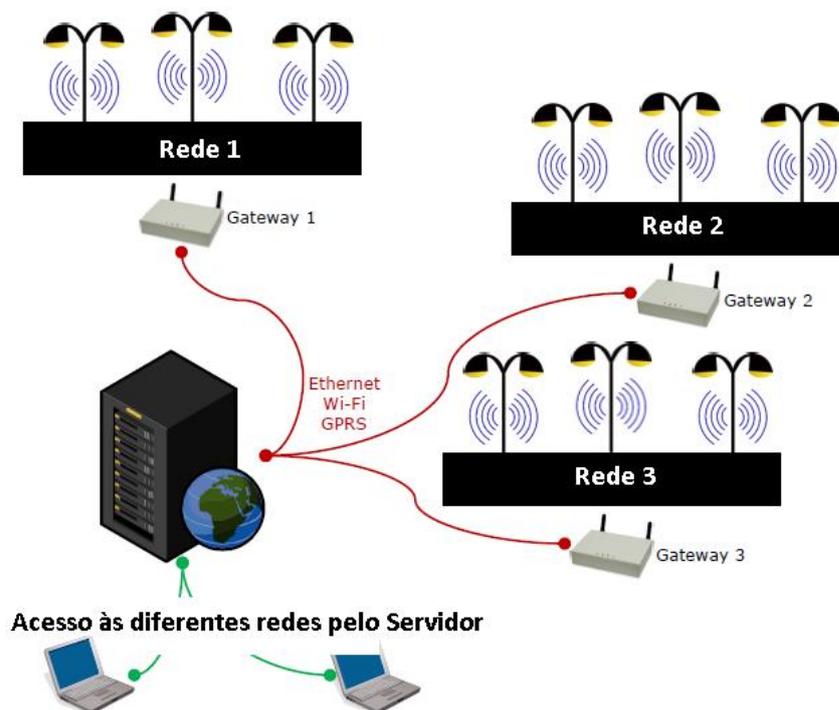


Figura 4.11 – Diagrama funcional do Sistema e respetivos *Gateway's*

4.2.2 - Análise Técnico – Económica comparativa

Através da análise dos gráficos acima apresentados, é inegável a poupança de consumo energético com a migração para luminárias LED, sendo que o declive das barras em qualquer uma das duas opções e em qualquer uma das zonas consideradas é menor do que o declive das barras do gráfico do consumo energético atual. Ou seja, à medida que o tempo flui, a poupança energética aumenta significativamente. Relativamente ao cenário2, tal como se pode visualizar no gráfico seguinte, possui um declive menor quando comparado com o cenário1 porém, apenas se torna compensatório a nível económico ao 9º ano, quando comparado com o cenário1.

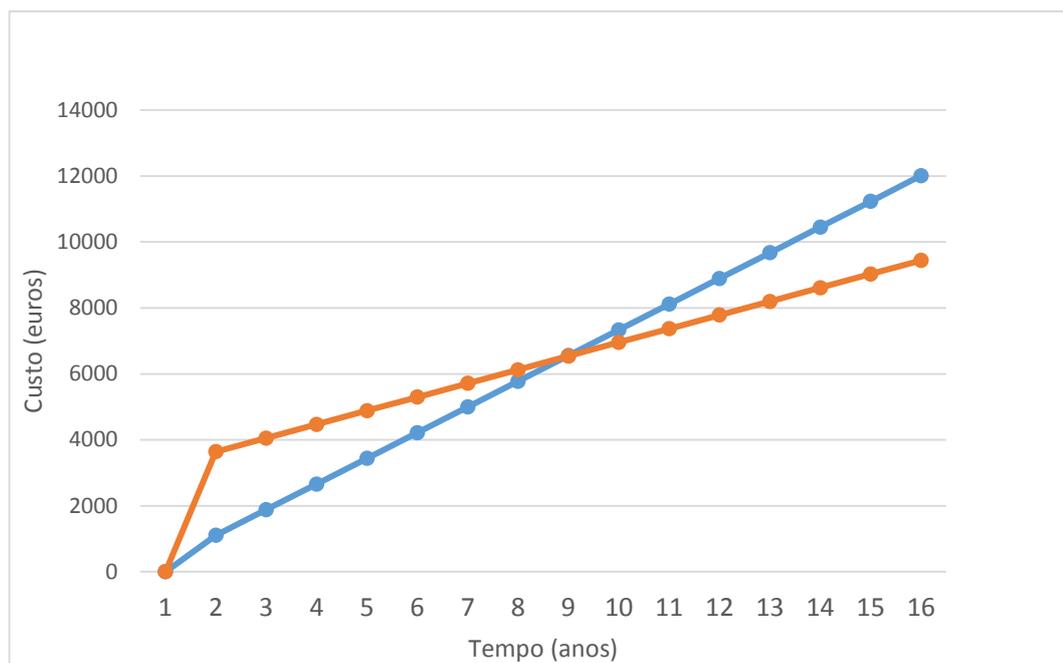


Gráfico 17 – Progressão dos dois cenários

No caso concreto da empresa em questão, considero que a hipótese mais interessante será a correspondente ao cenário1, visto que o investimento inicial, a probabilidade de avaria e a complexidade de instalação são menores relativamente ao cenário2. No entanto, esta segunda hipótese será a mais interessante do ponto de vista tecnológico e com mais potencialidades para o quotidiano da empresa uma vez que seria possível controlar as suas luminárias LED à distância quando alguma imprevisibilidade ocorresse e, indo de encontro com o médio/longo prazo, coexistindo uma rede na unidade fabril, esta pudesse não só servir para controlar a iluminação mas, fundamentalmente, para descentralizar informação diversa indo de encontro com a tendência do *internet of things*. De facto, o cenário2 é uma hipótese onerosa comparativamente com o cenário1 tanto pelo seu investimento inicial como pelo investimento avultado em *hardware*, pois as luminárias têm um custo unitário superior às do cenário1. Por último, o cenário2, seria à partida o mais vantajoso pelas suas elevadas poupanças energéticas a longo prazo, como se pode concluir através da visualização dos gráficos por ser aquele que apresenta menor declive, porém, não o considero o mais interessante pelo seguinte motivo; neste tipo de controlo fazer-se-ia *dimming* sob uma potência que já estaria no seu limiar mínimo no que respeita à iluminação, tal resultaria numa iluminação deficiente.

5 - Conclusões

Nas conclusões interessa ressaltar que os sistemas de iluminação têm o principal propósito de iluminar convenientemente os espaços alvo consumindo o menos possível a nível energético.

Em linhas redondas a iluminação exterior representa cerca de 5% do total de custo energético da unidade fabril.

O principal propósito do estudo que fora efetuado prende-se com o levantamento das luminárias existentes na unidade fabril assim como fazer uma análise técnico-económica de dois cenários distintos.

De outra forma, e, indo de encontro com o expectável, é inegável a poupança energética com qualquer dos dois cenários propostos tal como é possível visualizar nas duas projecções que se encontram nos gráficos e portanto converge para corroborar a substancial poupança no uso da tecnologia LED.

Com esse propósito e depois de analisar os gráficos dos consumos e dos respetivos investimentos iniciais conclui-se que o segundo cenário apenas se torna economicamente viável na situação de utilizar a rede existente para outros propósitos além da iluminação, visto que, o primeiro cenário se encontra no limiar mínimo de iluminação, não permitindo portanto qualquer regulação acrescido. Para além deste facto, em grosseira aproximação, o preço apenas do driver para o segundo cenário, supera o preço da totalidade da luminária para o primeiro cenário, o que acaba por ter uma repercussão económica bastante significativa.

Outro ponto que é importante salientar é o facto de todo este trabalho ter permitido uma experiência prática no mundo empresarial sempre com o propósito de utilizar a tecnologia para tornar os serviços mais relevantes.

Referências

- [1] International Energy Agency, “Key World Energy Statistics”. (2009). Disponível em <http://www.iea.org>.
- [2] International Energy Agency, “Light’s labour’s lost Policies for Energy-efficient Lighting” (2006). Disponível em <http://www.iea.org>.
- [3] <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/23242/Espectro%20Eletrico%20magnetico.jpg?sequence=1> (acedido em 10/07/2015, Ponto ciência)
- [4] https://pt.wikipedia.org/wiki/Fluxo_luminoso (acedido em 10/08/2015)
- [5] D. José Ramírez Vázquez, Carlos Buigas Sans, Ignacio Munilla Morales, “Luminotecnia Enciclopedia Ceac de Electricidad” pp 20 a 64, pp 70 a 291, Ediciones Ceac, Barcelona, 1972.
- [6] Philips, “Lighting Handbook Correspondence Course”.
- [7] International Commission on Illumination, <http://www.cie.co.at/>.
- [8] L. P. d. Araújo, "Tipos e características de lâmpadas," *Sistemas de iluminação*, vol. <http://www.prof2000.pt/users/lpa>.
- [9] V. E. G. d. Santos, "Tipos de Lâmpadas," *Departamento de Engenharia Electrotécnica Escola Superior de Tecnologia de Viseu*, vol. http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/Fontes_Lumin.pdf, 2005.
- [10] [10] Philips Lighting Company, Lamp Specification and Application Guide. Disponível em www.lighting.philips.com. Acesso em 13/Fevereiro/2015.
- [11] G. Held, "*Introduction to Light Emitting Diode Technology and Application*". 2009.
- [12] S. Soloman, "*Sensors and Control Systems in Manufacturing*".
- [13] P. Boyce, "*Lighting for Driving: Roads, Vehicles, Signs and Signals*", 2009.
- [14] <http://www.commsdesign.com/showArticle.jhtml?articleID=192200323> ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks.
- [15] J. Almeida Costa e A. Sampaio e Melo. Dicionário da Língua Portuguesa. Porto Editora, Lda., Seventh edition, 1997.
- [16] Solid-state lighting research and development portfolio: Multi-year program plan FY’07-FY’12, Navigant Consulting, Inc., 2006, prepared for Lighting Research and Development Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Dept. of Energy.

- [17] Flowers, David; Yang, Yifeng: Microchip MiWi™ Wireless Networking protocol Stack; Microchip Technology Inc.; 2010; available on pdf:
http://www.newark.com/pdfs/techarticles/microchip/AN1066_MiWiAppNote.pdf.
- [18] LTD, H. M. C. (2006). "RFM12B Module Datasheet".
- [19] Patrick Kinney. Zigbee technology: Wireless control that simply works, 2003.
- [20] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. A eletricidade.
- [21] Thorn, “Telea – Outdoor Lighting Controls”, Jan. 2009, Available at:
http://www.thornlighting.com/download/THN_0004_Telea_18.pdf.
- [22] Tridonic, “Switch Sensor HF 5BP”, product datasheet, Outubro, 2015.
- [23] Tridonic, “SMART Sensor 10DPI 19f”, product datasheet, Outubro, 2015.
- [24] Steinel, “NM 5000-2-24”, product datasheet, Outubro 2015.
- [25] Steinel, “IS3180-24, IS3360-24, IS 345-24”, datasheet, Outubro, 2015.
- [26] https://pt.wikipedia.org/wiki/Ângulo_sólido (acedido em 03/07/2015)
- [27] https://pt.wikipedia.org/wiki/Fluxo_luminoso (acedido em 03/07/2015).
- [28] L. P. d. Araújo, "Tipos e características de lâmpadas," *Sistemas de iluminação*, vol. <http://www.prof2000.pt/users/lpa>.
- [29] V. E. G. d. Santos, "Tipos de Lâmpadas," *Departamento de Engenharia Electrotécnica Escola Superior de Tecnologia de Viseu*, vol. http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/Fontes_Lumin.pdf, 2005.
- [30] <http://osfundamentosdafisica.blogspot.pt/2013/06/cursos-do-blog-eletricidade.html> (acedido em 03/07/2015).
- [31] Estratégia nacional para a energia 2020. Disponível em <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=206&cat=197>. Acesso em 15/Fevereiro/2015.
- [32] <http://www.osram.pt> (acedido em 15/10/2015).
- [33] www.etaplighting.com (acedido em 26-04-2015).
- [34] Catálogo Geral 2007, EEE.
<http://material.eee.pt/multimedia/documentos/508/CANDELA09.pdf> (acedido em 09-7-2015).

- [35] Teixeira, Armínio de Almeida. Apontamentos de Luminotecnia e Instalações Industriais. http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/NIVEIS_ILUM.pdf (04-05-2012).
- [36] Decreto Lei nº 78/2006 de 4 de Abril. Ministério da Economia e da Inovação, Portugal.
- [37] <http://www.amorim.com/>.
- [38] Xiaomu Luo, *et al.*, "Human Tracking Using Ceiling Pyroelectric Infrared Sensors," *IEEEExplore*.
- [39] S. Soloman, *Sensors and Control Systems in Manufacturing, 2nd Edition*: MacGraw-Hill, 2010, 1994.
- [40] <http://www.lojaletrica.com.br/> (acedido em 26-04-2015).
- [41] <http://www.tridonic.fr/fr/products> (acedido em 26-04-2015).
- [42] www.steinell.net (acedido em 26-07-2015).
- [43] www.meanwell.com/.../LPF-40D/LPF-40D-spec.pdf (acedido em 26-06-2015).
- [44] <http://picprojects.org.uk/projects/dmx/dmx688/>.
- [45] www.ni.com (acedido em 26-06-2015).
- [46] <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/technology/personalareanetworks/technology/home.html> (acedido em 26-06-2015).
- [47] <http://aexit.es/redes-zigbee/> (acedido em 26-06-2015).
- [48] LITES (Intelligent Street Lighting for Energy Saving).

Anexos

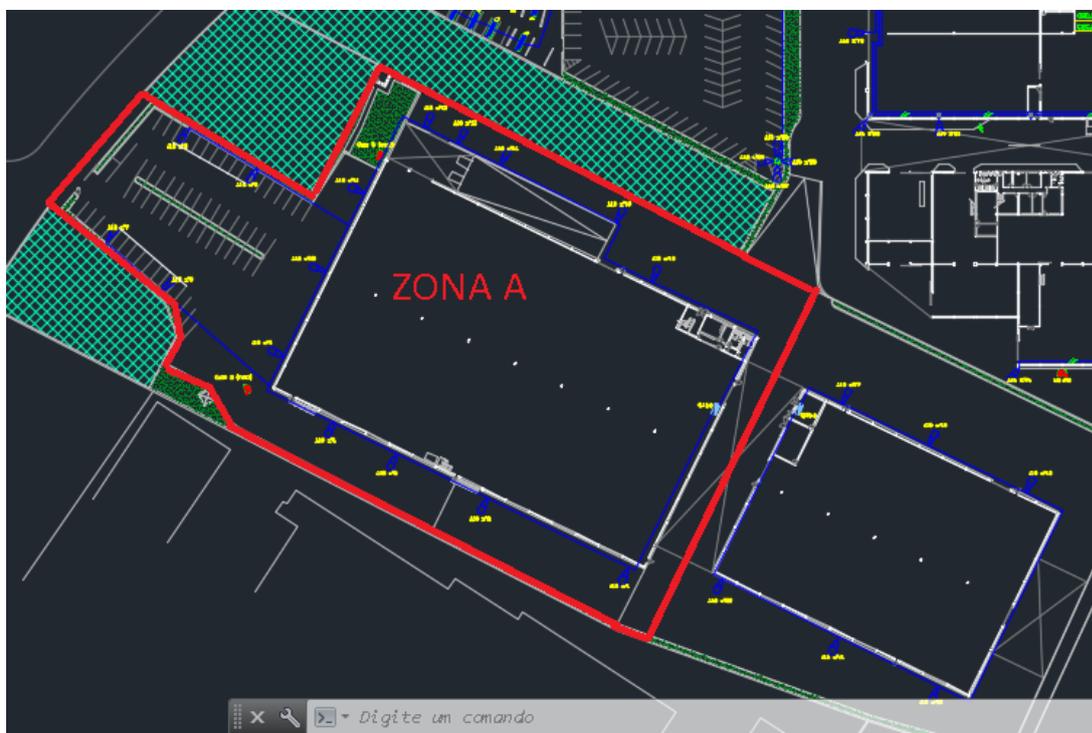


Figura a.1 – Zona A

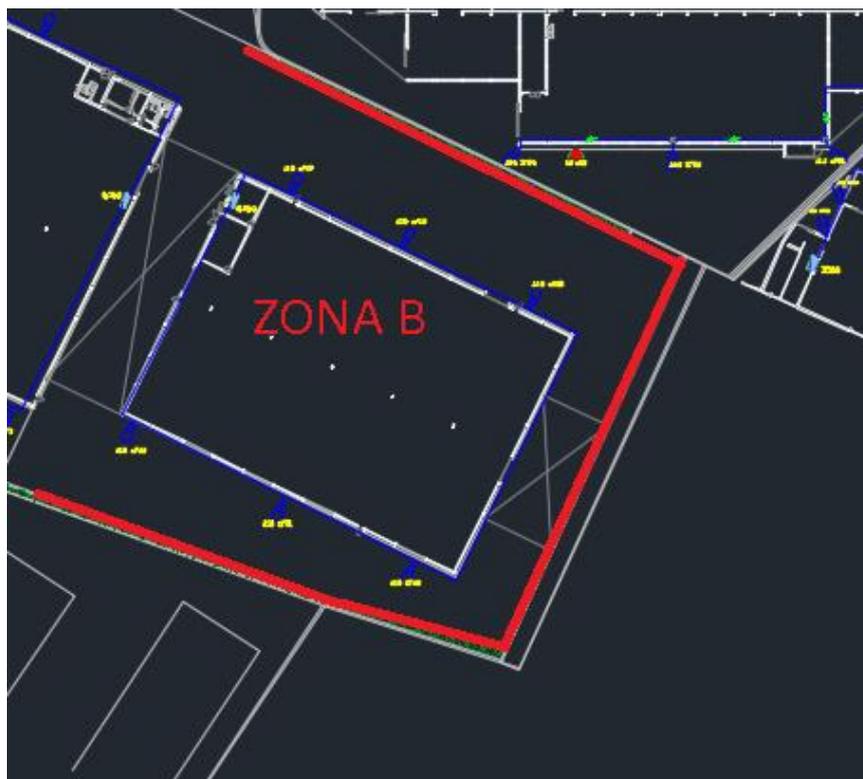


Figura a.2 – Zona B

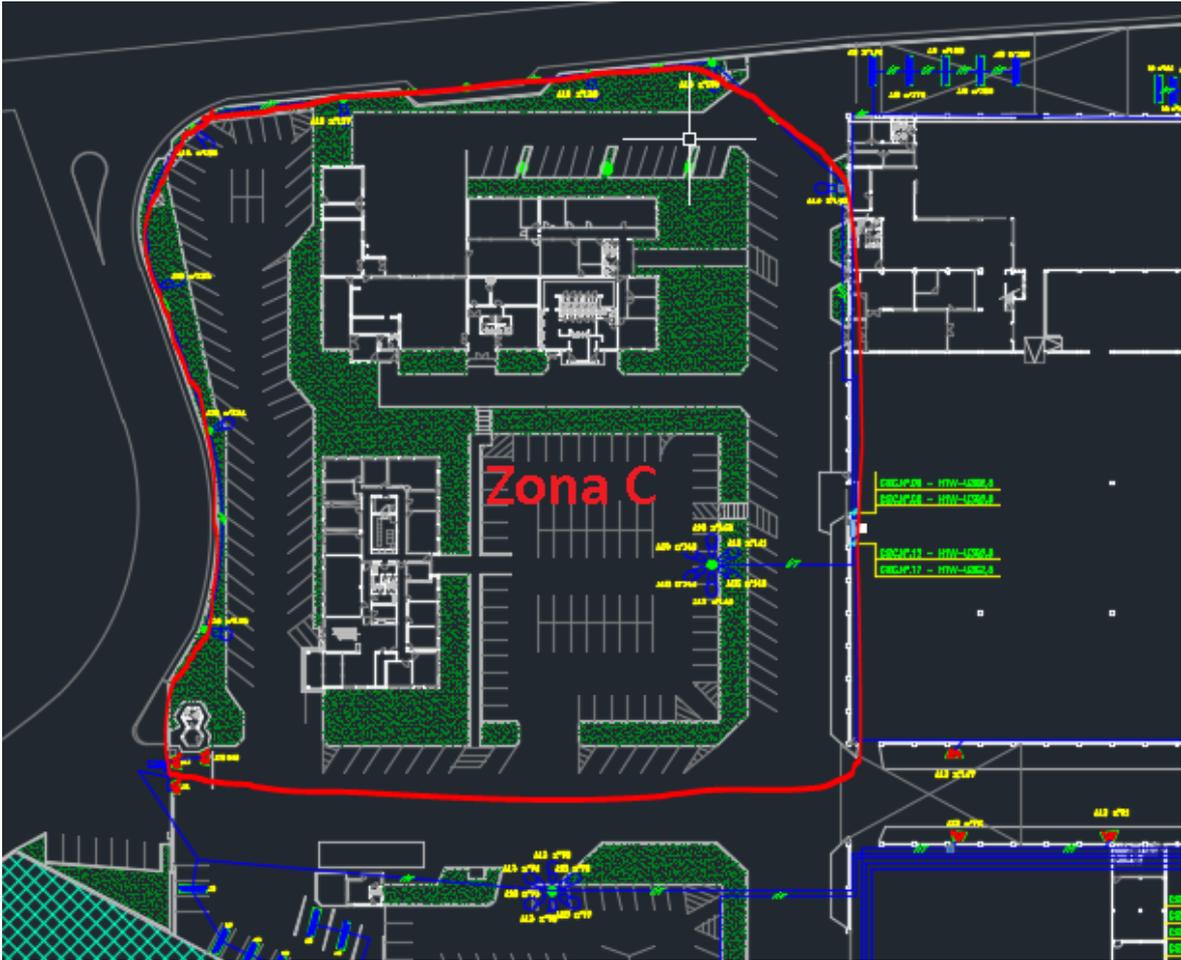


Figura a.3 – Zona C

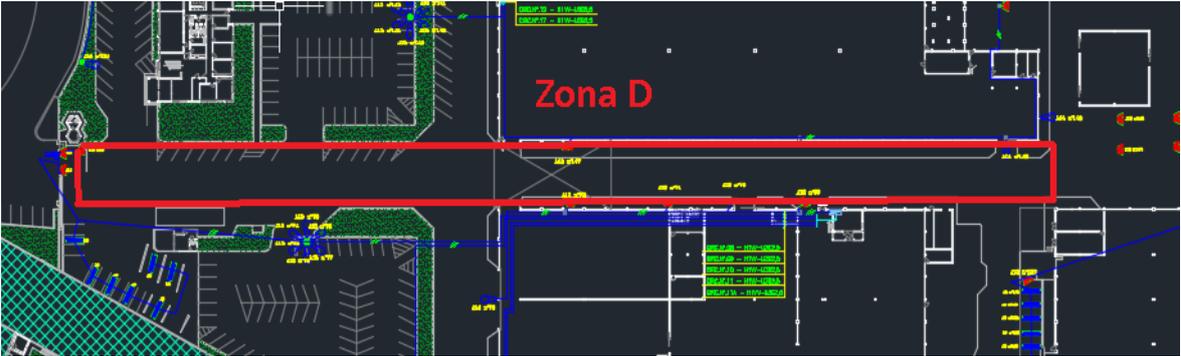


Figura a.4 – Zona D

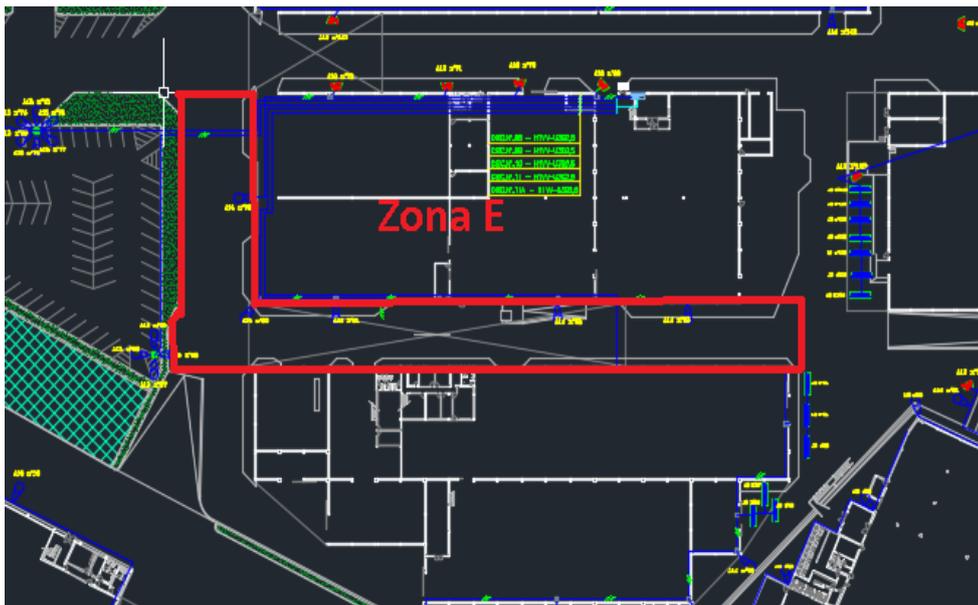


Figura a.5 – Zona E



Figura a.6 – Zona F

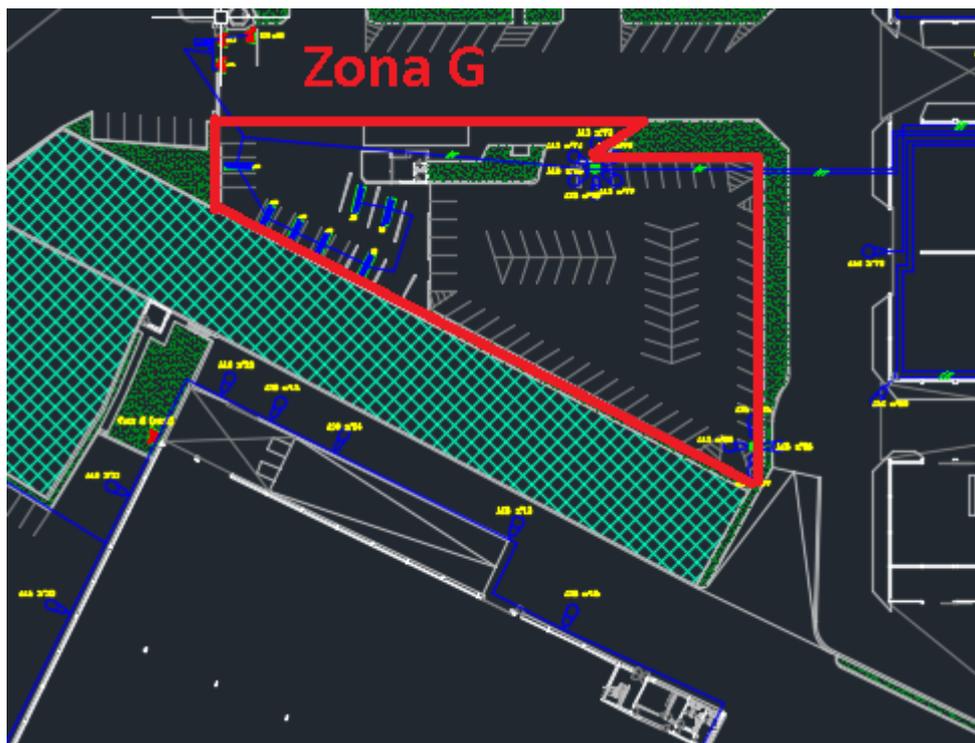


Figura a.7 – Zona G

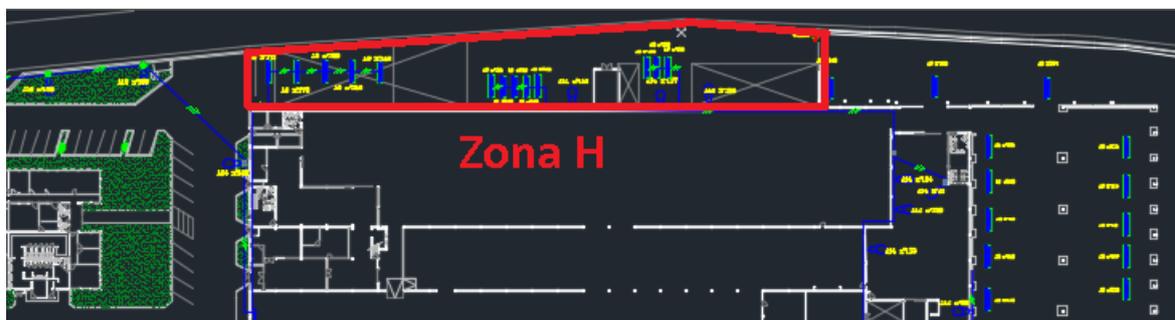


Figura a.8 – Zona H



Figura a.9 – Zona I



Figura a.10 – Zona J



Figura a.11 – Zona K



Figura a.12 – Zona L



Figura a.13 – Zona M

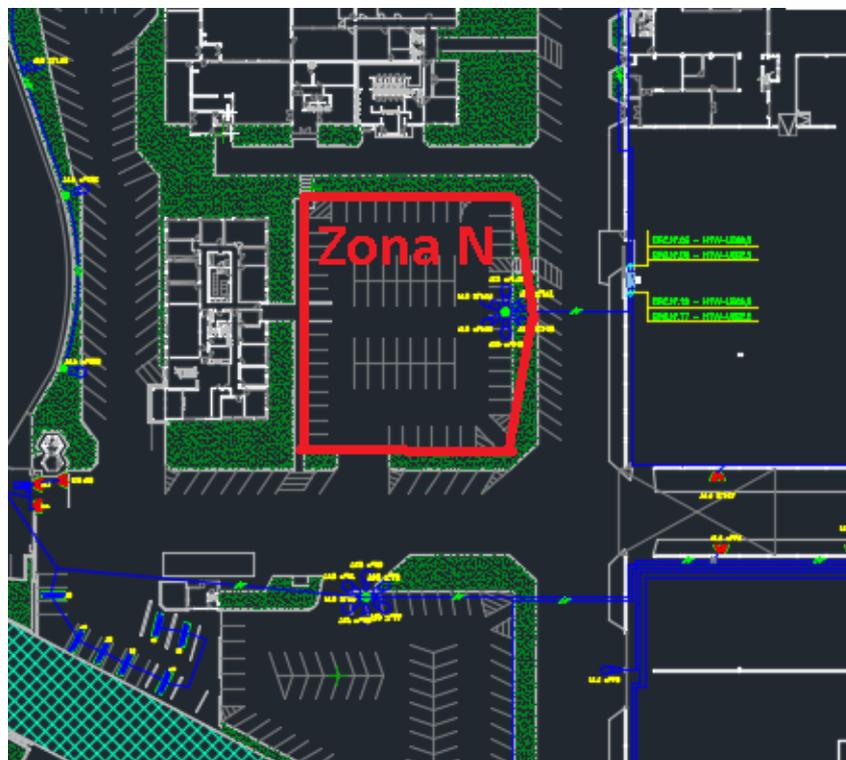


Figura a.14 – Zona N

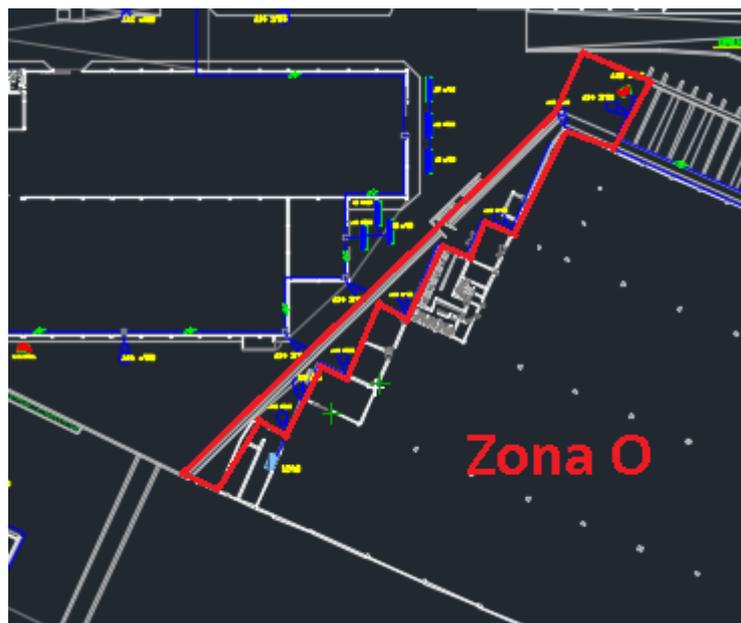


Figura a.15 – Zona O



Figura a.16 – Zona P

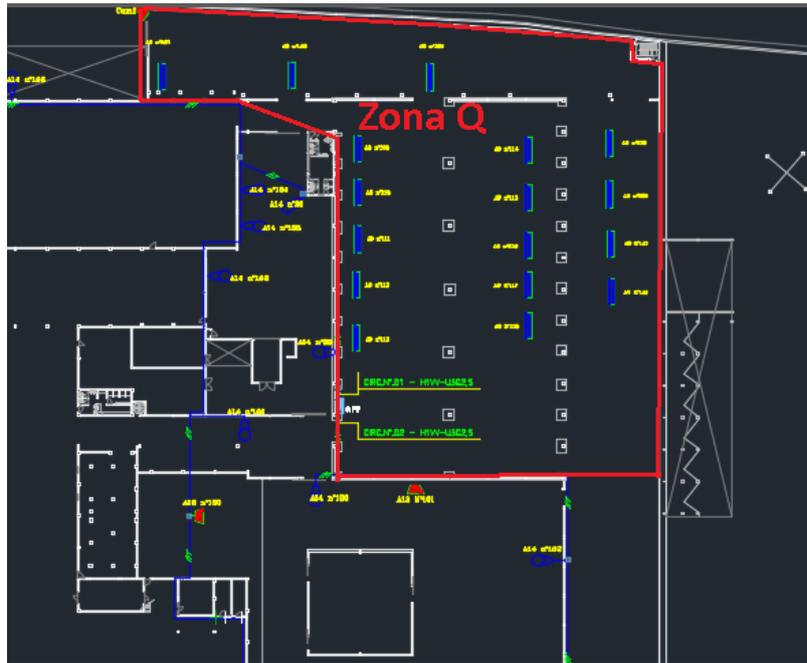


Figura a.17 – Zona Q

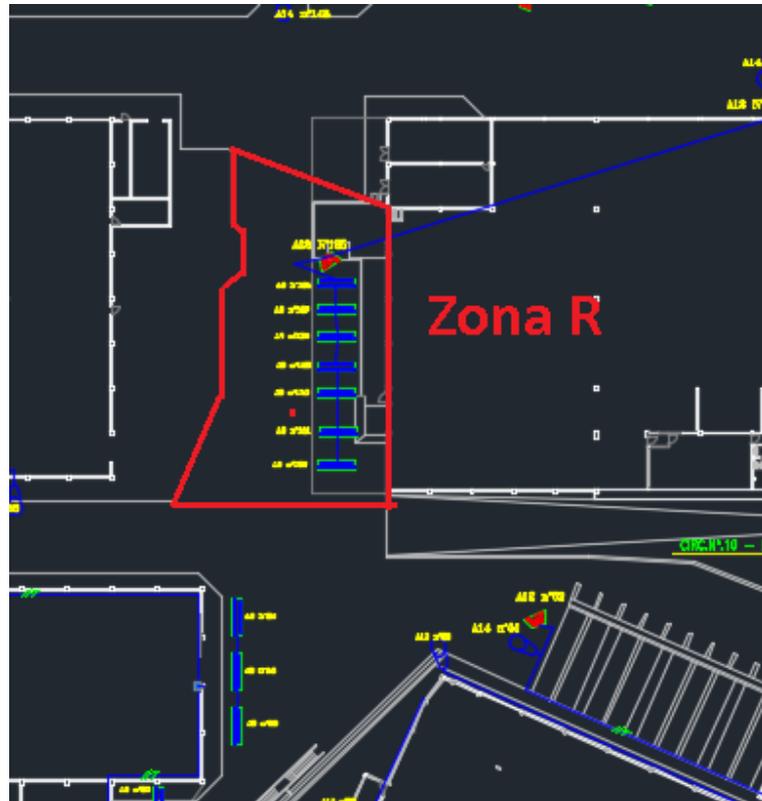


Figura a.18 – Zona R