



Redes de Iluminação Pública Multisserviços

DANIEL JOSÉ SILVA CRUZEIRO

Julho de 2021

REDES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA MULTISSERVIÇOS

Daniel José Silva Cruzeiro



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
TEDSEE – Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas
Elétricos de Energia

Candidato: Daniel José Silva Cruzeiro, Nº 1151304, 1151304@isep.ipp.pt

Orientação científica: Eng.º Rui Castro, rrc@isep.ipp.pt

Empresa: Smartlamppost

Supervisão: Eng.º João Pedro Faria, jfaria@smartlamppost.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

AGRADECIMENTOS

Á Smartlamppost, empresa que me proporcionou a realização desta dissertação de mestrado, com um especial obrigado ao Eng. João Pedro Faria e ao Eng. Tiago Caçoilo por todo o conhecimento e experiência que me transmitiram ao longo deste tempo, desempenhando um papel fundamental na minha evolução, tanto a nível pessoal como profissional.

Ao meu orientador, o Eng. Rui Castro, pela sua disponibilidade e apoio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Carlos Miguel Silva, da E-REDES, por toda a disponibilidade e informações prestadas para a realização do caso de estudo.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), faculdade que me acolheu ao longo destes últimos anos e que me permitiu abrir portas para o mundo do trabalho e fechar este ciclo académico.

Á minha família, pela ajuda prestada durante todo o meu caminho académico.

A todos vós, o meu mais sincero obrigado!

RESUMO

O surgimento das *Smart Cities* tem levantado um conjunto de desafios, como tecnológicos, financeiros, escolha dos serviços para melhoria da qualidade de vida dos munícipes, cumprimento dos *Sustainability Goals* das Nações Unidas, mas também regulatórios. A inexistência de uma infraestrutura base que permita simplificar o *rollout* dos diversos serviços, a partilha de custos e que se torne uma fonte de receita para os municípios tem também dificultado o surgimento de *Smart Cities* tal como, a massificação dos serviços nas cidades. É nesse âmbito que surge o conceito Smartlamppost, em que se pretende num poste de iluminação agregar vários serviços, como por exemplo: iluminação inteligente, carregamento elétrico de veículos, redes de comunicações (4G/5G, Wi-Fi, IoT), informação e sinalética digital (ecrã interativo), monitorização ambiental (sensores de poluição, ruído, temperatura, humidade,...) e videovigilância.

Como resposta a estas necessidades, é pretendido com esta dissertação apresentar uma proposta de coluna de Iluminação Multisserviços, expondo um caso de estudo em que aborda a integração de colunas de Iluminação Multisserviços numa rede energética de Iluminação Pública existente e, conseqüentemente, identificar os impactos regulamentares e operacionais que dificultam a implementação deste tipo de infraestrutura.

Palavras-Chave

Coluna de Iluminação Pública Multisserviços, Coluna de Iluminação, Infraestrutura Base, *Smart Cities*, Smartlamppost, Iluminação Pública

ABSTRACT

As Smart Cities become a reality and addressing more and more the cities and its citizens problems, difficulties and needs new challenges are been brought up, such as technological, financial, choice of services to improve the quality of life of citizens, compliance with the United Nations Sustainability Goals, but also regulatory. The lack of a base infrastructure that allows simplifying the rollout of the various services, sharing costs and becoming a source of revenue for municipalities (guarantying in this way that Smart Cities are sustainable) has also hindered the emergence of Smart Cities, as well as the massification of services in cities. It is in this context that the Smartlamppost concept arises, in which a street lamppost is intended to add various services, such as: intelligent lighting, electric vehicle charging, communication networks (4G/5G, Wi-Fi, IoT), information and digital signage (interactive screen), environmental monitoring (sensors of pollution, noise, temperature, humidity, ...) and video surveillance.

In response to these needs, this dissertation intends to present a proposal for a Multiservice Light Pole, exposing a case study in which it addresses the integration of Multiservice Light Poles in an existing Public Light energy network and, consequently, to identify the regulatory impacts and operational factors that make it difficult to implement this type of infrastructure.

Keywords

Multiservice Street Light Pole, Light Pole, Basic infrastructure, Smart Cities, Smartlamppost, Public light

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ACRÓNIMOS	XXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. A EMPRESA	3
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	4
2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA	7
2.1. O PANORAMA A NÍVEL MUNDIAL.....	8
2.2. O PANORAMA A NÍVEL NACIONAL	9
2.3. CONSTITUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE IP.....	9
2.3.1. Posto de transformação	10
2.3.2. Tipos de Ligação de Iluminação Pública	14
2.3.2.1. Rede Aérea.....	14
2.3.2.2. Rede Subterrânea	15
2.3.3. Tipos de apoios	16
2.3.3.1. Postes ou Colunas de iluminação.....	16
2.3.3.2. Cabos de Suspensão.....	17
2.3.3.3. Braços em fachadas de edifícios	17
2.4. O PAPEL DA E-REDES NA REDE DE IP	18
2.5. LEGISLAÇÃO, REGULAMENTAÇÃO E NORMAS.....	19
2.6. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	23
2.7. LUMINÁRIAS	26
2.7.1. Tipos de Fontes Luminosas	27
2.7.2. Constituição	33
2.7.3. Equipamentos Auxiliares	34
2.7.3.1. Dispositivos para Lâmpadas de Descarga.....	35

2.7.3.2.	Dispositivos para Tecnologia LED	36
2.8.	SISTEMAS DE CONTROLO E GESTÃO DE ENERGIA	37
2.8.1.	Células Fotoelétricas	39
2.8.2.	Relógios Astronómicos	39
2.8.3	Sistemas de Telegestão	40
3.	INCREMENTOS TECNOLÓGICOS PARA COLUNAS DE ILUMINAÇÃO	41
3.1.	CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	42
3.2.	REDES DE TELECOMUNICAÇÕES	43
3.2.1.	Redes Móveis.....	43
3.2.2.1.	Small Cells.....	46
3.2.2.2.	Antenas	48
3.2.2.	Acess Point (Wi-Fi)	50
3.2.3.	Fibra ótica	50
3.2.3.1.	Ponto de Distribuição Ótico	53
3.3.	INTERNET OF THINGS (IOT)	54
3.4.	TELEMETRIA	56
4.	PROPOSTA DE SOLUÇÃO.....	57
4.1.	COLUNA DE ILUMINAÇÃO MULTISSERVIÇOS.....	58
4.1.1.	Luminária.....	60
4.1.2.	Antena de Telecomunicações	61
4.1.3.	Dispositivos IoT.....	63
4.1.3.1.	Sensores de Recolhas de Dados	63
4.1.3.2.	CCTV	64
4.1.4.	Telemetria.....	66
4.1.5.	Ecrãs interativos e informativos.....	67
4.1.6.	Carregador de Veículos elétricos	68
4.1.7.	Equipamentos de Telecomunicações	70
4.1.8.	Quadro Elétrico.....	73
4.1.9.	Armário De Expansão.....	74
5.	CASO DE ESTUDO	76
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO	76
5.2.	ESTUDO LUMINOTÉCNICO	77
5.2.1.	Determinação da Classe de Iluminação	78
5.2.3.	Características da Luminária Seleccionada	80
5.2.4.	Análise dos Resultados Obtidos.....	81
5.3.	ESTUDO ELETROTÉCNICO	82
5.3.1.	Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas de Baixa Tensão	83
5.3.1.1.	Corrente de serviço e corrente admissível	83

5.3.1.2. Condições de Queda de Tensão	84
5.3.1.3. Proteção Contra Sobreintensidades	86
5.3.2. Caracterização da Rede de IP	89
5.3.3. Colunas de Iluminação Multisserviços a Implementar	92
5.3.3.1. Cálculos	92
5.3.3.1.1. Análise do Circuito 1	93
5.3.3.1.2. Análise do Circuito 2	98
5.3.3.1.3. Análise do Circuito 3	101
5.3.3.1.4. Análise dos resultados obtidos	103
5.3.4.1. Ligações á Terra	104
5.3.5.1. Esquemas Unifilares dos Quadros Elétricos	107
5.3.4. Impactos.....	109
5.3.4.1. Regulamentares	110
5.3.4.2. Operacionais	112
6. CONCLUSÕES.....	116
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	116
6.2. PERSPETIVAS FUTURAS	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Shareholders</i> Smartlamppost	3
Figura 2: Panorama da iluminação a nível mundial [3]	8
Figura 3: Panorama da iluminação a nível ibérico [3]	9
Figura 4: Fluxo energético no sistema elétrico nacional [4]	10
Figura 5: Exemplo de um interruptor seccionador exterior [6].	11
Figura 6: Exemplos de transformadores	11
Figura 7: Esquema Unifilar de um QGBT R630 – CIP com 2 saídas para IP e 6 saídas para a RDBT [7].	12
Figura 8: Constituição dos cabos em torçada [10]	14
Figura 9: Ligação através de linha aérea da rede de IP [4]	15
Figura 10: Ligação através de linha subterrânea da rede de IP [11]	15
Figura 11: Possíveis configurações de colunas de iluminação [13]	16
Figura 12: Cabo em suspensão [12]	17
Figura 13: Luminária em fachada [12]	18
Figura 14: Fluxo luminoso [18]	23
Figura 15: Esquema representativo da luminância [18]	24
Figura 16: Iluminância sobre uma superfície [18]	24
Figura 17: Temperatura de cor [19]	25
Figura 18: Luminária <i>LED</i> de última geração [22].	26

Figura 19: Tipos de lâmpadas	26
Figura 20: Lâmpada vapor de sódio de baixa pressão [23]	27
Figura 21: Lâmpada de HPS do tipo ovoide e tubular [19]	28
Figura 22: Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [19]	29
Figura 23: Lâmpada de iodetos metálicos [22]	30
Figura 24: Tipo de <i>LED</i> aplicado em luminárias [19]	31
Figura 25: Via pública iluminada por tecnologia <i>LED</i> [20]	32
Figura 26: Exemplo de um balastro eletromagnético (esquerda) e de um balastro eletrônico (direita) [19]	35
Figura 27: Exemplo de um Ignitor/Arrancador [24]	35
Figura 28: Condensador de arranque [19]	36
Figura 29: Driver <i>LED</i> [25]	36
Figura 30: Dissipador tipo estrela para LED [19]	37
Figura 31: Topologias dos sistemas de controlo de IP.	38
Figura 32: Focélula	39
Figura 33: Exemplo de relógio astronómico [26]	39
Figura 34: Sistema de Telegestão [27]	40
Figura 35: Evolução das redes móveis desde a 1G até ao 5G [36].	46
Figura 36: Esquema de um sistema de comunicações, usando ondas eletromagnéticas [40]	48
Figura 37: Representação da radiação emitida por uma antena omnidirecional [42]	49
Figura 38: Representação da radiação emitida por uma antena diretiva [42]	49

Figura 39: Exemplo de um <i>Acess Point</i> [46]	50
Figura 40: Composição da fibra ótica [48]	51
Figura 41: Esquema de transmissão genérico de sinais em fibra ótica [47]	51
Figura 42: Fibra ótica monomodo [48]	52
Figura 43: Fibra ótica multimodo [48]	52
Figura 44: Distribuidor ótico de prateleira (á esquerda) e de parede (á direita).	53
Figura 45: Aplicabilidade de IoT [55]	55
Figura 46: Estrutura de uma unidade de medição.	56
Figura 47: Coluna de Iluminação Multisserviços	59
Figura 48: Luminária LUSA adotada na coluna de Iluminação Multisserviços [22]	60
Figura 49: Cápsula da antena de telecomunicações da coluna de Iluminação Multisserviços	61
Figura 50: Antena <i>Sencity Urban 100</i> [58]	62
Figura 51: Antena <i>Sencity Urban 200</i> [58]	62
Figura 52: Antena <i>Sencity Urban 100</i> instalada no topo da coluna de Iluminação Multisserviços	63
Figura 53: Equipamento com sensores climatéricos <i>IoT</i> adotado na coluna de Iluminação Multisserviços [59]	64
Figura 54: CCTV instalada na coluna de Iluminação Multisserviços	64
Figura 55: Exemplo de <i>Smart Parking</i> [60]	65
Figura 56: <i>Camera Trainer</i> baseado em <i>HoG</i> [60]	66
Figura 57: Sensores da Telemetria	66

Figura 58: Sistema Telemetria	67
Figura 59: Exemplo de ecrã interativo inserido numa coluna de Iluminação Multisserviços em V.N. Famalicão	68
Figura 60: Carregador de VE incorporado na coluna de Iluminação Multisserviços	69
Figura 61: <i>Small Cell Ericsson 4G Plus</i> (lado esquerdo) e <i>Small Cell 4G Acelleran</i> (lado direito) instaladas no interior da coluna de Iluminação Multisserviços	71
Figura 62: Equipamento <i>Wi-Fi (Access Point)</i> adotado no interior da coluna de Iluminação Multisserviços	71
Figura 63: Sistema de distribuição de fibra ótica	72
Figura 64: Integração de 3 PDOs no interior da coluna de Iluminação Multisserviços	72
Figura 65: Quadro elétrico instalado no interior da coluna de Iluminação Multisserviços.	73
Figura 66: Armário de expansão acomodado na coluna de Iluminação Multisserviços	74
Figura 67: Equipamento de telecomunicações (RRU) inserido no armário de expansão.	75
Figura 68: Zona de intervenção	77
Figura 69: Identificação da Zona 1 e 2 do local de estudo	78
Figura 70: Luminária selecionada para o caso de estudo (LUSA) [22]	80
Figura 71: Zona de estudo em formato 3D	81
Figura 72: Distribuição de cores falsas	82
Figura 73: Coordenação entre os condutores e os dispositivos de proteção	87
Figura 74: Rede de IP do local de estudo	89
Figura 75: Equipamentos a instalar nos circuitos de IP	92
Figura 76: Esquema unifilar do circuito 1	93

Figura 77: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 1	94
Figura 78: Cálculo da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 1	95
Figura 79: Tempo de atuação do fusível com $I_n = 50A$ – circuito 1	96
Figura 80: Tempo de atuação do fusível com $I_n = 25A$ – circuito 1	97
Figura 81: Esquema unifilar do circuito 2	98
Figura 82: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 2	99
Figura 83: Cálculo da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 2	100
Figura 84: Esquema unifilar do circuito 3	101
Figura 85: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 3	102
Figura 86: Ligações de terra a efetuar-se numa coluna de IP (apenas função de iluminação)	105
Figura 87: Ligações de terra a efetuar-se numa coluna Iluminação Multisserviços	106
Figura 88: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às colunas de Iluminação Multisserviços nº2, 3, 4, 6, 10, 11 e 13	107
Figura 89: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às colunas de Iluminação Multisserviços nº7 e 9	107
Figura 90: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às colunas de Iluminação Multisserviços nº 1 e 12	108
Figura 91: Esquema unifilar do quadro elétrico referente á coluna de Iluminação Multisserviços nº 5	108
Figura 92: Esquema unifilar do quadro elétrico referente á coluna de Iluminação Multisserviços nº 8	109

Figura 93: Circuitos de comando e potência da rede de IP alocados no QGBT R630 CIP

113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de cabos a utilizar na rede aérea de IP [4]	14
Tabela 2: Tipos de cabos a utilizar na rede subterrânea de IP [4]	16
Tabela 3: Características das lâmpadas vapor de sódio de baixa pressão [20]	28
Tabela 4: Características das lâmpadas vapor de sódio alta pressão [23]	29
Tabela 5: Características das lâmpadas vapor de mercúrio de alta pressão [20]	30
Tabela 6: Características das lâmpadas de iodetos metálicos [20]	31
Tabela 7: Características da lâmpada <i>LED</i> [20]	33
Tabela 8: Comparação dos diferentes tipos de Small Cells [39]	48
Tabela 9: Relação entre a altura da coluna e luminária a ser utilizada [22]	60
Tabela 10: Dimensões cápsula de proteção em função da altura da coluna	61
Tabela 11: Altura de cada orifício <i>IoT</i> ao solo em função da altura da coluna	63
Tabela 12: Especificações ecrã interativo	68
Tabela 13: Características Carregador de VE	69
Tabela 14: Posições de cada dispositivo de proteção no quadro elétrico	74
Tabela 15: Tipos de colunas e luminárias existentes no local	77
Tabela 16: Tabela para a determinação da classe CE [12]	79
Tabela 17: Requisitos fotométricos para a classe C4 (zona de conflito) [12]	80
Tabela 18: Resultados luminotécnicos obtidos	82

Tabela 19: Quedas de tensão máximas admissíveis	85
Tabela 20: Constituição de cada circuito	90
Tabela 21: Características dos PTs	90
Tabela 22: Canalizações existentes na rede de IP da zona em estudo	91
Tabela 23: Valores obtidos da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 1	95
Tabela 24: Valores de queda de tensão obtidos na canalização principal (secção 16mm ²) 102	
Tabela 25: Valores de queda de tensão obtidos na canalização derivada (secção 2.5mm ²) 102	
Tabela 26: Síntese dos impactos regulamentares e operacionais de introdução de colunas de Iluminação Multisserviços numa rede de IP	115

ACRÓNIMOS

AC	–	Alternating Current
AP	–	Access Point
ANACOM	–	Autoridade Nacional de Comunicações
BT	–	Baixa Tensão
CA	–	Cabine alta
CB	–	Cabine baixa
COP25	–	25th Conference of the Parties
CCTV	–	Closed Circuit Television
CEME	–	Comercializador de Eletricidade para a Mobilidade Elétrica
V2V	–	Vehicle-to-Vehicle
V2I		Vehicle-to-Infrastructure
V2N	–	Vehicle-to-Network
C-V2X		Cellular vehicle-to-everything
DC	–	Direct Current
DSL	–	Digital Subscriber Line
DPC	–	Detentor de Ponto de Carregamento
DGEG	–	Direção-Geral da Energia e Geologia
EDP	–	Energias de Portugal

ERSE	– Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
RTIEBT	– Regras Técnicas das Instalações Elétricas em Baixa Tensão
FTTH	– Fiber-to-the-Home
FTTB	– Fiber-to-the-Building
GPON	– Gigabit Passive Optical Network
GSM	– Global System for Mobile
HoG	– Histogram of oriented Gradients
IP	– Iluminação Pública
IT	– Information Technologies
IVA	– Intelligent Video Analytics
IRC	– Índice de Restituição de Cor
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	– Internet of Things
LED	– Light Emitting Diode
LTE	– Long Term Evolution
MIMO	– Multiple Input, Multiple Output
MT	– Media tensão
OPC	– Operador de Ponto de Carregamento
OT	– Operational Technologies
PIPs	– Pontos de Iluminação Pública

PDOs	– Pontos de Distribuição Ótico
PT	– Posto de Transformação
QGBT	– Quadro Geral de Baixa Tensão
QoS	– Quality of Service
RDBT	– Rede de Distribuição de Baixa Tensão
RF	– Radiofrequência
RFID	– Radio frequency identification
RQS	– Regulamento da Qualidade de Serviço
RRU	– Remote Radio Unit
RSRDEEBT	– Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão
SDGs	– Sustainable Development Goals
SEE	– Sistema Elétrico Nacional
SMS	– Short Message Service
VE	– Veículo Elétrico
WLAN	– Wireless local area network
5GAA	– 5G Automotive Association
3GPP	– 3rd Generation Partnership Project

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as cidades têm evoluído a um ritmo muito acelerado. Esta evolução é resultado das diferentes alterações sociais, económicas e ambientais a que temos assistido, e que obrigam os diferentes *stakeholders* envolvidos no ecossistema das cidades a repensar a forma como as mesmas estão atualmente estruturadas. As cidades dos dias de hoje, estão a ser cada vez mais obrigadas a serem geridas e operadas de uma forma inteligente, eficiente e eficaz.

Esta obrigação advém de um conjunto de fatores de pressão a que as mesmas estão obrigadas a responder o quanto antes, nomeadamente:

- Eficiência energética – necessidade da redução de custos de energia;
- Evolução tecnológica – aparecimento do 5G e das redes *Internet Of Things* (IoT);
- Sustentabilidade ambiental – redução de emissões CO_2 e de poluição (COP25, SDGs);
- Segurança – aumento da criminalidade e da violência;
- Mobilidade – aumento e diversificação do modo como circulamos.

A evolução tecnológica e económica, está a trazer para as cidades novos modelos de negócio e novos serviços (como por exemplo: 5G, IoT, Mobilidade Elétrica, ...) que irão obrigar a que estas estejam devidamente preparadas para as integrar de forma sustentável e eficiente. A implementação destes novos serviços irá obrigar, para cada um deles, à definição prévia de um conjunto de novos processos e procedimentos, como por exemplo: certificações; concessões; acesso ao subsolo; ligações às redes de energia e de comunicações e obras de instalação na via pública. Tudo isto gera um adicional de esforço processual, operacional sobre as cidades. E um constante desconforto junto dos munícipes.

As cidades são responsáveis por criar as condições para que estas diferentes exigências (sociais, económicas e tecnológicas) sejam respondidas. Assegurando assim, desenvolvimento desses novos negócios e serviços junto dos cidadãos, e que irão refletir-se na melhoria da qualidade de vida nas cidades. Tal como espelhados nos objetivos definidos pelas Nações Unidas (*sustainable development goals*).

Convém ainda frisar que as cidades, atualmente, e na maior parte das vezes, não retiram qualquer vantagem financeira com a maioria dos serviços, em comparação com o retorno financeiro e comercial que os diferentes operadores desses mesmos serviços obtêm.

A presente dissertação pretende mostrar que a rede de Iluminação Pública (IP) pode ser a infraestrutura base para a modernização e desenvolvimento das *Smart Cities*. Neste seguimento é proposto uma coluna de Iluminação Multisserviços (IM), expondo as suas funcionalidades e integração de diversos serviços. Posteriormente, é efetuado um caso de estudo, em que aborda a integração de colunas de IM numa rede de IP existente e, consequentemente, identificado os impactos regulamentares e operacionais que dificultam a implementação deste tipo de infraestrutura.

1.1. A EMPRESA

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da minha atividade profissional, na empresa Smartlamppost. Esta empresa foi criada em junho de 2019 e é uma *joint venture* entre três dos mais importantes *players* da Europa, no que diz respeito a estruturas metálicas (Metalgalva), telecomunicações (Proef) e *Smart Cities* (Ubiwhere). Esta junção permite uma fusão de habilidades, capacidades e presença de mercado que dota a Smartlamppost com as ferramentas certas para se tornar uma referência em soluções inteligentes ao nível de rua.

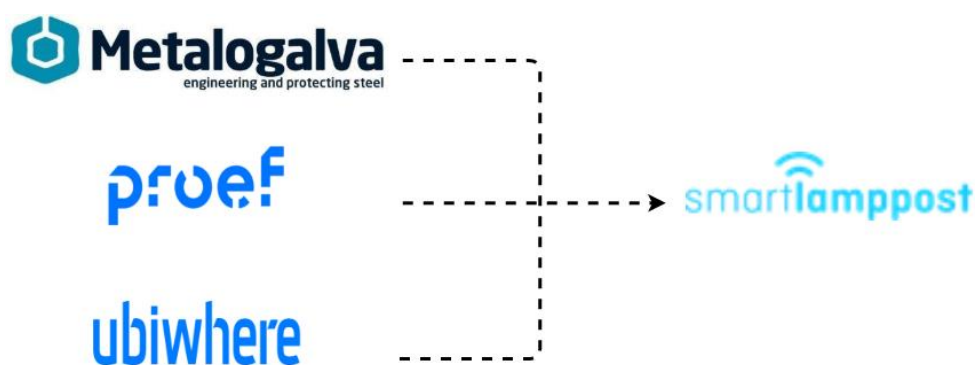


Figura 1: *Shareholders* Smartlamppost

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação é mostrar que Iluminação Pública pode ser a infraestrutura ideal e candidata para modernização e desenvolvimento das *Smart Cities*, Por forma a realizar o presente trabalho foram definidos os seguintes objetivos:

- Analisar o estado de arte da Iluminação Pública (IP);
- Analisar o estado da arte referente a possíveis incrementos tecnológicos para colunas de Iluminação Multisserviços (IM);
- Propor uma coluna de Iluminação Multisserviços;
- Apresentar um caso de estudo, envolvendo a integração de colunas de IM numa rede de IP existente;
- Identificar os impactos regulamentares e operacionais que dificultam a implementação deste tipo de infraestrutura na rede de IP.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente documento escrito está organizado em seis capítulos, cujos temas abordados são os seguintes:

O Capítulo 1 é o capítulo introdutório da dissertação e de contextualização dos principais aspetos que motivaram a realização do trabalho e dos objetivos pretendidos com a elaboração do trabalho.

O Capítulo 2 contextualiza o que é a Iluminação Pública, fazendo uma breve abordagem do panorama a nível mundial e internacional. Também neste capítulo é efetuada uma análise á constituição da infraestrutura de IP em Portugal, destacando os seus principais elementos e intervenientes.

O Capítulo 3 faz um enquadramento teórico dos serviços passíveis de integração numa coluna de Iluminação Multisserviços, com destaque para os modos de carregamento elétrico e as redes de telecomunicações móveis.

O Capítulo 4 é apresentado uma proposta de coluna de Iluminação Multisserviços (IM), onde expõe as funcionalidades e integração de vários equipamentos na coluna.

O Capítulo 5 expõe um caso de estudo, onde numa primeira fase é efetuado o estudo luminotécnico do local, de forma a perceber se com a substituição de colunas os índices luminotécnicos são cumpridos. Posteriormente, o estudo eletrotécnico aborda a integração de colunas de Iluminação Multisserviços numa rede de Iluminação Pública existente. Por fim, são identificados os impactos regulamentares e operacionais necessários efetuar-se para mitigar a implementação deste tipo de infraestrutura.

O Capítulo 6 apresenta a síntese das principais conclusões inferidas com a realização deste trabalho e introduz as perspetivas de trabalho futuro.

2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A circulação noturna de peões e veículos é garantida, com um máximo de segurança, conforto e rapidez, através de uma Iluminação Pública (IP) adequada. Assim, os peões devem ter sempre uma boa visibilidade da estrada, dos passeios, dos veículos e dos obstáculos, enquanto para os condutores é essencial a perceção, em tempo útil, de todos os detalhes necessários, nomeadamente o traçado da via, os sinais de trânsito ou possíveis obstáculos. Desta forma, a IP é considerada a iluminação instalada em arruamentos, jardins públicos ou outros espaços públicos com a função de fornecer os níveis mínimos de iluminação, luminância e uniformidade necessários à circulação e segurança de pessoas e bens [1].

O conceito de IP surgiu em Londres, em 1417, com a implementação de uma lei que obrigava a população a colocar lanternas no exterior da sua casa, ao cair da noite, durante a época de inverno. Medidas semelhantes foram aplicadas noutros centros populacionais mundiais, como foi o caso de Paris. Anos mais tarde, *William Murdoch*, levava a cabo uma apresentação pública de um protótipo de IP constituídas por lâmpadas alimentadas a gás, que viria a ser implementado em Londres, 5 anos mais tarde, em 1807 [2]. Pouco tempo depois, apareceu uma instalação de IP alimentada por corrente elétrica, que, ao contrário da instalação anterior, requeria menor manutenção. Desde esses tempos, a Iluminação Pública (IP) tem vindo a reinventar-se, mais a nível de design e consumo energético, já que em termos conceptuais não houve evoluções significativas em termos de Iluminação Pública nos últimos 100 anos, para além da introdução das luminárias *LED*, o que faz com que a infraestrutura associada à IP fosse um elemento passivo e negligenciado ao longo do tempo.

A perceção de obstáculos e a procura da diminuição da criminalidade são os pontos impulsionadores para os constantes melhoramentos deste sistema, pretendendo aumentar a segurança das vias públicas. A segurança noturna alavanca um notável crescimento da

atividade social, que por sua vez, alavanca o crescimento económico de negócios nestes horários.

2.1. O PANORAMA A NÍVEL MUNDIAL

O crescimento global das zonas urbanas está correlacionado com a qualidade da iluminação. A Figura 1 ilustra uma série de fotografias compiladas numa única imagem, tiradas por um satélite norte-americano durante 22 dias, entre abril e outubro de 2012, que possibilita ver regiões vastamente iluminadas, com a Europa em contraste com regiões mais escuras, como África. É possível observar uma concentração luminária maior nos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento, no entanto, é ainda notável a diferença entre as zonas urbanas e rurais. Em todo o mundo são dezenas de milhões os Pontos de Iluminação Pública (PIPs) que noite após noite iluminam os locais mais desenvolvidos do planeta.

Em regiões subdesenvolvidas, como o interior rural de África, a instalação de 1 coluna de IP tem impactos brutais na realidade local. Só o facto de a atividade deixar de estar diretamente relacionada com o dia solar, faz com que no espaço de um ano surjam mercados, aglomerados populacionais, e no espaço de poucos anos vilas de grandes dimensões.

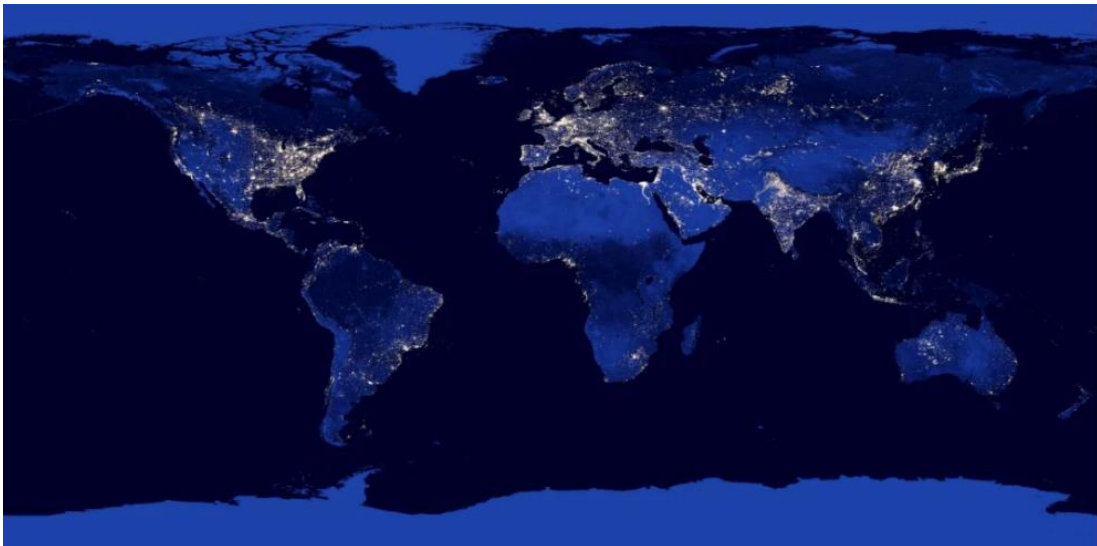


Figura 2: Panorama da iluminação a nível mundial [3]

2.2. O PANORAMA A NÍVEL NACIONAL

A Figura 3 apresenta a iluminação da Península Ibérica mais pormenorizada, onde é possível verificar que em Portugal Continental a iluminação mais intensa constata-se na costa litoral desde o Minho até ao Algarve, dada a elevada habitação populacional residente nestas áreas, excetuando-se a costa litoral alentejana.



Figura 3: Panorama da iluminação a nível ibérico [3]

Em Portugal a rede de IP contém mais de 3 milhões de PIPs disseminados geograficamente pelos dezoito distritos, representando cerca de 3% do consumo total de energia elétrica no país, aproximadamente 1,2TWh [1].

Um aspeto importante a ter em consideração na rede de IP é que é detida pelos municípios (não havendo um standard nacional), estando a sua exploração entregue a terceiros, num modelo de concessão, onde a E-REDES assume o papel do maior concessionário nacional. Um outro detalhe a ter em conta, é que a energia para a rede de IP é subsidiada, ou seja, tem uma tarifa especial, pois, considera-se que a Iluminação Pública (IP) é um serviço universal.

2.3. CONSTITUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE IP

O sistema elétrico é composto por um conjunto de infraestruturas que se destinam a transportar a energia elétrica, desde a produção até aos consumidores finais. Para que essa condução seja mais eficiente são ajustados os níveis de tensão, o que permite que as

perdas sejam minimizadas e por outro lado, seja maximizada a capacidade de transporte de energia. O circuito do fluxo do sistema elétrico de energia está esquematizado na Figura 4.

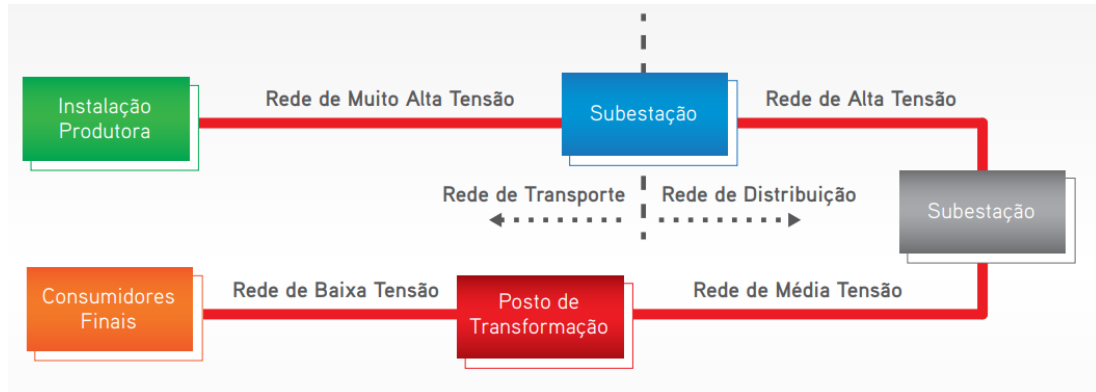


Figura 4: Fluxo energético no sistema elétrico nacional [4]

Dado que a rede de Iluminação Pública (IP) está inserida na Rede de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT), serão abordados nas secções seguintes os elementos que constituem a rede de IP, permitindo o seu funcionamento.

2.3.1. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

O elemento que marca o início da RDBT é o Posto de Transformação (PT). Este é definido como uma instalação de Alta Tensão (AT) destinada à transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos, quando a corrente secundária de todos os transformadores for utilizada diretamente nos recetores, podendo incluir condensadores para compensação do fator de potência [5].

O PT é constituído essencialmente por três componentes:

- Aparelhagem de seccionamento, comando e proteção;
- Um ou mais transformadores;
- Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT).

Os equipamentos de interrupção/seccionamento, comando e proteção referem-se a equipamentos que estão colocados antes do primário do transformador e que se destinam à proteção da instalação do lado da média tensão, possibilitando ações de manobra e de

manutenção da rede. São equipamentos essenciais à transferência de cargas em média tensão, e que proporcionam a operações de manutenção que exigem a colocação do PT fora de serviço, podendo ser operados à distância (no caso de possuírem telecomando) ou manualmente junto ao PT. Estão restritos à utilização por pessoal especializado.



Figura 5: Exemplo de um interruptor seccionador exterior [6].

O mesmo PT pode possuir um ou mais transformadores, estando interligados ou apresentando alguns de reserva. O transformador, como o próprio nome indica, destina-se a transformar a energia recebida, possibilitando a regulação da tensão na saída, de forma a manter a qualidade do serviço exigido no Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS). Essa função confere-lhe uma importância fulcral, já que é ele que permite, através dos princípios de transformação eletromagnética, variar as grandezas de tensão e corrente de forma a manter a potência aproximadamente constante. Assim sendo, é neste equipamento que se consegue variar a tensão sem comprometer em muito a potência transportada, e desse modo aumentar a eficiência do Sistema Elétrico Nacional (SEE), pois são equipamentos utilizados não só no abaixamento de tensão, mas também na elevação da mesma, sendo a base de todos os PTs e subestações.



Figura 6: Exemplos de transformadores

Após a saída do secundário do transformador e destinado a transmitir energia elétrica pelas diversas saídas do PT, a alojar equipamentos de proteção dessas saídas e suportar os circuitos de comando da IP, está o QGBT. Este equipamento normalizado não é mais que o quadro de saída da RDBT e de acordo com a tipologia do PT pode ter uma ou várias saídas para RDBT e em geral apresenta duas saídas para a Iluminação Pública (IP). Cada um desses circuitos encontra-se protegido neste mesmo quadro, recorrendo a fusíveis de facas dimensionados para proteger as canalizações principais.

A Figura 7 apresenta um esquema unifilar de um QGBT R630 – CIP.

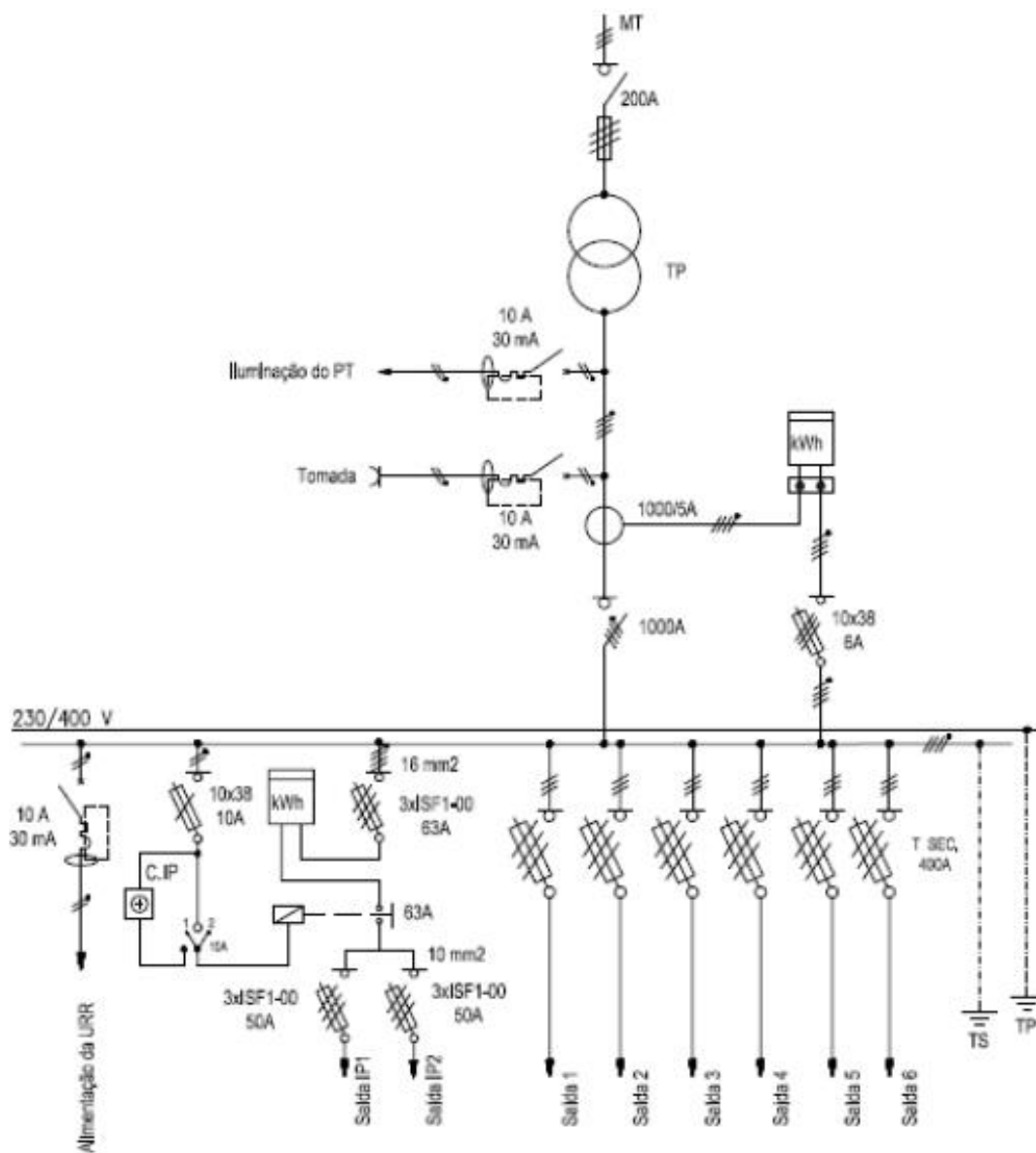


Figura 7: Esquema Unifilar de um QGBT R630 – CIP com 2 saídas para IP e 6 saídas para a RDBT [7].

A conjunção dos equipamentos referidos dá origem ao Posto de Transformação (PT), sendo que este possui várias tipologias, de acordo com a disposição desses equipamentos e o seu formato. Desta forma, encontram-se padronizados diversos tipos de PT, agrupados em três grupos [4]:

PT Aéreo (A) [8]:

- Tipo A: Transformador aéreo ligado diretamente à rede Média Tensão (MT), de potência nominal até 100 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo AS: Transformador aéreo ligada a seccionador a montante do primário, também de potência nominal até 100 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo AI-1 e AI-2: Transformador aéreo com interruptor-seccionador adequado à potência de curto-circuito da rede MT no local de instalação, de potência nominal até 250 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.

PT Cabine Alta (CA) [9]:

- Tipo CA1: PTs em cabina alta, concebidos para receber alimentação por linha aérea de potência até 250 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo CA2: PTs em cabina alta, com características construtivas semelhantes ao anterior, mas com maiores dimensões interiores, isto possibilita potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.

PT Cabine Baixa (CB) [9]:

- Tipo CBU: PT em cabina baixa com a disposição das celas em “U”, de potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 15 kV. Concebidas para receber alimentação subterrânea em anel, permite seis saídas em Baixa Tensão (BT) e duas saídas IP, todas subterrâneas.
- Tipo CBL: PT em cabina baixa com a disposição das celas em “L”, com características semelhantes ao anterior, variando as suas dimensões de acordo com a existência de uma saída radial. Também apresentam potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 15 kV.

2.3.2. TIPOS DE LIGAÇÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A ligação de uma rede de Iluminação Pública (IP) a construir poderá ser feita a partir da rede de IP existente ou através de um Posto de Transformação de Distribuição (PTD). Existem 2 tipos de ligação de IP [4]:

2.3.2.1. REDE AÉREA

Atualmente, as redes aéreas são utilizadas apenas em zonas rurais e semiurbanas, usando cabos isolados com condutores de alumínio, denominados cabos torçados, apoiados em postes. As redes aéreas de IP são estabelecidas em apoios de betão ou nas fachadas dos edifícios. Os condutores existentes nas redes aéreas de baixa tensão (BT), normalizados pela E-REDES, são do tipo LXS, semelhantes aos da figura 8.



Figura 8: Constituição dos cabos em torçada [10]

As secções dos condutores variam consoante a carga associada ao circuito e a distância das cargas a alimentar, sendo as secções normalizadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de cabos a utilizar na rede aérea de IP [4]

Tipo de cabo e de condutor (nº de condutores x secção)
<i>LXS 2 × 16mm²</i>
<i>LXS 4 × 16mm²</i>

Este tipo de ligação tem a vantagem de ter custos de implementação mais baixos, mas apresenta a desvantagem de estar exposta a agentes externos (fenómenos climatéricos, queda de árvores, etc.), que põe em causa o bom funcionamento da rede.

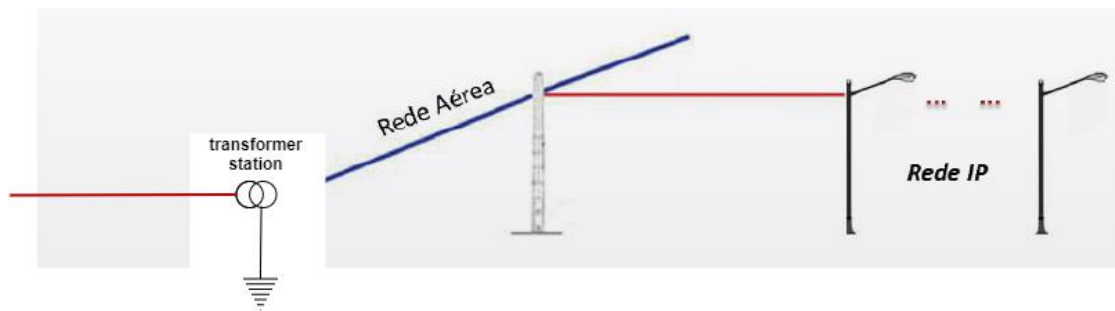


Figura 9: Ligação através de linha aérea da rede de IP [4]

2.3.2.2. REDE SUBTERRÂNEA

Atualmente, as redes subterrâneas são utilizadas em meios urbanos e semiurbanos, visto que são as redes esteticamente mais apreciadas, comparativamente às redes aéreas, uma vez que estão colocadas em valas e armários de distribuição, mas em contrapartida, têm a grande desvantagem de a sua instalação ser muito mais dispendiosa do que a instalação das redes aéreas. No entanto, devido a fatores estéticos, há um forte movimento de conversão da rede aérea em rede subterrânea.

A instalação das redes subterrâneas pode ser efetuada de duas formas: os condutores da rede podem ser instalados diretamente no solo das valas, ou podem ser instalados em tubos colocados nas valas.

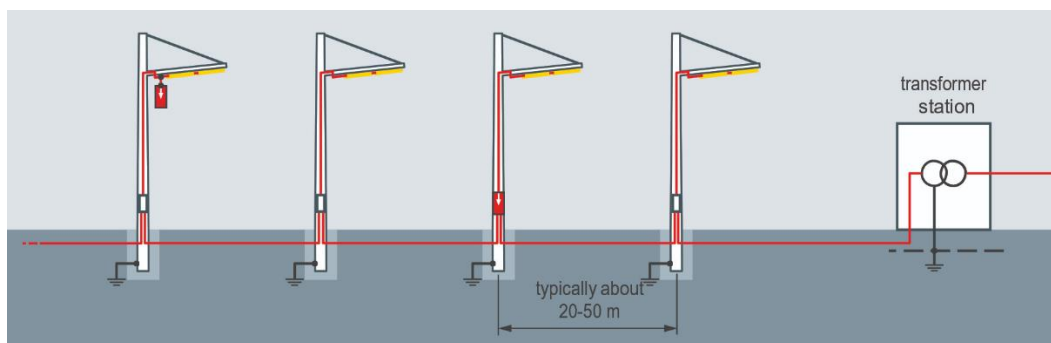


Figura 10: Ligação através de linha subterrânea da rede de IP [11]

Este tipo de redes tem a vantagem de não estar sujeitos a perturbações por parte de elementos exteriores que ponham em causa o bom funcionamento da rede, exceto quando existem danos provocados por escavações.

As secções dos condutores variam consoante a carga associada ao circuito e a distância das cargas a alimentar, sendo as secções normalizadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Tipos de cabos a utilizar na rede subterrânea de IP [4]

Tipo de cabo e de condutor (nº de condutores x secção)
<i>LSVAV 2 × 16mm²</i>
<i>LSVAV 4 × 16mm²</i>

2.3.3. TIPOS DE APOIOS

Os apoios ou suportes para as luminárias, podem ser de três tipos [12]:

- Postes ou colunas de iluminação;
- Cabos de suspensão;
- Braços em fachadas de edifícios.

2.3.3.1. POSTES OU COLUNAS DE ILUMINAÇÃO

Os postes ou colunas de Iluminação Pública (IP) são geralmente em aço, liga de alumínio ou em betão, como ilustra a Figura 11. É, certamente, o tipo de suporte de luminária mais utilizado nas redes de IP e deve ter as seguintes características [12]:

- Boa resistência aos esforços resultantes da ação do vento e aos choques mecânicos;
- Boa resistência à intempérie e à corrosão;
- Manutenção fácil e barata;
- Espaço suficiente para a colocação e para o acesso fácil da aparelhagem de proteção.



Figura 11: Possíveis configurações de colunas de iluminação [13]

Apesar do que foi referido, com o propósito de reduzir os custos das colunas, as mesmas são desenhadas para uma carga estrutural muito baixa. Isto não só limita a sua utilização para outros fins que não IP, mas a larga maioria é esteticamente pouco apelativa.

2.3.3.2. CABOS DE SUSPENSÃO

É utilizado apenas em certos casos especiais, como por exemplo em vias muito estreitas, uma vez que tem as seguintes desvantagens [12]:

- Inestético;
- Manutenção difícil;
- Expõe as armaduras a ação do vento, ocasionando movimentos indesejáveis.



Figura 12: Cabo em suspensão [12]

2.3.3.3. BRAÇOS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS

Tendo em consideração a idade de muitas das nossas cidades, o que se pode generalizar à Europa, muitas das suas ruas são estreitas, com passeios quase inexistentes, logo a instalação de colunas de IP é quase impossível, recorrendo-se à instalação de soluções de IP de fachada. Assim, convém analisar o compromisso técnico/estético, em locais onde existam condições para aplicar braços de iluminação nas fachadas, de modo a escolher a solução ideal. Os requisitos que se devem ter em conta na opção de instalação de braços em fachadas de edifícios são [12]:

- Ausência de árvores de grande porte;
- Presença ao longo das vias de edifícios suficientemente altos e de construção robusta;
- A largura de fachada a fachada a iluminar, não deve ultrapassar os 20 metros.



Figura 13: Luminária em fachada [12]

2.4. O PAPEL DA E-REDES NA REDE DE IP

A E-REDES é a empresa concessionária da distribuição de energia elétrica em BT nos 278 municípios de Portugal Continental, em regime de exclusividade. As redes de Iluminação Pública (IP) integram as concessões municipais de distribuição de energia elétrica, competindo à E-REDES, na qualidade de concessionária, o estabelecimento e conservação das redes de IP, as quais deve apresentar as características convenientes para a eletrificação e iluminação dos aglomerados populacionais a servir.

A E-REDES tem um papel fundamental, pois interfere em quase tudo: desde à disponibilização da energia, das luminárias aos seus suportes e acessórios, à certificação do material e dos fornecedores, á normalização, teste elétrico e mecânico, certificação da instalação e no processo de manutenção.

A E-REDES e os municípios podem acordar na transferência da responsabilidade pela conservação das instalações de IP. No que se refere à gestão da Iluminação Pública, esta é da inteira responsabilidade dos municípios, em particular no que respeita a níveis e horários de iluminação, ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço [12].

Tendo em consideração que muitos municípios não tem estrutura técnica para poder escolher ou validar soluções de IP (colunas, luminárias aplicáveis, cablagem, ...), ou mesmo garantir o cumprimento do quadro regulatório em vigor, a E-REDES acaba por assumir o papel de entidade acreditadora de soluções, e de definição de padrões e *standards*.

2.5. LEGISLAÇÃO, REGULAMENTAÇÃO E NORMAS

Aquando da realização de um projeto há regras a cumprir, e como tal, um projeto de Iluminação Pública não é exceção. Desta forma, é necessário e incontornável o cumprimento da legislação, regulamentação e normas aplicáveis em vigor. Para o efeito, é necessário cumprir:

Portaria n.º 454/2001

Em Portugal, dando cumprimento ao previsto no n.º 1 do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 344-B/82 e à respetiva Portaria n.º 148/84 (de 15 de março) a rede de IP, na sua generalidade, é sustentada pela atual Portaria n.º 454/2001 (de 5 de maio), que estipula o modelo de contrato tipo pelo qual a Câmara Municipal, outorgando em representação do seu município, concede à EDP a distribuição de energia elétrica em BT na área do município afeto. Entre outras cláusulas define as condições de estabelecimento e conservação das redes, aparelhos e suportes de IP. Determina ainda os respetivos encargos atribuídos a cada uma das partes envolvidas [14].

Decreto-Lei n.º 344-B/82

O decreto-lei n.º 344-B de 1 de setembro de 1982 estabelece os princípios gerais da distribuição de energia elétrica em baixa tensão, bem como as condições a que devem obedecer os contratos de concessão a favor da EDP, quando a exploração seja feita nesse regime. Neste decreto-lei refere ainda os critérios da concessão da instalação de IP por parte dos municípios à E-REDES, bem como as condições referentes à manutenção da mesma instalação [15].

Norma Europeia EN 13201: *Road Lighting*

A norma europeia EN 13201 está dividida em quatro segmentos [16][17][18]:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados;
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos;
- EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas.

A **EN 13201-1** visa a escolha de iluminação dependendo da via. Para efetuar essa escolha, recorre-se a uma tabela onde se atribuirá uma classificação conforme os parâmetros da via em estudo. Aquando da atribuição da classificação, serão tomados em consideração os valores e parâmetros correspondentes às classes de iluminação. As classes de iluminação existentes são:

- Classes de iluminação M para tráfego monitorizado;
- Classes de iluminação C para áreas de conflito;
- Classes de iluminação P para áreas pedestres e áreas onde o tráfego se processe a velocidade reduzida.

Para a **classe M** são tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Velocidade - natureza da via: alta ou moderada;
- Geometria - separação de vias, tipos de entradas/saídas na via, áreas de conflito: separação das vias – sim ou não; densidade de saídas/entradas na via – alta ou moderada;
- Natureza do tráfego - fluxo de tráfego, ciclistas, peões, estacionamento: apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Influências ambientais - complexidade do campo visual, luminância envolvente, condições climatéricas;
- Orientação visual, controlo de tráfego: fraca, boa ou muito boa.

As áreas de conflito caracterizam-se pela interseção de vias de circulação em áreas frequentadas por peões e ciclistas, sendo exemplo dessas zonas: cruzamentos, rotundas, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc. Assim, para a **classe C** são tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Velocidade: alta, moderada ou baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, reduzido ou muito reduzido;
- Composição do tráfego: apenas motorizado, misto, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;

- Separação das vias: sim ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: pobre, bom, muito bom.

Por fim, para a **classe P**, os parâmetros a considerar são:

- Velocidade: baixa ou muito baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, baixo ou muito baixo;
- Composição do tráfego: peões, ciclistas e tráfego motorizado; peões e tráfego motorizado; apenas peões e ciclistas; apenas peões; apenas ciclistas.
- Estacionamento de veículos: presente ou ausente;
- Reconhecimento facial: necessário ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa.

A **EN 13201-2** define os parâmetros fotométricos recomendados consoante a classe de iluminação para a iluminação de vias, dependendo das necessidades visuais dos utilizadores, e considerando aspetos ambientais necessários da IP. A classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos com o objetivo de proporcionar todas as necessidades visuais obrigatórias aos utilizadores, tanto a visibilidade da via como a do ambiente envolvente. As classes existentes são:

- ME: circulação de veículos motorizados (velocidade média a alta);
- CE: mesmo propósito da classe ME, mas aplicável às áreas conflituosas, como ruas de comércio, intersecção de vias de alguma complexidade, rotundas e áreas de congestionamento de trânsito (filas).
- S e A: aplicáveis a percursos de peões, ciclovias, faixas de circulação de veículos de emergência, áreas de estacionamento, etc;
- ES: onde haja necessidade de identificar pessoas e objetos e onde haja risco de crime acrescido;

- EV: específicas para situações onde seja necessário visualizar superfícies verticais, tais como zonas de portagem, por exemplo.

A norma **EN13201-3** é onde estão definidas e descritas as convenções e procedimentos matemáticos que servem para a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados. Sendo assim, a EN13201-3 aborda os cálculos dos parâmetros fotométricos que tem a ver com a qualidade da iluminação da via em estudo, baseando-se na EN 13201-2.

Finalmente, a **EN 13202-4**, especifica o modo como se efetuam as medições fotométricas na Iluminação Pública (IP) e quais os procedimentos adotados que devem ser utilizados somente com o propósito de medição.

De âmbito técnico, a Iluminação Pública (IP) encontra-se sujeita às normas e regulamentos das redes de distribuição de energia elétrica em BT, nomeadamente:

- DMA'S - no âmbito deste trabalho ressaltam:
 - DMA-C71-590/N – Quadro elétrico de alimentação para IP;
 - DMA-C71-512/N – Colunas de aço para IP;
 - DMA-C71-111/N – Luminárias de IP: tecnologia LED;
- Regras Técnicas das Instalações Elétricas em Baixa Tensão – Portaria n.º 949-A/2006 (de 11 de setembro);
- Manual de Iluminação Pública;
- Guia técnico de terras (DRE-C11-040);
- Guia técnico de Iluminação Pública (DRE-C71-001/N);
- Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT)

Suportados pela legislação citada, baseiam-se os documentos normativos da E-REDES que identificam e qualificam as características funcionais, regras de montagem, execução

e ensaios dos materiais e equipamentos passíveis de utilização na rede abrangida pelo contrato de concessão.

Em suma, é passível de se afirmar que o quadro legislativo, normativo e recomendativo existente, no que diz respeito á Iluminação Pública (IP), é extenso e complexo. Contudo, encontram-se definidas todas as obrigações dos agentes que atuam neste campo para que se cumpram todas as exigências associadas (fase de projeto, construção e exploração) às infraestruturas de IP.

2.6. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

Um sistema de iluminação deve ser adequado à função que vai realizar, uma vez que é um fator essencial para o desempenho humano. Estes sistemas devem ser projetados tendo em conta alguns parâmetros que definem uma iluminação de qualidade e adequada à atividade a realizar. Como tal, o projetista deve avaliar quais as tecnologias que melhor se enquadram no cenário proposto, para assegurar uma iluminação adequada e de qualidade.

Desta forma, é definido nesta secção os conceitos das principais características luminotécnicas de uma lâmpada, entendidos como fundamentais à interpretação das características técnicas de cada solução.

Fluxo luminoso (Φ)

Expressa a quantidade total de luz (lúmen) emitida por segundo em todas as direções pela fonte de luz [18]. A Figura 14 mostra a maneira como uma lâmpada emite fluxo luminoso.

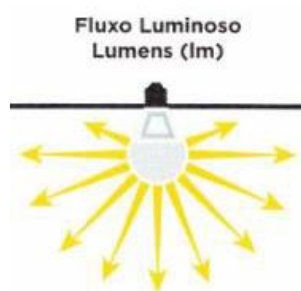


Figura 14: Fluxo luminoso [18]

Intensidade Luminosa (I)

É o fluxo luminoso radiado por uma fonte de luz numa direção específica. A unidade de intensidade luminosa é o candela (cd) [12].

Luminância (L)

A luminância de uma superfície é uma medida da intensidade da luz (I) proveniente dessa superfície por unidade de área (A) numa direção específica (θ), como mostra a Figura 15. Esta intensidade de luz pode ser dominada pela componente de luz refletida ou difundida pela superfície, mas também, pela que é emitida pela própria superfície se estivermos a tratar de corpos a elevadas temperaturas [18].

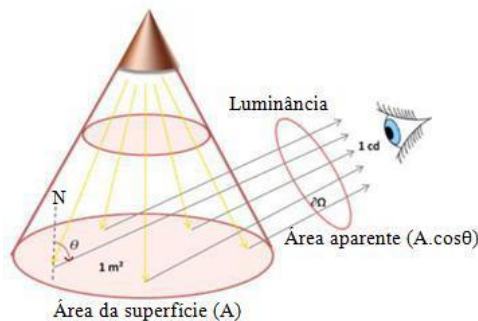


Figura 15: Esquema representativo da luminância [18]

Iluminância (E)

A iluminância é o quociente entre o fluxo luminoso (Φ) incidente num elemento da superfície e a área desse elemento. Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada e tem como unidade o *Lux* (lx) [12]. Na prática o fluxo luminoso não tem uma distribuição uniforme em toda a superfície, logo a iluminância não tem os mesmos valores para todos os pontos da superfície.

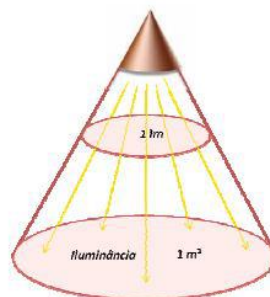


Figura 16: Iluminância sobre uma superfície [18]

Rendimento Luminoso

Rendimento luminoso ou eficiência luminosa é o quociente entre o fluxo luminoso absorvido pela lâmpada e a potência elétrica absorvida pela lâmpada. A unidade de medida é o lúmen por *Watt* (lm/W) [18].

Temperatura de cor

A temperatura de cor é uma característica da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal. Ou seja, é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor da fonte luminosa. Do ponto de vista técnico, a tonalidade da luz que irradia uma fonte de luz conhece-se pela sua temperatura de cor, sendo que nas fontes luminosas pode variar entre 2.000K até mais de 10.000K [12].



Figura 17: Temperatura de cor [19]

Índice de Restituição de Cor (IRC)

É a capacidade de reprodução cromática do objeto iluminado por uma fonte de luz, sendo por isso um valor indicativo da capacidade da fonte de luz para reproduzir cores, em comparação com a reprodução obtida pela luz solar, tomada como referência. Este índice varia entre 0 e 100 para, respetivamente, nenhuma e máxima capacidade reprodução de cor. Quanto maior o IRC melhor é o equilíbrio entre as cores [19].

Duração de vida média

A duração de vida média de uma lâmpada é o número de horas após o qual 50% de um lote significativo de lâmpadas deixa de emitir fluxo luminoso [20]. Este valor é indicado pelo fabricante e é um valor aproximado que pode ser afetado por diversos fatores, tais como o número de vezes que se liga e desliga, a tensão de funcionamento, a temperatura ambiente e a presença de vibrações.

2.7. LUMINÁRIAS

Designa-se por luminária (Figura 18) todo o aparelho capaz de direcionar, filtrar e controlar o fluxo luminoso emitido por uma ou mais lâmpadas e que inclua todos os equipamentos e acessórios necessários para os fixar, proteger e alimentar. As funções primordiais de uma luminária de IP são [21]:

- Garantir a distribuição do fluxo luminoso desejado com o melhor rendimento possível (evitando sempre o efeito de encandeamento que esta possa causar aos utilizadores);
- Assegurar as condições técnicas para o bom funcionamento dos elementos elétricos (garantindo a segurança dos próprios componentes e dos utilizadores) e a proteção das lâmpadas, dos equipamentos auxiliares e do sistema ótico perante as condições climatéricas.



Figura 18: Luminária *LED* de última geração [22].

Desde o surgimento das lâmpadas incandescentes várias tecnologias foram desenvolvidas para os sistemas de iluminação. Desta forma, foram aparecendo novos tipos de lâmpadas mais eficientes, mas também com outras características luminotécnicas.

As lâmpadas podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

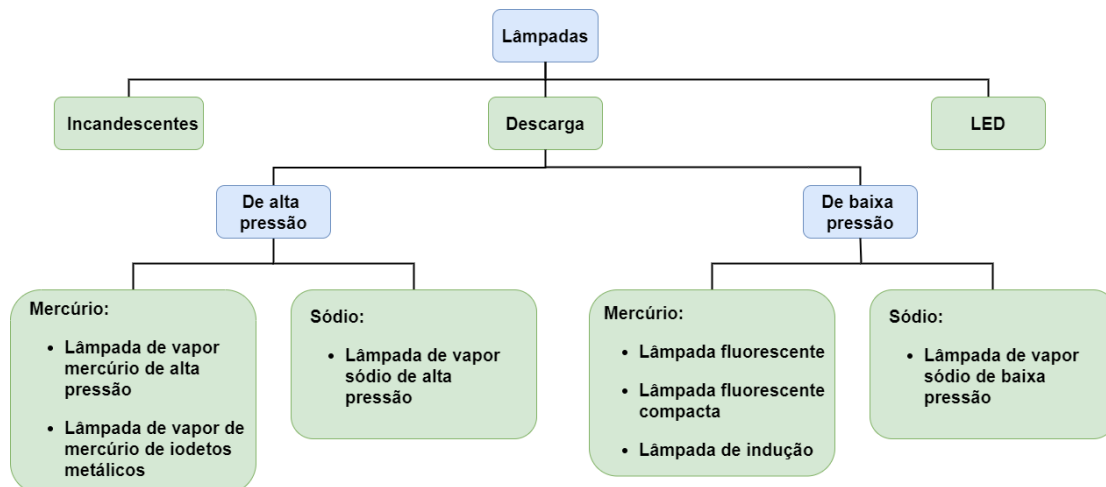


Figura 19: Tipos de lâmpadas

As fontes luminosas com maior expressão na Iluminação Pública em Portugal são as lâmpadas de descarga, destacando-se [12]:

- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de mercúrio de alta pressão;
- Lâmpadas de iodetos metálicos.

No entanto, este paradigma tem-se vindo a modificar nos últimos anos, isto devido ao surgimento e desenvolvimento da tecnologia *LED*, que veio revolucionar o tipo de luminárias. Gradualmente, esta tecnologia tem vindo a substituir as lâmpadas de descarga na rede de Iluminação Pública (IP). Na subsecção seguinte, são abordados os diferentes tipos de luminárias presentes na rede de IP.

2.7.1. TIPOS DE FONTES LUMINOSAS

Vapor de sódio de baixa pressão (LPS)

Entre as lâmpadas de vapor de sódio instaladas nas instalações de IP, as de baixa pressão representam uma pequena minoria. As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão, (Figura 20) têm como princípio de funcionamento a descarga num tubo de vidro especial em forma de U, contendo uma atmosfera composta de néon e argon, além do sódio, onde se forma o arco elétrico [19].



Figura 20: Lâmpada vapor de sódio de baixa pressão [23]

Este tipo de lâmpadas possuem a capacidade de manter um fluxo luminoso constante ao longo da sua vida útil, aumentando ligeiramente o consumo à medida que se aproxima do fim de vida. Têm um rendimento luminoso muito elevado, no entanto, devido a apresentarem um espectro monocromático na faixa do amarelo, têm um índice de restituição de cor muito baixo, próximo de zero.

Tabela 3: Características das lâmpadas vapor de sódio de baixa pressão [20]

Vapor de sódio de baixa pressão	
Rendimento Luminoso	De 98 lm/W a 200 lm/W
Temperatura de Cor	De 1800K a 2000K
Índice de restituição de Cromática	≈ 0
Duração média de vida	De 12000h a 18.000horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 10 minutos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador/ balastro eletrónico
Luminância	$6cd/m^2$

Vapor de sódio de alta pressão (HPS)

Na lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (Figura 21) uma pequena quantidade de sódio misturada com mercúrio é colocada numa cápsula de vidro que contém xénon no seu interior. Aquando do processo de aquecimento da lâmpada, o sódio e o mercúrio vaporizam-se gradualmente, fazendo com que a lâmpada emita uma luz ténue [19].



Figura 21: Lâmpada de HPS do tipo ovoide e tubular [19]

À medida que a pressão aumenta, a intensidade de luz também sobe, até chegar ao ponto em que a primeira estabiliza e o fluxo luminoso mantém-se. Quanto maior for a potência da lâmpada, maior será a temperatura no seu interior e quanto maior for a temperatura, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada [23].

Tabela 4: Características das lâmpadas vapor de sódio alta pressão [23]

Vapor de sódio de alta pressão	
Rendimento Luminoso	De 80 lm/W a 150 lm/W
Temperatura de Cor	De 2000°K a 3200°K
Índice de restituição de Cromática	De 25 a 80
Duração média de vida	De 12000h a 16000h
Tempo de arranque	Aproximadamente 5 minutos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador/ balastro eletrónico
Luminância	De 25 cd/m ² a 500 cd/m ²

Vapor de mercúrio de alta pressão (HPM)

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão (Figura 22) tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois elétrodos, que se encontram no interior de um tubo no qual existe uma mistura de mercúrio, sob alta pressão, e árgon. Durante o processo de aquecimento, o mercúrio vaporiza-se progressivamente, sendo expelida uma luz de fraca intensidade [19].



Figura 22: Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [19]

Com o propósito de se produzir radiação vermelha no interior do invólucro (para transformar parte da radiação UV emitida em luz visível) este tipo de lâmpada possui uma camada de pó fluorescente. Este método permite uma melhoria expressiva no aspeto da luz emitida, contudo, não se exprime numa melhoria significativa do IRC nem do rendimento luminoso [21].

Tabela 5: Características das lâmpadas vapor de mercúrio de alta pressão [20]

Vapor de mercúrio de alta pressão	
Rendimento Luminoso	De 36 lm/W a 60 lm/W
Temperatura de Cor	3000°K a 4200°K
Índice de restituição de cromática	De 40 a 55
Duração média de vida	De 10000h a 12.000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Equipamento auxiliar	Balastro e condensador/ balastro eletrônico
Luminância	De 4cd/m ² a 15cd/m ²

Iodetos Metálicos

A lâmpada de iodetos metálicos (Figura 23) possui, na sua essência, a mesma constituição que as lâmpadas de HPM, diferindo na mistura de substâncias incluídas no tubo de descarga. Neste tipo de lâmpadas são acrescentados ao mercúrio elementos com emissores moleculares ou com emissores iônicos, alcançando-se uma emissão de luz que abrange ou não, respetivamente, todo o espectro de radiação [23].



Figura 23: Lâmpada de iodetos metálicos [22]

Comparadas com as lâmpadas de Sódio de alta pressão, oferecem as mesmas vantagens, mas têm características diferentes. Têm uma maior gama de potências e uma cor mais branca e fria. São usadas quando se necessita de uma boa eficiência e restituição de cores. Contudo a cor é afetada pela idade, têm menor vida útil e rendimento [23].

Tabela 6: Características das lâmpadas de iodetos metálicos [20]

Iodetos metálicos	
Rendimento Luminoso	De 65 lm/W a 120 lm/W
Temperatura de Cor	De 3000°K a 6000°K
Índice de restituição de Cromática	De 81 a 95
Duração média de vida	De 3000h a 9000horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador/ balastro eletrônico
Luminância	6 cd/m ²

Light Emitting Diode (LED)

A tecnologia *LED* revolucionou a forma de como utilizamos a luz. Hoje, considera-se a tecnologia mais económica e sustentável que existe no mercado, tendo revolucionado a forma como se utiliza a luz, permitindo fontes de iluminação totalmente controláveis e ajustáveis, podendo ser integradas em redes inteligentes e comunicativas.

O *LED* (Figura 24) é um díodo semiconductor que, quando polarizado, faz com que os eletrões se recombinem no seu interior, libertando energia na forma de fotões. A luz é emitida numa banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas dos eletrões [20].



Figura 24: Tipo de *LED* aplicado em luminárias [19]

Apesar de serem largamente utilizados em dispositivos eletrónicos, só nos últimos anos é que conseguiram ser uma alternativa à iluminação convencional utilizada na IP, fruto das evoluções significativas de que têm sido alvo, nomeadamente, na potência e no IRC.

Comparada com outras fontes luminosas, a tecnologia *LED* apresenta um consumo elétrico menor, conferindo-lhe um elevado nível de eficiência energética. Caracteriza-se por ter um arranque imediato, pelo que atingem o brilho normal rapidamente, fornecem uma luminosidade de excelente qualidade, elevado IRC e flexibilidade na temperatura de cor. Além da elevada robustez, proporcionando resistência a impactos e vibrações, apresentam uma durabilidade superior e não atraem tantos insetos quando comparados com as lâmpadas convencionais. O seu tamanho é reduzido sem apresentar partes móveis, filamentos, gases, chumbo ou mercúrio [19].



Figura 25: Via pública iluminada por tecnologia *LED* [20]

A utilização de tecnologia *LED* oferece inúmeras vantagens. O custo das lâmpadas de *LED* é atualmente um pouco mais alto do que o das lâmpadas convencionais, mas a economia de energia e a durabilidade proporcionada justificam facilmente esse investimento. O *LED* não sofre diferenças na sua vida útil de acordo com a frequência de quantas vezes se liga ou desliga, ou seja, não possuem um número determinado de acendimentos na sua vida, ao contrário das lâmpadas de descarga. Ao mesmo tempo, o tempo de acendimento completo do *LED* é instantâneo, ao contrário das lâmpadas convencionais que demoram em média entre um a dois minutos [20].

A grande limitação deste tipo de tecnologia é a temperatura de funcionamento, ou seja, o calor que é gerado quando estão ligadas é bastante elevado. Este facto obriga os fabricantes a ter especial atenção aos dissipadores que associam às luminárias, os quais por vezes impõem um peso extremamente elevado ao conjunto quando comparado com

as luminárias tradicionalmente aplicadas. Outro problema é o pequeno ângulo de abertura do feixe de luz, sendo necessário o uso de refletores [19].

Tabela 7: Características da lâmpada *LED* [20]

<i>LED</i>	
Rendimento Luminoso	De 35 lm/W a 70 lm/W
Temperatura de Cor	De 2700°K a 9000°K
Índice de restituição de Cromática	Superior a 70
Duração média de vida	50.000 horas
Tempo de arranque	Instantâneo
Equipamento auxiliar	Driver e transformador em alguns casos

2.7.2. CONSTITUIÇÃO

Uma luminária de Iluminação Pública (IP) é um conjunto ótico, elétrico e mecânico constituído pelo sistema ótico, corpo ou carcaça, e pelo suporte para equipamento.

O sistema ótico de uma luminária convencional controla e distribui o fluxo luminoso da fonte de luz e pode incluir os seguintes componentes [12]:

- **Refletores:** Dirigem a luz para o ângulo sólido desejado, possibilitando a orientação do fluxo luminoso na direção pretendida, localizando a maior percentagem possível da luz emitida na zona a iluminar.
- **Difusores:** São dispositivos caracterizados pela sua elevada transmitância. Para além de proporcionar a estanqueidade do sistema ótico, têm como função modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa (direta + refletida), melhorando o conforto visual.
- **Refratores:** Utilizam o princípio da refração dos corpos transparentes servindo também para direcionar o fluxo luminoso. São normalmente em vidro ou então em material plástico. Deverão ter resistência suficiente contra choques mecânicos e térmicos que ocorram.

O corpo da armadura ou carcaça pode ser simples ou formado por vários elementos dissociáveis. As suas formas, dimensões e disposições construtivas devem ter em atenção o tipo e a potência das lâmpadas, a estética e as condições de funcionamento, de modo que se consiga [12]:

- Substituir facilmente a fonte de luz;
- Proteger convenientemente as fontes luminosas e outros equipamentos elétricos auxiliares;
- Assegurar uma boa resistência à corrosão, aos choques mecânicos e às vibrações.

O formato da carcaça varia bastante, de fornecedor para fornecedor, consoante o propósito funcional/estético da luminária. Adicionalmente, o material de construção é igualmente diversificado obtendo diferentes pesos, dimensões e resistência mecânica.

O suporte das lâmpadas deve assegurar, em diferentes condições de utilização, a posição correta da fonte luminosa e possuir um contacto elétrico eficiente, particularmente quando as luminárias são sujeitas a vibrações.

2.7.3. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

A utilização de lâmpadas de descarga ou tecnologia *LED* não podem ser ligadas diretamente á rede.

As lâmpadas de descarga possuem impedância negativa, ou seja, tendem a absorver mais corrente do que aquela que é necessária ao seu bom funcionamento. Sem um equipamento em série com esta impedância negativa, a lâmpada autodestruir-se-ia rapidamente.

Já a tecnologia *LED* também necessita de interfaces com a rede elétrica, nomeadamente os *drivers*. Neste sentido, é então necessário existir um conjunto de componentes a instalar na luminária, que permitam maximizar as potencialidades funcionais de cada fonte luminosa e ainda prolongar a sua vida útil, tais como os descritos no subcapítulo seguinte.

2.7.3.1. DISPOSITIVOS PARA LÂMPADAS DE DESCARGA

Balastros

São equipamentos, do tipo eletromagnético ou eletrônico, essenciais ao funcionamento das lâmpadas de descarga. Têm a função de limitar a corrente de funcionamento, produzir a tensão de arranque e pré-aquecer os elétrodos de modo a facilitar a emissão de elétrons para iniciar a descarga [12]. A inadequada utilização, relativamente à potência e ao tipo de lâmpada para a qual se encontra dimensionado, diminui drasticamente o tempo de vida útil da lâmpada.



Figura 26: Exemplo de um balastro eletromagnético (esquerda) e de um balastro eletrônico (direita) [19]

Ignitor ou Arrancador

É um dispositivo que visa promover o arranque das lâmpadas de descarga, gerando impulsos de tensão de valor superior à que é utilizada pela fonte luminosa em regime permanente. Estes impulsos de tensão de valor elevado (de 1 a 5kV) proporcionam a rutura do arco do gás de ignição. [19].



Figura 27: Exemplo de um Ignitor/Arrancador [24]

Condensador

Os circuitos de alimentação de lâmpadas de descarga, quando se aplica o conjunto balastro eletromagnético e arrancador, tendem a ter um fator potência fortemente indutivo. Perante esta evidência, preconiza-se a aplicação de condensadores para se efetuar a correção do fator potência e, conseqüentemente, reduzir as perdas na rede. A escolha da capacidade a aplicar deve ser adequada à potência da lâmpada utilizada [12].



Figura 28: Condensador de arranque [19]

2.7.3.2. DISPOSITIVOS PARA TECNOLOGIA LED

Driver

É um dispositivo eletrônico que tem como função base a conversão da energia elétrica da rede, em tensão contínua, de forma a alimentar todos os componentes eletrônicos da luminária de LED e controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LED [12].



Figura 29: Driver LED [25]

Existem dois tipos de *drivers* de LED [12]:

- **Corrente constante:** alimentam LEDs que necessitam de uma corrente de saída fixa e de uma gama de tensões de saída,

- **Tensão constante:** alimentam *LEDs* que necessitam de uma tensão de saída fixa com uma corrente de saída máxima.

Em termos de durabilidade, qualquer *driver* de *LED* atual para IP deve ter o objetivo de ter um tempo de vida de pelo menos 50 000 a 65 000 horas, de modo a corresponder com o tempo de vida atual do *LED*. Adicionalmente, alguns *drivers* permitem efetuar regulação de fluxo luminoso, controlar as comunicações e até implementar capacidades de inteligência artificial [19].

Dissipador

É um elemento fundamental para garantir a qualidade e a durabilidade dos *LEDs* pois, ao contrário das lâmpadas convencionais, o *LED* não irradia calor no seu feixe de luz, gerando-o em grande quantidade na parte de trás. Nesse sentido, projeta-se o tamanho e a configuração do corpo da luminária para que esta possa servir de dissipador, sendo, normalmente, o alumínio o material utilizado para o efeito [19]. A Figura 30 mostra um *LED* típico de aplicação nas luminárias incorporado sobre um dissipador em forma de estrela.



Figura 30: Dissipador tipo estrela para LED [19]

2.8. SISTEMAS DE CONTROLO E GESTÃO DE ENERGIA

Antigamente os lampiões e candeeiros eram acessos e apagados manualmente por alguém responsável por essa função e, quando se achava que era estritamente necessário, pois a Iluminação Pública (IP) era muito dispendiosa. Hoje em dia isso seria completamente impraticável, dada a quantidade de Pontos de Iluminação Pública (PIPs) existentes.

O início da distribuição de energia elétrica proporcionou que a iluminação fosse feita de uma forma mais simples. Desde então, não surgiu qualquer grande alteração no modo de funcionamento nos sistemas de iluminação, houve sim desenvolvimentos tecnológicos que proporcionaram formas de iluminação mais eficazes.

Os sistemas de controlo regulam o funcionamento dos sistemas de iluminação em função de um sinal externo, através de dispositivos específicos. São sistemas automáticos que permitem otimizar a utilização das instalações de IP, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local e/ou atividade.

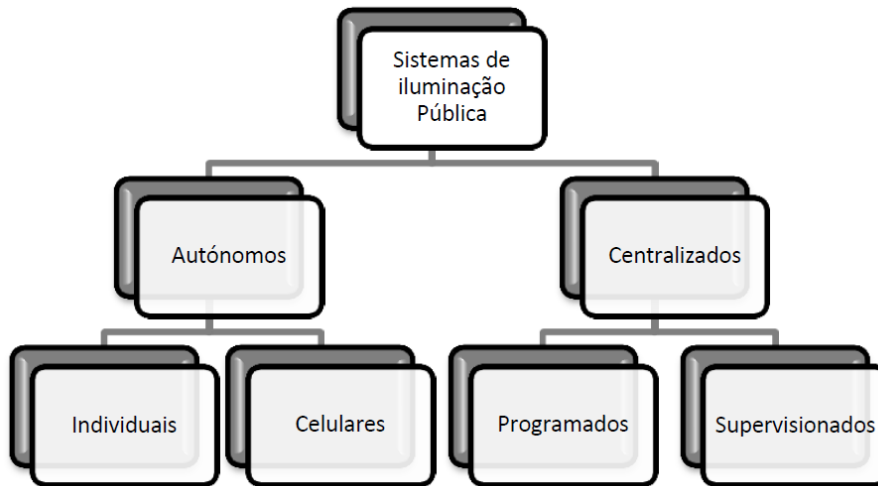


Figura 31: Topologias dos sistemas de controlo de IP.

Existem duas possibilidades genéricas de controlo a considerar [12]:

Controlo autónomo:

- **Sistema Autónomo Individual com Controlo Passivo de Energia:** Cada luminária contém um sensor de luminosidade ambiente (fotocélula) e/ou relógio astronómico que origina o ligar e desligar da mesma.
- **Sistema Autónomo Celular com Controlo Ativo de Energia:** Cada luminária está equipada com uma unidade de controlo totalmente independente da rede de luminárias e gere todos os recursos localmente, permitindo a gestão de energia. Existe ainda a possibilidade de comunicação entre as luminárias vizinhas.

Controlo centralizado:

- **Sistema Centralizado Programado:** Um grupo de luminárias é controlado por uma mesma unidade programada;
- **Sistema Centralizado com Supervisão:** As luminárias são controladas, em grupo, por uma unidade central que gere todo o funcionamento do mesmo, com possibilidade de gestão remota de monitorização;

- **Gestão Remota em sistemas com Supervisão ou Programados:** O controlo pode ser gerido de forma remota, em que o processo de controlo pode ser reconfigurado e obter informação em tempo real do estado das luminárias.

2.8.1. CÉLULAS FOTOELÉTRICAS

Estes dispositivos têm como função medir a intensidade de luz de um ambiente e acionar ou não um relé de acordo com essa intensidade, ou seja, reagem às alterações da luminosidade do ambiente que as rodeia. Assim, a iluminação é ligada ou desligada em função da informação recolhida por estas células, facilitando a gestão eficiente do sistema de Iluminação Pública [19].



Figura 32: Fotocélula

2.8.2. RELÓGIOS ASTRONÓMICOS

O relógio astronómico é um programador eletrónico-digital, que através de um comando *ON/OFF* permite controlar automaticamente as ligações e os cortes da iluminação pública, tendo em conta, o pôr e o nascer do sol. Desta forma, o relógio astronómico vai funcionar, em termos de horário, conforme a variação do ciclo solar [12].



Figura 33: Exemplo de relógio astronómico [26]

2.8.3 SISTEMAS DE TELEGESTÃO

Os sistemas de telegestão são dispositivos utilizados para a gestão, controlo e monitorização das redes de Iluminação Pública. São sistemas de telecomunicações destinados à gestão remota e individual, que facilitam uma variação precisa e seletiva da intensidade da luz.

Um sistema de telegestão possibilita alavancar a utilização racional de energia, melhorando o balanço entre a segurança e o conforto, permitindo [12]:

- Uma rede de IP mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento, (p.e. tráfego pedestre, viário e condições climatéricas);
- Adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente;
- Detetar impactos ou derrubes dos postes de iluminação;
- Controlar o tempo de vida dos pontos de luz e localizar eventuais falhas.

O sistema de telegestão é constituído pelos seguintes componentes [12]:

- **Controlador de luminária:** aparelho que faz o controlo do balastro/driver programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico;
- **Controlador de segmento:** canal de comunicação das luminárias,
- **Sistema de gestão central:** controla os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento).

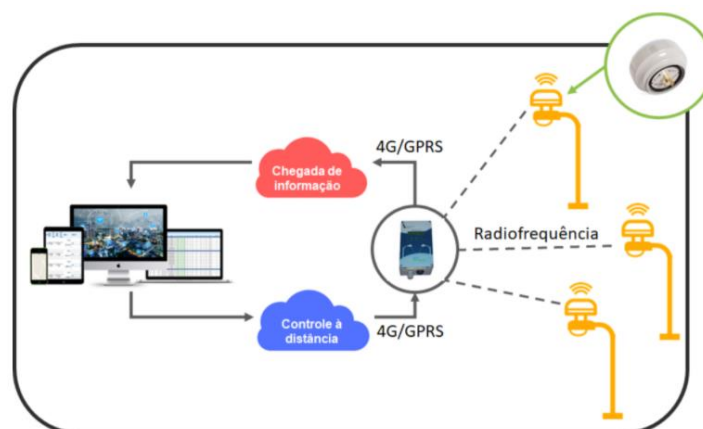


Figura 34: Sistema de Telegestão [27]

3. INCREMENTOS TECNOLÓGICOS PARA COLUNAS DE ILUMINAÇÃO

Como já foi referido anteriormente, as colunas de Iluminação Pública (IP) existentes na via pública, têm apenas a função de fornecer os níveis mínimos de iluminação, luminância e uniformidade necessários à circulação e segurança de pessoas e bens.

Analisando uma coluna de IP, constata-se que esta, no seu interior, apenas é constituída pelo equipamento de proteção da luminária (quadro elétrico), ou seja, existe muito espaço no seu interior suscetível de explorar. Espaço este, que pode ser acomodado com equipamentos que permitem dotar uma cidade moderna, inteligente e de nova geração, nomeadamente:

- Carregamento de Veículos Elétricos (VE);
- Redes de telecomunicações (4G/5G, *Access Points*, Fibra ótica);
- IoT (CCTV, sensores de recolhas de dados: humidade, vento, qualidade de ar,...);
- Iluminação inteligente (sistemas de controlo e gestão de energia).

Tendo em consideração estes equipamentos tecnológicos, este capítulo tem como propósito efetuar o enquadramento teórico associado a cada serviço a incorporar numa coluna de Iluminação Multisserviços (IM).

3.1. CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

De acordo com os tipos de carregadores, os níveis de potência e as características técnicas das infraestruturas de carregamento, os carregadores de VE podem ser subcategorizados em 4 modos de carregamento [28]:

Modo de carga 1

Ligação do Veículo Elétrico (VE) à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de tomadas normalizadas (tipo SCHUKO) de corrente estipulada não superior a 16A e de tensão estipulada não superior a 250V, em circuitos monofásicos, ou a 480V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção.

Modo de carga 2

Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de tomadas normalizadas de corrente estipulada não superior a 32 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção com uma função piloto, e com um sistema de proteção das pessoas contra os choques elétricos por meio de um dispositivo diferencial localizado entre o VE e a ficha ou na caixa de controlo integrada no cabo.

Modo de carga 3

Neste modo o veículo é carregado por meio de um equipamento dedicado de maior potência, que realiza funções estendidas de controle e proteção. É estabelecido comunicação entre o veículo e o carregador. O carregamento pode ser realizado em corrente alternada trifásica até 63 A / 480 V ou em corrente alternada monofásica até 70 A / 250 V. A potência máxima é de 44 kW.

Modo de carga 4

Este modo compreende o carregamento de alta potência em corrente contínua e aplicam-se requisitos de segurança mais elevados. É utilizado equipamento dedicado e cabo fixo para o carregamento, sendo a ligação somente no lado do veículo. O carregador possui

um transformador AC/DC e a secção dos condutores possuem um dimensionamento superior, permitindo maior transferência de energia para o veículo.

3.2. REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

A digitalização da rede telefónica teve o seu início no final da década de 60, mas os princípios e a tecnologia para o aparelho telefónico digital só estiveram disponíveis na década de 70, devido ao seu elevado custo. A sua difusão começou somente na década de 90 [29]. Com a rápida popularização da telefonia, passou haver necessidade de se interligar as diversas centrais de comutação posicionadas em áreas geograficamente distintas, de forma hierárquica para facilitar a sua gestão e o seu crescimento.

Com o passar dos anos, as centrais de comutação e os aparelhos telefónicos evoluíram, e a dependência física de um aparelho telefónico ficar ligado ao cabo de rede da operadora deixava de ser crucial, surgindo desta forma, o novo conceito das redes de telecomunicações, designado por redes móveis.

Para que as redes de telecomunicações sejam exequíveis, é necessário sistemas de transmissão, que permitam o envio de sinais por cabo (meios radioelétricos e meios óticos) ou por meios eletromagnéticos (redes de satélites, redes terrestres fixas e móveis) [30].

3.2.1. REDES MÓVEIS

As redes celulares têm vindo a evoluir ao longo dos anos, começando na primeira geração (1G) até, mais recentemente, a quinta geração (5G). Cada nova geração que surge, traduz-se num aumento da largura de banda (internet e dados móveis) o que implica o aumento da frequência.

Redes móveis de primeira geração - 1G

A primeira geração de redes móveis (1G) surgiu no início dos anos 80 [31] como um sistema totalmente analógico baseado em acesso múltiplo por divisão de frequência e permitiam a transferência de dados (voz apenas) através de ondas cuja forma variava de forma contínua. Desta forma, tinha toda a sua comunicação centralizada, e como consequência, apresentava uma baixa capacidade de tráfego e sinais suscetíveis a interferências, tratando-se de um sistema pouco eficiente na utilização das frequências.

Os sistemas celulares de primeira geração não suportavam qualquer tipo de encriptação da informação (problemas de segurança), a qualidade de som era fraca e a velocidade de transferência rondava os 2.4 Kbps [32]. Com a demanda de novos utilizadores, rapidamente este sistema foi esgotado e substituído pelos sistemas de segunda geração (2G).

Redes móveis de segunda geração - 2G

Os sistemas de segunda geração (2G) apareceram por volta de 1990 na Finlândia, no sentido de colmatar as limitações dos sistemas móveis de comunicação de primeira geração (1G). O aparecimento desta geração proporcionou algumas melhorias: melhor qualidade, maior capacidade de utilização na faixa de frequência, redes móveis sem fio (Global System for Mobile - GSM) incluindo serviços de conferência e sistema de email e mensagens - Short Message Service (SMS), com uma taxa máxima de dados de 64 kbps [31].

Apesar destas redes móveis serem mais seguras comparativamente às redes 1G, estas não conseguiram lidar com dados mais complexos, como é o caso de vídeos. De realçar que existiu ainda uma situação intermédia entre a rede 2G e 3G, a 2.5G, que suportava até 200kbps de dados [32].

Redes móveis de terceira geração - 3G

A terceira geração surgiu nos finais de 2000 [32], no sentido de oferecer maior capacidade, novas frequências e ritmos de transmissão superiores para que o acesso à Internet fosse alcançado em alta velocidade. Com esta geração foi possível melhorar os serviços de suporte de voz que permitiram melhorar a qualidade do serviço (*Quality of Service – QoS*). Estas redes, utilizam taxas de dados que suportam até 2Mbps e possuem a uma frequência de operação na faixa de 2.1GHz [32].

Com o sistema de alta velocidade viabilizado, diversos outros serviços passaram a oferecer maior qualidade ao clientes, como envio de imagens e a videoconferência, unindo os principais paradigmas das redes de telecomunicações, nomeadamente a telefonia móvel e Internet.

Com o aparecimento da terceira geração, a *WLAN* e *Bluetooth* ganham popularidade e permitem a comunicação direta entre dispositivos. Essas técnicas funcionam em bandas

não licenciadas, assim como na banda industrial, científica e médica, não atendendo aos requisitos da qualidade de serviço (QoS) da rede de forma eficiente.

Redes móveis de quarta geração - 4G

A quarta geração das gerações móveis tem o seu surgimento no ano 2010 [32]. Com o desenvolvimento desta tecnologia, foi possível melhorar os sistemas 3G, dando-lhes mais velocidade, mais largura de banda e melhor cobertura de rede, no contexto de uma sociedade cada vez mais consumidora de conteúdo online.

Este tipo de rede móvel, funciona com a tecnologia LTE (Long Term Evolution) - que é uma tecnologia de transmissão de dados baseada na tecnologia *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) e GSM. Porém, já que atualmente a transmissão de dados é bem mais comum que a transmissão de voz, a tecnologia 4G dá prioridade a dados de internet, mas, claro, não descarta a ideia de que ainda podemos fazer ligações por voz [32].

Além de ser mais barata e com uma cobertura bem mais estruturada, a tecnologia LTE a 700MHz pode sustentar de 300 a 400 acessos simultâneos na rede de tráfego de dados, o que é praticamente o dobro da quantidade que as tecnologias 3G suportam [31].

Como era de esperar, é um tipo de conexão de maior qualidade que o 3G, pois pode chegar a uma velocidade de *Internet* de até 100 megabits por segundo e, estão associadas desde logo um conjunto de vantagens que equipará a experiência de utilização dos serviços móveis à das comunicações fixas em fibra: maior velocidade, maior largura de banda, melhor cobertura e maior qualidade de rede [32]. Através do 4G, os utilizadores terão a oportunidade de usufruir de maiores débitos de transferência de dados, assim como de uma maior eficiência e performance no acesso a serviços disponíveis na *Internet*.

Redes móveis de quinta geração - 5G

A quinta geração de redes móveis teve o seu surgimento nos finais do ano de 2018. As necessidades de conectividade do mundo têm vindo a modificar-se e o resultado disso, é que é esperado que o tráfego global de dados móveis multiplique por cinco antes do final de 2024 [33].

A 5G traz, na sua essência, uma maior disponibilidade de largura de banda (velocidade de transmissão) na conexão à *Internet* para os consumidores usufruírem, por exemplo, de melhor qualidade na recepção de vídeo. Sendo a largura de banda o requisito mais apreciado pelos utilizadores das redes de comunicação em geral, a 5G das comunicações móveis oferece outras funcionalidades que alargam o leque de aplicações a outros domínios. Entre eles destacam-se a *Internet of Things (IoT)*, a comunicação com e entre veículos e o seu controlo remoto, a automação industrial (comunicação de máquina para máquina) e a implementação de serviços remotos como a telemedicina [34].

Os parâmetros de desempenho mais relevantes proporcionados pela tecnologia da última geração de comunicações móveis são, elevada velocidade de *download* (de 1 Gbs - 1000 *megabits/segundo*), uma latência (atraso no tempo de resposta) de poucos milissegundos (<1mS) e uma elevada densidade de conexões, até um milhão de dispositivos por quilómetro quadrado [35].

Todas estas funcionalidades alargam o âmbito de aplicação das redes móveis de comunicação muito para além do objetivo atribuído às primeiras redes - as comunicações de voz - uma réplica das redes telefónicas fixas ou cabladas.

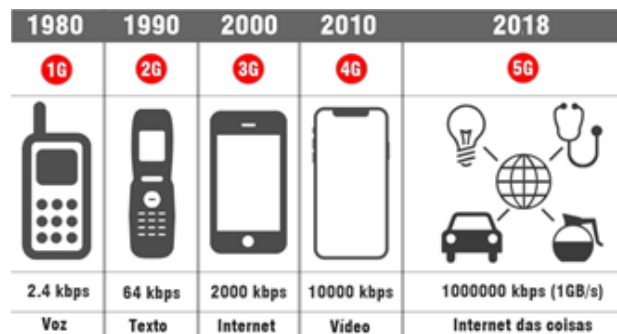


Figura 35: Evolução das redes móveis desde a 1G até ao 5G [36].

3.2.2.1. *SMALL CELLS*

Ao nível de rua, os equipamentos utilizados nas comunicações móveis são designados por *Small Cells*. Estes equipamentos são pontos de acesso sem fios de pequena dimensão, que emitem baixas potências e funcionam em frequências altas, traduzindo-se numa elevada capacidade de transmissão de dados. Dada a sua velocidade na transmissão de dados, a área geográfica abrangente é reduzida. Devido às suas características, as *Small Cells* têm como objetivo aumentar o escoamento de tráfego em zonas densamente

povoadas e, por outro lado, complementar a rede de estações de base no que se refere à cobertura das redes móveis [37].

Existem diferentes gamas de *Small Cells* para responder a necessidades distintas, estando divididas em três tipos [38]: *Femto*, *Pico* e *Micro*. As principais diferenças baseiam-se, essencialmente, na potência de emissão, capacidade de cobertura e no número de utilizadores individuais que pode suportar.

Femtocell

As *Femtocell* são pequenas estações rádio base desenvolvidas com a função de expandir a conectividade da rede dentro de uma área geográfica alvo de raio 10 metros, sendo que estão limitadas a 16 utilizadores. Normalmente são conectadas à rede de uma operadora móvel por meio de um serviço *DSL (Digital Subscriber Line)* de banda larga padrão ou serviço de cabo. As células *Femto* são tão pequenas que se assemelham a *modems Wi-Fi* [38].

Picocell

As *Picocell* cobrem uma área maior do que as *Femtocell*, até um raio de cerca de 200 metros. São frequentemente utilizadas para fornecer cobertura móvel local dentro de empresas, escritórios, hospitais, complexos comerciais, escolas e universidades ou como solução temporária para festivais ou confraternizações, podendo abranger até 64 utilizadores [38].

Microcell

Este tipo de células, caracterizadas por uma estação rádio base de baixa energia que cobre uma área limitada que pode atingir um raio de 500m, são usadas em áreas de alta densidade, como shoppings, hotéis ou espaços exclusivos em *Smart Cities*, permitindo aumentar a capacidade de transmissão de dados e alargar o número de utilizadores, conseguindo atingir 200 utilizadores em simultâneo [38].

A Tabela 8 sintetiza os 3 tipos de *Small Cell* em função da largura de banda, da potência de transmissão, do raio de cobertura, do número de utilizadores e da localização.

Tabela 8: Comparação dos diferentes tipos de Small Cells [39]

Tipo de Células	Largura de banda (MHz)	Potência de transmissão (Watts)	Raio de cobertura (km)	Nº de utilizadores	Localização
Femto	10	0.100	≤ 0.01	≤ 16	Interior
Pico	20	0.250	≤ 0.2	≤ 64	Interior/ Exterior
Micro	[20 a 40]	[2 a 10]	≤ 2	≤ 200	Exterior

Em suma, é possível afirmar que as *Small Cells* terão um papel crucial nas exigências das redes 5G (dada a sua proximidade com o utilizador) contribuindo com a sua capacidade, densidade e cobertura de sinal que conseguem impor na rede.

3.2.2.2. ANTENAS

Outro equipamento essencial nas redes móveis são as antenas. Estas são uma estrutura que fazem a transição da propagação guiada que ocorre numa linha de transmissão ou guia de ondas, para ondas que se propagam geralmente em espaço livre através do ar.

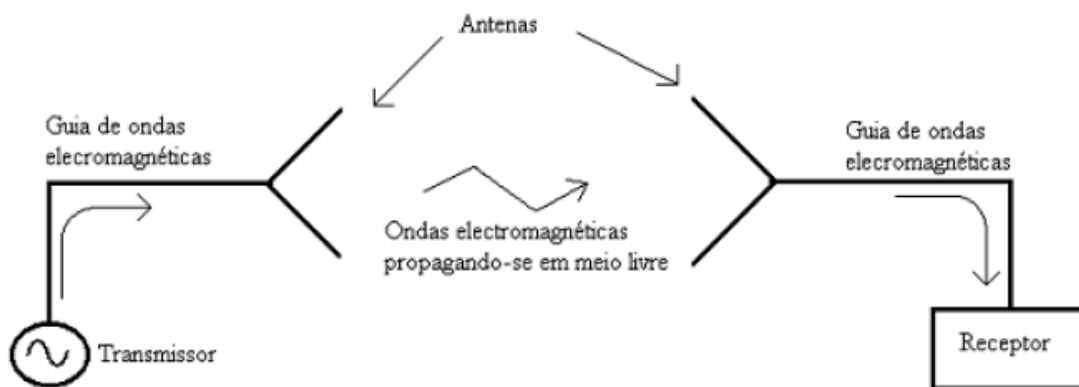


Figura 36: Esquema de um sistema de comunicações, usando ondas eletromagnéticas [40]

Nos sistemas de comunicações móveis, usam-se geralmente dois tipos de antenas: as antenas omnidirecionais, e as antenas direcionais ou diretivas. A grande diferença entre estes dois tipos de antena é a forma como distribuem a radiação no espaço [41].

Antenas Omnidirecionais

As antenas omnidirecionais proporcionam um diagrama de radiação na forma de um *donut*, em 360° . Esta antena é polarizada verticalmente e requer uma antena de receção com polarização semelhante.

A Figura 37 representa-se o nível de radiação emitido por uma antena omnidirecional. As zonas a sombreado concentram a radiação emitida. Pode-se observar que, no plano horizontal, a radiação é distribuída da mesma forma por todo o espaço.

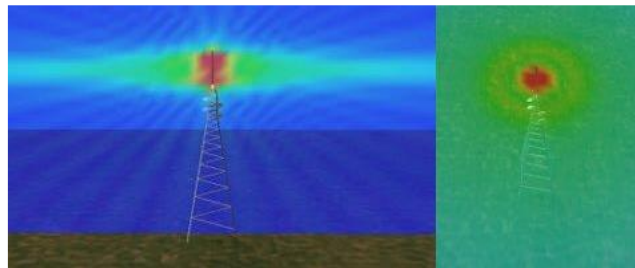


Figura 37: Representação da radiação emitida por uma antena omnidirecional [42]

Antenas Direcionais ou Diretivas

As antenas direcionais, tal como o nome indica, emitem o sinal numa direção específica. Quando se pretende diretividade elevada não se pode, geralmente, utilizar apenas uma antena linear. Consequentemente, para se obter ganhos elevados e diagramas de radiação mais diretivos, recorre-se a agregados de antenas, que são associações de antenas que estão dispostas no espaço e alimentadas de forma a satisfazerem os diagramas de radiação pretendidos. [43].

A Figura 38 representa a radiação proveniente de uma antena diretiva, sendo possível de observar que a radiação é essencialmente distribuída numa direção bem definida do espaço.

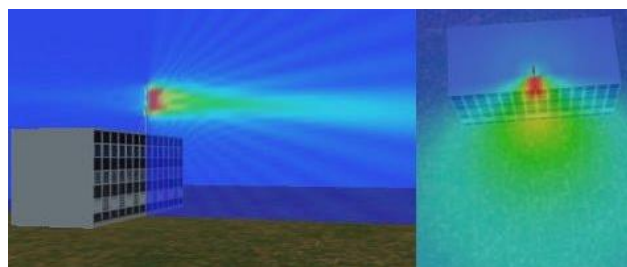


Figura 38: Representação da radiação emitida por uma antena diretiva [42]

3.2.2. *ACCESS POINT (WI-FI)*

Desde sempre as empresas de telecomunicações e os utilizadores em geral preocuparam-se com a necessidade da existência de redes que dispensassem a utilização de cabo, ou seja, que se propagassem através do ar e percorressem distâncias na ordem das centenas de metros. Esta necessidade levou a que a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), apresentasse um protocolo que estabelece normas para a criação e uso de redes sem fios. Desta forma, surgiu a norma IEEE 802.11, também conhecida por redes sem fio *Wi-Fi*, ou *Wireless*.

O *Wi-Fi* é um método de comunicação sem fios de baixa potência, que consiste na emissão de ondas rádio. A base de qualquer rede sem fios é um *Access Point* (AP) e a sua principal tarefa é transmitir um sinal para que os dispositivos possam detetar e estabelecer a comunicação entre os diversos nós da rede [44].

Atualmente existem cinco tipos de tecnologia *Wi-Fi*: *Wi-Fi-802.11a*, *Wi-Fi-802.11b*, *Wi-Fi-802.11g*, *Wi-Fi-802.11n* e *Wi-Fi-802.11ac*. Estas tecnologias diferem, principalmente, na sua frequência, podendo variar de 2.4GHz a 5GHz e no seu débito, podendo ir de 5Mbit/s a 1300Mbit/s [45]



Figura 39: Exemplo de um *Access Point* [46]

3.2.3. FIBRA ÓTICA

A fibra ótica é um meio de transmissão que utiliza um sinal luminoso para transportar a informação. Pode ser compreendida, por assim dizer, como uma guia de luz: a luz injetada numa das extremidades percorre a fibra ótica até sair pela outra extremidade. As fibras óticas consistem num núcleo que é rodeado por uma bainha com índices de refração diferentes de forma a garantir a propagação da luz [47].

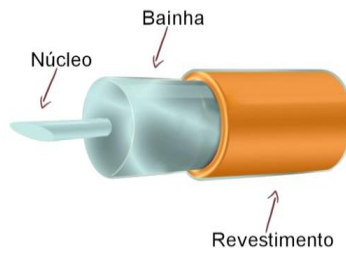


Figura 40: Composição da fibra óptica [48]

A transmissão da luz em fibras ópticas é baseada no fenômeno da reflexão interna total. O núcleo que é normalmente feito de vidro, em que a sílica (SiO_2) é dopada com dióxido de germânio (GeO_2), é o centro através do qual a luz viaja. Tanto o núcleo como a bainha são materiais dielétricos (isolantes elétricos) e transparentes, cuja escolha na combinação de materiais é ditada pelos índices de refração [48].

Antes da sua transmissão na fibra, os sinais elétricos são convertidos em sinais óticos através de um emissor, sofrendo no final da transmissão o processo inverso operado por um detetor. A Figura 41 apresenta um esquema simplificado do sistema de comunicação utilizando fibras óticas.



Figura 41: Esquema de transmissão genérico de sinais em fibra óptica [47]

As fibras óticas são classificadas pela forma de transmissão: monomodo e multimodo. A principal diferença entre ambas é a dimensão do núcleo e a forma de transmissão da luz no núcleo da fibra.

Fibras monomodo

As fibras monomodo, devido à dimensão reduzida do seu núcleo central, apenas permitem conduzir um raio de luz no seu interior, tendo somente um modo de propagação. Neste tipo de fibras, o núcleo apresenta diâmetros reduzidos, estando abaixo dos $10\ \mu\text{m}$, enquanto a bainha tem um diâmetro na ordem dos $125\ \mu\text{m}$ [49]. Estas dimensões

reduzidas do meio de transmissão fazem com que a onda de luz se propague praticamente em paralelo com o eixo da fibra. Na Figura 42 está representada a sua estrutura.

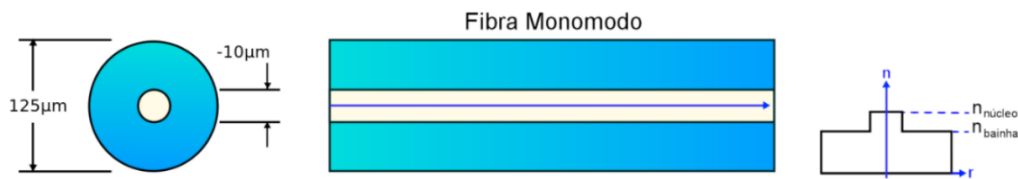


Figura 42: Fibra óptica monomodo [48]

Fibras multimodo

Por sua vez, as fibras multimodo ostentam dimensões do seu núcleo bastante superiores, tendo assim a capacidade de transmitir vários modos de propagação. Os vários feixes de luz com o mesmo comprimento de onda são conduzidos ao longo da fibra com diferentes trajetórias, podendo apresentar velocidades de transmissão diferentes. O núcleo apresenta usualmente diâmetros compreendidos entre os 50 e os 100 μm , sendo que a sua camada envolvente mantém o diâmetro das fibras monomodo, ou seja, com dimensões de 125 μm [49]. Uma ilustração das fibras multimodo é exibida na Figura 43.

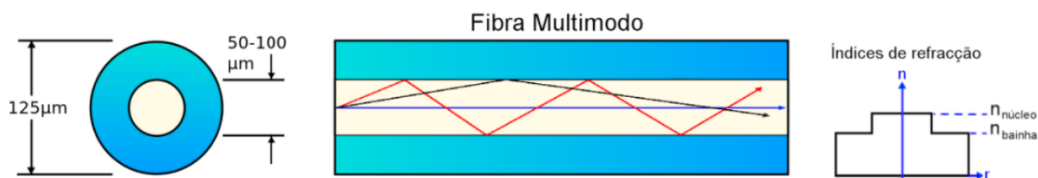


Figura 43: Fibra óptica multimodo [48]

Este modo de transportar a informação revolucionou a área das telecomunicações, apresentando inúmeras vantagens comparadas com os métodos de transmissão convencionais (pares simétricos e cabos coaxiais) [50]:

- **Baixa atenuação:** as perdas de transmissão introduzidas pelas fibras óticas são muito reduzidas quando comparadas, quer com os pares simétricos, quer com os cabos coaxiais.
- **Largura de banda elevada:** a fibra ótica tem capacidade para transmitir sinais de frequências muito mais elevadas, podendo chegar a cerca 25 000 GHz.

- **Dimensões e peso reduzidos:** Comparando um cabo coaxial com 18 pares coaxiais, com um cabo ótico com 18 fibras, o cabo ótico ocupa uma secção que é 1/10 da do cabo coaxial e o seu peso é cerca de 1/30.
- **Imunidade a interferências eletromagnéticas:** como o material base das fibras óticas é o vidro de sílica (SiO_2) e este não conduz eletricidade, a fibra ótica é imune às interferências eletromagnéticas induzidas por fontes exteriores (p.e: cabos de alta tensão, radiodifusão, descargas atmosféricas).
- **Custo reduzido:** o cobre é um recurso muito limitado, enquanto a matéria-prima usada no fabrico das fibras de vidro (sílica) é um dos materiais mais abundantes na natureza.

3.2.3.1. PONTO DE DISTRIBUIÇÃO ÓTICO

Os Pontos de Distribuição Óticos (PDOs) são infraestruturas destinadas a redes GPON (comunicação ótica na velocidade de 1 Gigabit) com topologia FTTH (Fiber-to-the-Home) e FTTB (Fiber-to-the-Building).

Os PDOs são utilizados na terminação ou na interconexão dos cabos de fibra ótica, permitindo a ligação entre a rede de distribuição e o cliente, podendo a sua instalação ser interior ou exterior [51].

Existem modelos para instalação em prateleira (*Rack* de 19'') ou para instalação em parede. Estão disponíveis em diversas versões conforme o número de fibras a distribuir e o tipo de conector escolhido. A Figura 44 ilustra um PDO do tipo prateleira e do tipo parede.



Figura 44: Distribuidor ótico de prateleira (á esquerda) e de parede (á direita).

3.3. *INTERNET OF THINGS (IoT)*

O termo *IoT* surgiu no ano de 1999, numa apresentação feita por *Kevin Ashton*, sobre a interação entre o existente *RFID* e a emergente *Internet*. Nesse ano, *Neil Gershenfeld* lançou o livro *When things Start to Think*, que, não usando o termo *IoT*, conseguiu demonstrar o caminho [52].

Desde então, a *IoT* evoluiu de forma exponencial, catapultada também pelo aparecimento de novas tecnologias *wireless*, microsserviços e pela natural melhoria do serviço de *Internet*. Esta convergência ajudou a diminuir a distância entre as tecnologias operacionais (*Operational Technologies* - OT) e as tecnologias de informação (*Information Technologies* - IT), permitindo, conseqüentemente, a recolha e análise de informação.

Dado que a conectividade está cada vez mais presente no quotidiano, estima-se que esta tecnologia até ao final do ano de 2021, interligue cerca de 46 biliões de dispositivos. Este crescimento representa uma oportunidade de negócio que se espera ultrapassar os três biliões de euros em 2025 [53].

A *IoT* pode ser aplicado a diversas áreas, entre as quais [54]:

- **Indústria aeronáutica** – Sensores a bordo das aeronaves emitem dados importantes sobre as suas condições, incluindo aspetos ligados aos passageiros e à sua saúde;
- **Indústria Automóvel** – A ligação entre smartphones e automóveis já está estabelecida atualmente e informações sobre o veículo podem ser consultadas através deste, desde Entre as várias fontes pode-se incluir: pressão de pneus, desempenho do motor, condições ambientais, etc. Esta tecnologia não só favorece o condutor como o fabricante e, em alguns casos, a própria seguradora que tem acesso a diferentes tipos de dados que podem vir a ser úteis;
- **Indústria de defesa e segurança** – o desenvolvimento de análise de dados, redes, sensores e tecnologias de processamento de imagem apresentam uma oportunidade de reforçar e garantir a capacidade de defesa, sendo que esta tecnologia está, já, aplicada em diversos países;

- **Indústria da Energia** – Projetos *Smart Cities* estão bastante presentes no dia a dia e, têm como objetivo melhorar a eficiência e usabilidade das redes melhorando processos do dia-a-dia;
- **Indústria da saúde** – A interação entre dispositivos médicos e aplicações permite, já, monitorizar estados de saúde em tempo real, evitando assim perdas de vida. Através de *wearables* os pacientes têm agora acesso aos seus dados biométricos podendo ser detetada em tempo real qualquer anomalia.

O objetivo da *IoT* é claro, permitir que objetos se liguem em qualquer momento, em qualquer lado, autonomamente ou não usando uma ligação qualquer à *Internet*, criando desta forma uma situação de *Internet of Things (IoT)*. Esta ligação consegue produzir dados que, sendo analisados, podem melhorar diversos aspetos nomeadamente produtividade e eficiência.



Figura 45: Aplicabilidade de IoT [55]

Porém, devido à sua vulnerabilidade a ataques, é necessário ter alguma atenção no que toca à segurança dos dispositivos. A ligação entre milhões de dispositivos envolve uma quantidade de informação significativa. Esta informação não pode ser acessível por utilizadores não autorizados e por isso deve haver alguma preocupação com a segurança e privacidade. Sendo uma tecnologia relativamente nova, a segurança dos produtos *IoT* ainda não está no nível que seria desejado.

3.4. TELEMETRIA

A palavra telemetria tem origem em dois vocábulos gregos *tele* e *métron*, que significam distância e medição, respetivamente. O objetivo da telemetria é a recolha de dados, num local distante ou de difícil acesso, possibilitando a sua posterior análise [56]. O uso de um sistema telemétrico torna-se importante para o funcionamento de sistemas que necessitam do envio e receção de dados permanentemente. A telemetria tem como vantagens [57]:

- Todos os dispositivos do sistema são agrupados, o que permite uma consulta mais rápida e fácil dos mesmos. Desta forma, é possível obter uma visão conjunta sobre o desempenho do sistema.
- Permite reduzir o número de operadores, com simultâneo aumento da eficiência do trabalho.
- Aumenta a utilidade e eficiência dos dispositivos, já que a consulta de dados, manutenção e inspeção dos mesmos são mais acessíveis e seguros.

Um sistema telemétrico é constituído, fundamentalmente, por quatro grupos: medição (sensor), processamento, comunicação (com ou sem fios) e alimentação (fonte de energia).

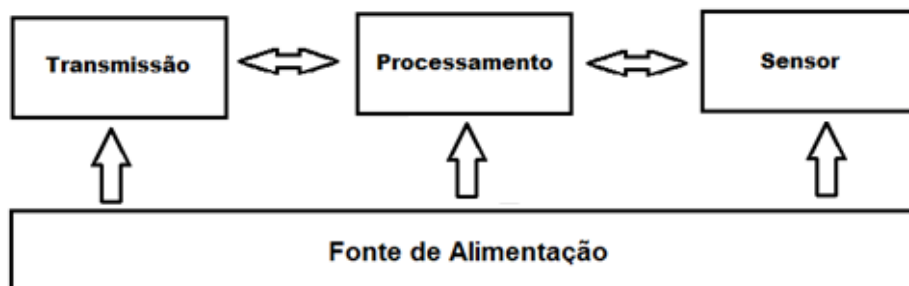


Figura 46: Estrutura de uma unidade de medição.

A Figura 46 representa, esquematicamente, a constituição de uma unidade de medição. Nesta, as medições são realizadas por sensores que, posteriormente, são processadas e transmitidas para a unidade de monitorização. A fonte de alimentação é responsável pela alimentação dos dispositivos que compõem a unidade de medição.

4. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo expor uma proposta de coluna de Iluminação Multisserviços e, por sua vez, mostrar que a Iluminação Pública (IP) pode ser a infraestrutura base para a modernização das cidades e resposta às novas exigências. Infraestrutura esta, que se pretende potenciadora do surgimento de *Smart Cities*, que elevarão a sociedade, e mais particularmente, os cidadãos das gerações futuras, a um novo patamar de qualidade de vida sustentável, mais eficiente e mais alinhado com as suas necessidades do dia a dia.

Desta forma, a rede de IP ficará assim habilitada a agregar diferentes serviços:

- Carregamento de veículos elétricos;
- Redes de telecomunicações (4G/5G, Access Points, PDOs);
- *IoT* (CCTV, sensores de recolhas de dados, displays);
- Ecrãs interativos e informativos;
- Iluminação inteligente.

Com a criação de um *standard* é possível enumerar várias vantagens, tais como:

- Permite a replicação de soluções, traduzindo-se na redução de custos de desenvolvimento e consequente natural normalização das mesmas;
- Possibilita a simplificação dos processos de atribuição de concessões, da operação e manutenção da infraestrutura local, levando a uma simplificação de todos os processos de gestão do desenvolvimento local.
- Permite reduzir significativamente o número de obras a realizar nos municípios, tendo assim um menor esforço de infraestruturação. Ou seja, terá um impacto direto, positivo, na qualidade de vida das pessoas, e uma redução de custos de infraestruturação das Cidades.

- Potencia a rentabilização do mobiliário urbano, ou seja, permite aos munícipes tirar proveito monetário das colunas de IP (por exemplo, com o aluguer do espaço a empresas de telecomunicações);
- Incentivo à partilha de infraestruturas (coluna, condutas, eletricidade, ...), direcionando as entidades para uma partilha de serviços como por exemplo, rede de energia ou a rede de comunicações (instalação dos PDO's das redes fibra para os clientes dos serviços de TV no interior das colunas, com impacto direto na quantidade de cortes de estrada realizados diariamente e com impacto ao nível da manutenção das vias).

4.1. COLUNA DE ILUMINAÇÃO MULTISSERVIÇOS

Uma coluna de Iluminação Multisserviços (IM), no sentido de agregar os serviços mencionados, tem de ser estruturalmente robusta para poder suportar as cargas dos diversos equipamentos e espaço interior para a instalação desse mesmo equipamento. Tal como deve ter espaços/zonas dedicadas à instalação dos mesmos, sem nunca perder a flexibilidade.

Dado que o presente trabalho é focado nas redes de Iluminação Pública, a coluna proposta tem de ir ao encontro ao que está descrito na DMA-C71-512/N (Colunas de aço para Iluminação Pública), estipulado pela E-REDES. Desta forma, a coluna desenvolvida pela Smartlamppost possui as seguintes características:

- Elaborada em aço galvanizado com 3mm de espessura, com alturas nominais de 4m, 6m, 8m e 10m;
- Flange de forma quadrada, com cantos cortados ou arredondados de 300mm no caso de colunas com altura nominal igual a 4m e 400mm no caso de colunas com alturas nominais de 6m,8m e 10m;
- Duas portas de acesso arredondadas com dimensões 200mm x 660mm (largura x altura);
- Braço direito simples, com projeção horizontal de 250mm para alturas de 4m e 6m e 1500mm para colunas com alturas de 8m e 10m.

A Figura 47 descreve a abordagem modular da coluna de Iluminação Multisserviços.

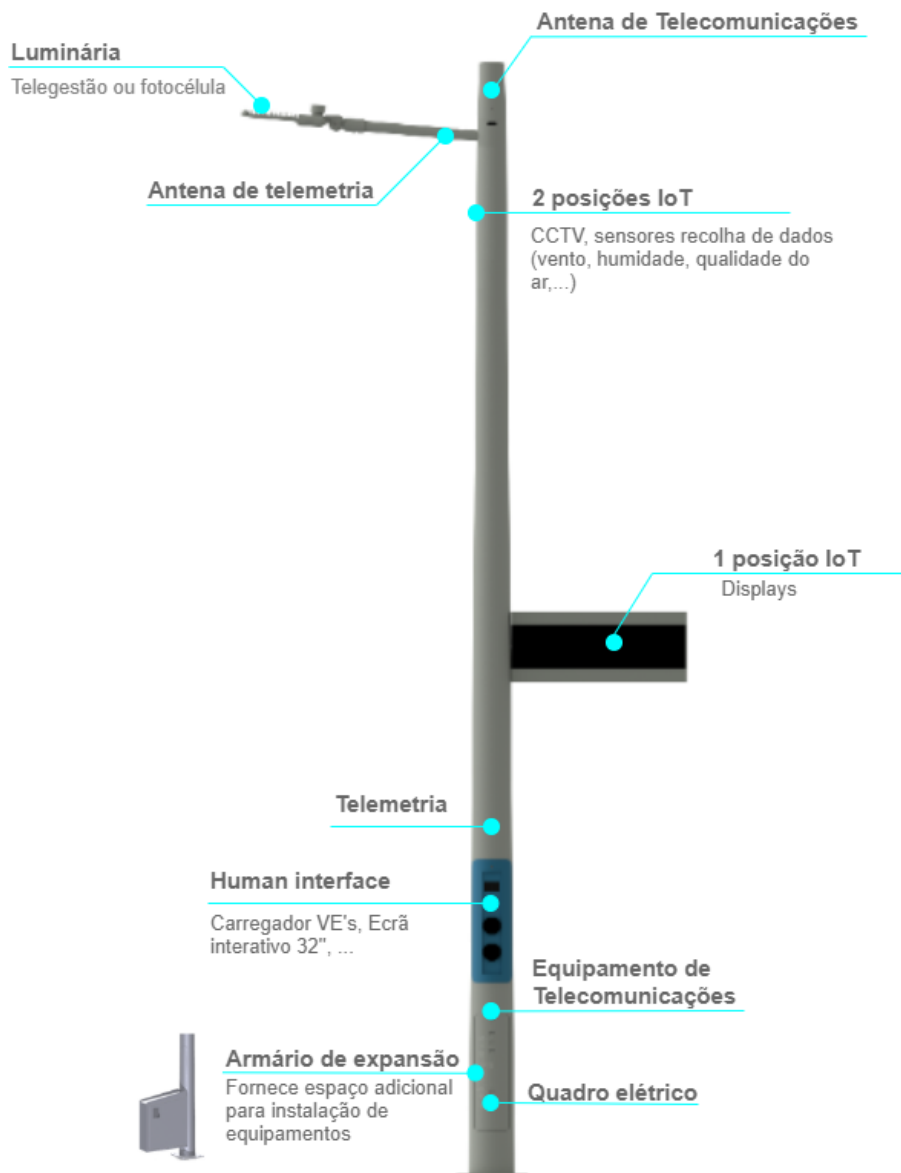


Figura 47: Coluna de Iluminação Multisserviços

A coluna possui na sua base um diâmetro de 260mm, perdendo 16mm de diâmetro a cada 1000mm de altura, tendo sido projetada considerando o seguinte:

- Padrão: EN40
- Velocidade do vento: 30m/s
- Classe: B-2
- Suporte: Simples ou duplo

- Luminária: 15kg/0,15m²
- Acessórios a 10m: 10kg/0,10m²

De seguida, é efetuada a descrição das funcionalidades e especificações dos vários módulos existentes na coluna.

4.1.1. LUMINÁRIA

O sistema de iluminação adotado na coluna, como não poderia deixar de ser, é totalmente em *LED*. Desta forma, a luminária adotada é a LUSA, da Soneres. Esta luminária conjuga elevados níveis de eficiência energética com uma elevada qualidade lumínica, recorrendo à tecnologia *LED* de última geração de elevado desempenho. De desenho compacto e robusto, é constituída por corpo integralmente em alumínio injetado, com difusor em vidro plano temperado e sistema de drenagem e ventilação integrado. Esta luminária possui um elevado índice de restituição de cor e elevada eficácia luminosa global, com um tempo de vida útil superior a 100.000h e uma temperatura de cor de 4000K.



Figura 48: Luminária LUSA adotada na coluna de Iluminação Multisserviços [22]

Consoante a altura da coluna, o nº de leds da luminária aumenta e, conseqüentemente, a potência da luminária também aumenta.

Tabela 9: Relação entre a altura da coluna e luminária a ser utilizada [22]

Altura (m)	Tipo de luminária	Nº de Leds	Potência	Corrente
4	Lusa I N/E	16	37 W	700mA
6	Lusa I N/E	24	54W	700mA
8	Lusa I N/E	32	71W	700mA
10	Lusa II N/E	36	81W	700mA

4.1.2. ANTENA DE TELECOMUNICAÇÕES

A integração das antenas, que permite a radiação do sinal eletromagnético dos dispositivos de telecomunicações integrados na coluna, possui a sua localização no topo, protegidas por uma cápsula (Figura 49).



Figura 49: Cápsula da antena de telecomunicações da coluna de Iluminação Multisserviços
Cápsula esta que, conforme a altura da coluna, altera o seu diâmetro no topo, estando definidas as seguintes dimensões:

Tabela 10: Dimensões cápsula de proteção em função da altura da coluna

Altura da coluna	Dimensões cápsula
4 metros	Ø=196mm; H= 300mm ou 700mm
6 metros	Ø=164mm; H= 300mm ou 700mm
8 metros	Ø=132mm; H= 300mm ou 700mm
10 metros	Ø=100mm; H= 300mm ou 700mm

Tendo em conta o modo de fixação da antena e as dimensões da coluna no seu topo (diâmetro), levam a que as medidas da antena sejam limitadas. Apesar deste contexto, existem antenas passíveis de integração na coluna. Como tal, são apresentadas como solução possível as antenas da marca *HUBER&SUHNER*, que de seguida serão descritos 2 exemplos.

Antena Sencity Urban 100

O primeiro exemplo de integração de antena de telecomunicações na coluna é a antena *Sencity Urban 100*. Esta antena, do tipo omnidirecional, tem a capacidade de cobrir faixas de alta frequência (4G e 5G), operando em 3 frequências de banda: [2500-2690], [3400-3800] e [3800-4200] MHz [58].



Figura 50: Antena *Sencity Urban 100* [58]

Antena Sencity Urban 200

O segundo exemplo de integração de antena de telecomunicações na coluna é a antena *Sencity Urban 200*. Esta antena, do tipo direcional, também tem a capacidade de cobrir altas faixas de frequência (4G e 5G), operando em 5 frequências de banda: [1695-1920], [1920-2180], [2300-2690], [3410-3800] e [3800-4200] MHz [58].



Figura 51: Antena *Sencity Urban 200* [58]

As antenas mencionadas, possuem a tecnologia *MIMO* (*Multiple Input, Multiple Output*). Trata-se de uma tecnologia sem fio que usa múltiplos transmissores e recetores para alcançar maiores taxas de transmissão de dados ao mesmo tempo.



Figura 52: Antena *Sencity Urban 100* instalada no topo da coluna de Iluminação Multisserviços

4.1.3. DISPOSITIVOS *IoT*

Como já foi referido, a *Internet Of Things (IoT)* dá a possibilidade de dispositivos se ligarem em qualquer momento, em qualquer lado, autonomamente ou não usando uma ligação qualquer à *Internet*. Levando isto em consideração, a coluna *Smartlamppost* tem espaços definidos com a capacidade de acomodar componentes destinados à tecnologia *IoT*, conforme a Tabela 11.

Tabela 11: Altura de cada orifício *IoT* ao solo em função da altura da coluna

Altura da coluna (m)	Ponto 1 (mm)	Ponto 2 (mm)	Ponto 3 (mm)
4	3000	3450	3750
6	4000	5450	5750
8	4000	7450	7750
10	4000	9450	9750

4.1.3.1. SENSORES DE RECOLHAS DE DADOS

A utilização de sensores que permitam a recolha de dados, dá a possibilidade de criar uma rede vasta, capaz de gerar dados, nomeadamente, no que diz respeito a sensores climáticos. Desta forma, são amplificadas as possibilidades de medição das seguintes grandezas: velocidade e direção do vento, precipitação, temperatura, radiação solar, pressão atmosférica, humidade relativa do ar, índice de chuva, qualidade do ar, etc.

O sistema adotado para a recolha deste tipo de grandezas, passa pelos equipamentos *Oizom*. Exemplo disso é o equipamento ilustrado na Figura 53.

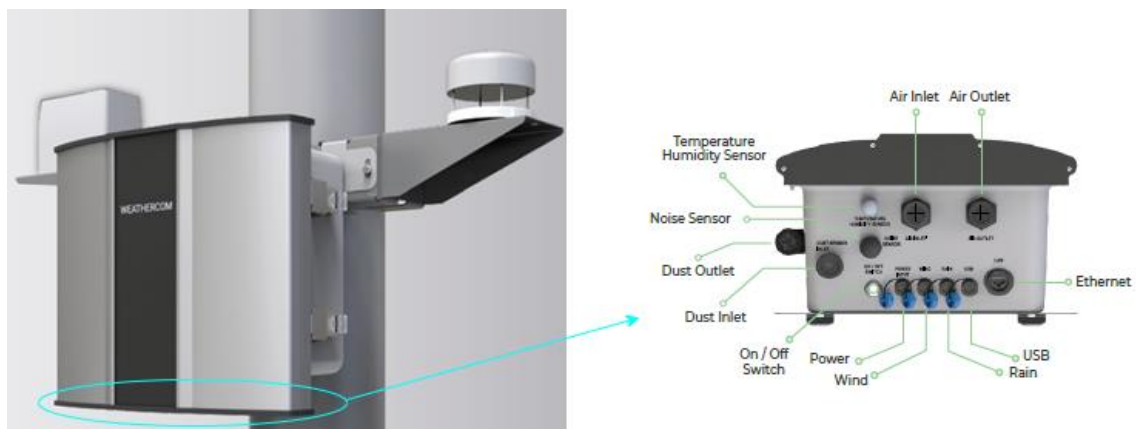


Figura 53: Equipamento com sensores climáticos *IoT* adotado na coluna de Iluminação Multisserviços [59]

Este tipo de equipamento, tem a capacidade de recolher dados das grandezas mencionadas anteriormente. Dado que se trata de um equipamento *IoT*, este necessita de acesso á *Internet* (com ou sem fio) para o envio das informações recolhidas.

4.1.3.2. CCTV

A solução adotada no âmbito de CCTV são as câmaras da *Bosch* que, através das suas funcionalidades avançadas, que ultrapassam largamente a função de recolha de imagens, permitem recolher dados analíticos, possibilitando uma gestão mais eficiente de pessoas e espaços.



Figura 54: CCTV instalada na coluna de Iluminação Multisserviços

Concretamente, esta câmara instalada na coluna permite tarefas de alarme e estatística, considerando *Intelligent Video Analytics (IVA)*, tais como:

- Detecção de ajuntamentos;
- Validação de distanciamento social;
- *Smart Parking*;
- Circulação em sentido contrário;
- Detecção de fumo e incêndio;
- Simples recolha de imagem (diurno e noturno);
- Análise e gestão de tráfego de veículos e de densidade populacional;
- Entre outros.

Este tipo de *use cases* é possível dado que, a informação recolhida é baseada em recolha de metadados da câmara. A Figura 55 representa de como é efetuado o *Smart Parking*.

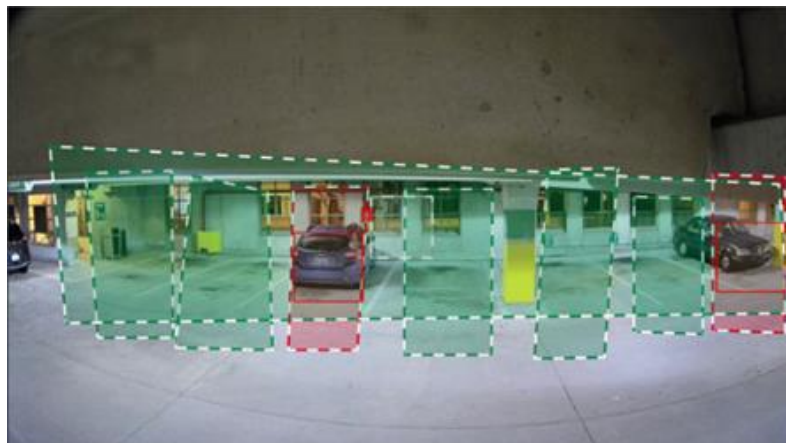


Figura 55: Exemplo de *Smart Parking* [60]

Neste caso é utilizada uma funcionalidade deste tipo de dispositivos, denominado *Camera Trainer*. Este tipo de funcionalidade permite, usando técnicas de *Machine Learning*, “ensinar” a câmara a identificar artificios físicos de objetos, tais como a existência de arestas arredondadas (para-choques), e sua intercalação com outros tipos de objetos (matrícula por exemplo). Este treinamento da câmara é baseado em algoritmos “*Haar*” e “*HoG – Histogram of oriented Gradients*” de acordo com o fabricante. São apresentadas amostras positivas e amostras negativas, de forma que o algoritmo interno da câmara crie uma

matriz completa, mas que não forneça dados falsos (falsos positivos | falsos negativos). O segundo passo deste processo passa por estabelecer áreas de ocupação, verificar se dentro dessa área existe ou não um desses objetos a ocupar um espaço, operações estas realizadas numa metodologia de processamento no próprio dispositivo [60].

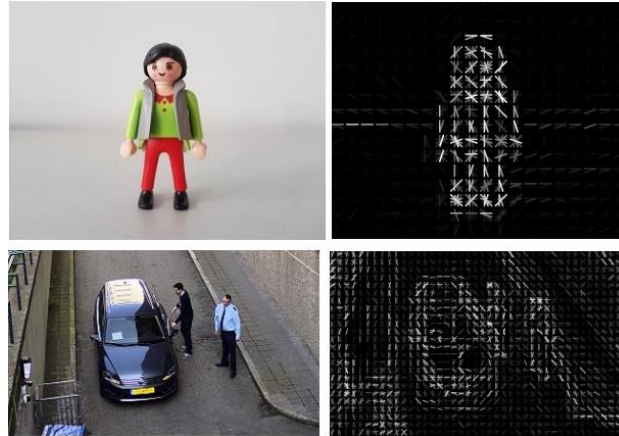


Figura 56: *Camera Trainer* baseado em *HoG* [60]

4.1.4. TELEMETRIA

O sistema de telemetria desenvolvido para a coluna de Iluminação Multisserviços, tem como base 5 sensores que permitem controlar o acesso de portas abertas, detecção de humidade, temperatura e colisão. Os sensores colocados em pontos estratégicos, em caso de detecção de anomalia, enviam a informação para a plataforma SLP.



Figura 57: Sensores da Telemetria

A unidade de controlo, que possui o sensor de colisão no seu interior, é instalada no interior da coluna, logo acima da porta superior e a sua antena é instalada no braço da luminária, em posição dedicada para tal, conforme a Figura 58.



Figura 58: Sistema Telemetria

4.1.5. ECRÃS INTERATIVOS E INFORMATIVOS

Cada vez mais as cidades apostam em dispositivos tecnológicos com o intuito de fins publicitários, informações em tempo real, informações relativas á região sobre gastronomia, roteiros, entre outros. A utilização destes dispositivos tem como benefícios:

- diminuição de custos associados á impressão de publicidade e consequentemente no impacto ambiental, reduzindo o desperdício de água, tintas e outros produtos no processo de produção;
- a possibilidade de alterar em tempo real o conteúdo da publicidade;
- maior envolvimento no espetador, pois a mensagem transmitida é mais atraente.

Por outro lado, os ecrãs interativos instalados em colunas, por exemplo, juntos a paragens de autocarros ou terminais de passageiros, podem estar a funcionar como *human interface*, dando a possibilidade de fornecer informações ao minuto sobre horários de transportes públicos ou permitir a compra de bilhetes de transportes (de avião, comboio, autocarros).



Figura 59: Exemplo de ecrã interativo inserido numa coluna de Iluminação Multisserviços em V.N. Famalicão

O ecrã interativo exibido na Figura 59 possui as especificações exibidas na Tabela 12.

Tabela 12: Especificações ecrã interativo

Dimensões	Comprimento: 950mm Altura: 549mm Largura: 235mm
Peso	55 Kg
Ecrã	Tamanho: 32"
	Resolução: 1,920x1,080 (FHD)
Especificações adicionais	Leitor RFID
	Leitor de cartão de identificação eletrónico

4.1.6. CARREGADOR DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Uma das mais valias deste tipo de infraestrutura, é ser possível acomodar equipamento para carregamento de Veículos Elétricos (VE), e aqui não estamos apenas limitados aos automóveis. Este espectro pode também ser alargado às motos, bicicletas e trotinetes.

A solução de carregamento de veículos elétricos que a coluna dispõe, possui as suas características conforme a Tabela 13.

Tabela 13: Características Carregador de VE

Tensão nominal de entrada	230V AC ou 400V AC
Frequência	50-60Hz
Corrente nominal de entrada	[16 a 32] A por tomada
Potência	[3,7 a 22] kW por tomada
Dimensões	Largura: 220mm Comprimento: 700mm Altura: 185mm
Peso	13Kg

O carregador aquando instalado, pode fazer parte integrante da rede *Mobi.E* e, desta forma, permite o carregamento independentemente do respetivo Operador de Ponto de Carregamento (OPC) ou Detentor de Ponto de Carregamento (DPC), desde que possua um contrato ativo com qualquer Comercializador de Eletricidade para a Mobilidade Elétrica (CEME).



Figura 60: Carregador de VE incorporado na coluna de Iluminação Multisserviços

4.1.7. EQUIPAMENTOS DE TELECOMUNICAÇÕES

No que se trata a equipamentos de telecomunicações a incorporar na coluna, as opções são diversificadas, estando preparada para:

- Equipamento telco ativo: *Small Cell's* e *Acess Point's* (Wi-Fi);
- Equipamento telco passivo: Pontos de Distribuição Ótico (PDOs)

Small Cell

As *Small Cells*, como já foi abordado no Capítulo 3, têm vindo a ganhar uma importância cada vez maior na área das telecomunicações, nomeadamente ao nível de rua, perto do utilizador final, dado que permitem uma elevada capacidade de transmissão de dados, essencial para o acesso às redes móveis e para a condução autónoma.

É consensual que, dentro da indústria automóvel e organizações como 5GAA, a condução autónoma só chegará aos níveis mais elevados (4 e 5) apenas quando os veículos envolvidos conseguirem, entre si, coordenar atempadamente ações e intenções. Desta forma, as comunicações são vistas como um sensor extra obrigatório. Comunicações veiculares não são uma utopia e já muito trabalho ao nível da normalização da mesma foi feito, no âmbito do 3GPP e ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). No entanto, os novos casos de uso para condução autónoma requerem melhor tecnologia (como o 5G e a introdução do novo standard *C-V2X*), onde as comunicações não acontecerão apenas entre veículos (*V2V*), mas também com a infraestrutura (*V2I*) e rede (*V2N*).

Como resposta a estas necessidades, a coluna tem a capacidade de integração destes equipamentos, com recurso, por exemplo a equipamentos da *Ericsson* e da *Accelleran*. Na Figura 61, lado esquerdo, é possível observar uma *Small Cell 4G Plus* com estrutura e frequência 5G), enquanto a imagem do lado direito ilustra uma *Small Cell 4G*.



Figura 61: *Small Cell Ericsson 4G Plus* (lado esquerdo) e *Small Cell 4G Acelleran* (lado direito) instaladas no interior da coluna de Iluminação Multisserviços

Dada a evolução da tecnologia, este tipo de células têm tendência a reduzir o seu tamanho, pois as gamas de frequência cada vez são maiores, o que reduz o tamanho das células.

Wi-Fi (Access Point)

Cada vez mais o mundo está interligado, e para isso, inevitavelmente, é necessário acesso à *Internet*. Este acesso pode ser feito através das redes móveis ou então, através de *Wi-Fi (Access's Points)*. Como solução possível de integração no interior coluna, é o equipamentos da *Wavecom*, ilustrado na Figura 62.



Figura 62: Equipamento *Wi-Fi (Access Point)* adotado no interior da coluna de Iluminação Multisserviços

Este equipamento instalado, por exemplo num parque de estacionamento público ao livre (onde há obrigatoriamente colunas de iluminação), permite a quem esteja nesse local, aceder à *Internet*, sem a necessidade de fios.

Caixa de Distribuição de Fibra Ótica - PDO

As caixas de distribuição de fibra ótica, mais conhecidas por Pontos de Distribuição Óticos (PDOs), são equipamentos que permitem conectividade para dispositivos no interior da coluna (Sensores, antenas 4G / 5G, *IoT*, *CCTV*, *Wi-Fi*) ou fora da coluna (FTTH – *Fiber-To-The-Home*, *Internet*, FTTB-*Fiber-To-The-Building*, serviços empresariais, *data centers* de ponta).

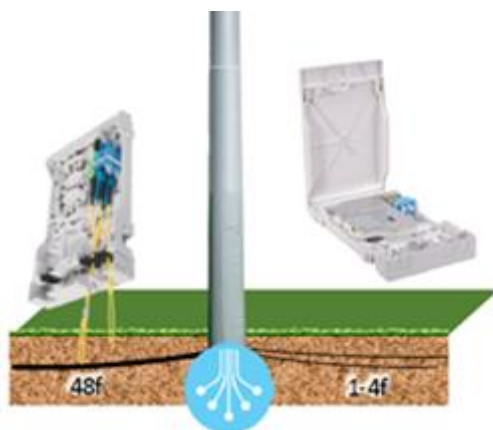


Figura 63: Sistema de distribuição de fibra ótica

Para este efeito, é adotado equipamento da *HUBER&SUHNER*, denominado *Optibox*.



Figura 64: Integração de 3 PDOs no interior da coluna de Iluminação Multisserviços

Como se observa pela Figura 64, é possível a integração de 3 caixas PDOs, o que permite alargar o leque de saídas de fibras óticas a distribuir.

4.1.8. QUADRO ELÉTRICO

Dado os serviços necessários alimentar e a proteger na coluna, esta tem que ser constituída por um quadro elétrico, de modo a agregar os dispositivos de proteção. O quadro elétrico, existente no interior da coluna de Iluminação Multisserviços, serve como ponte de ligação entre a energia proveniente da rede de distribuição e os circuitos a alimentar. Conseqüentemente, neste quadro elétrico, estão alocados os equipamentos, convenientemente agrupados, incluindo as suas ligações, estruturas de suporte e invólucro, destinados a proteger, a comandar ou a controlar as instalações elétricas existentes na coluna de iluminação.

Dada a zona destinada para o quadro elétrico no interior da coluna e as dimensões disponíveis, este tem de ser restrito nas suas dimensões. A solução de quadro elétrico adotada é o *enclosure Ensto Cubo C*, que possui as seguintes dimensões: profundidade: 132mm, largura: 200mm e comprimento 300mm.



Figura 65: Quadro elétrico instalado no interior da coluna de Iluminação Multisserviços.

O quadro elétrico possui a configuração base conforme a Tabela 14.

Tabela 14: Posições de cada dispositivo de proteção no quadro elétrico

Posição	Dispositivo de Proteção				
1	Interruptor diferencial 25A – 300mA ⁽¹⁾	1	2	3	4
2	Disjuntor 6A - Luminária				
3 a 8	Reserva - proteções para outros serviços	5	6	7	8
(1) – Calibre de proteção variável consoante as potências das cargas a proteger					

É adotada uma configuração base em cada coluna, pois desta forma as colunas estão aptas para a qualquer momento ser possível efetuar-se um *upgrade* de equipamentos tecnológicos, sendo necessário apenas alocar o respetivo equipamento de proteção no quadro elétrico. Por exemplo, num circuito com 10 colunas de Iluminação Multisserviços, nem todas integrarão equipamentos tecnológicos, ou seja, algumas colunas apenas terão a função de iluminação, mas ao existir a configuração base, o processo de implementação de um serviço é mais simplificado, pois apenas é necessário instalar o respetivo equipamento de proteção.

4.1.9. ARMÁRIO DE EXPANSÃO

Quando não é possível instalar no interior da coluna equipamentos, por exemplo, de telecomunicações, que exigem dimensões maiores, o armário de expansão tem como propósito fornecer esse espaço.



Figura 66: Armário de expansão acomodado na coluna de Iluminação Multisserviços

Com dimensões de altura: 902mm, comprimento: 741mm e largura: 240mm, diversifica e potencia a gama de produtos a serem instalados na coluna. Exemplo disso, é a instalação de uma *RRU* (*Remote Radio Unit*), que tem o propósito de converter sinais óticos para RF (radiofrequência) e, desta forma, reforçar a cobertura de sinais de redes móveis (Figura 67).



Figura 67: Equipamento de telecomunicações (RRU) inserido no armário de expansão.

5. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo em análise trata-se de um projeto piloto que visa a substituição de colunas de Iluminação Pública (IP) por colunas de Iluminação Multisserviços (IM) numa rede energética existente, no município de Cascais. Este projeto piloto tem como principais objetivos perceber quais os impactos operacionais e regulamentares com a substituição das colunas.

Uma coluna de IM, á partida, necessitará de um valor de potência superior a uma coluna tradicional de IP, nomeadamente se for constituída por um carregador de Veículos Elétricos (VE). Desta forma, é necessário compreender quais as alterações a efetuar-se numa rede de IP a nível técnico e regulamentar, desde o ponto de distribuição de energia (Posto de Transformação) até á última carga do circuito.

Neste capítulo é feita a caracterização do local de estudo, sendo posteriormente apresentado o estudo luminotécnico e eletrotécnico da instalação de colunas de IM na rede de IP existente. Por último, são destacados os aspetos necessários rever para que seja possível mitigar a implementação deste tipo de coluna.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

Como referido anteriormente, o projeto em questão tem como localização Cascais, mais concretamente na praça do Junqueiro e na rua Bartolomeu Dias. Trata-se de uma zona com forte movimentação, devido á existência de um hotel, residências, restaurantes, bares, clube de ténis e perto de uma das praias mais concorridas de Cascais (Carcavelos).



Figura 68: Zona de intervenção

A zona a intervir é caracterizada por 13 colunas de marmorite, constituídas por luminárias de vapor de sódio, conforme Tabela 15.

Tabela 15: Tipos de colunas e luminárias existentes no local

	Tipo de coluna	Altura	Tipo de luminária
Colunas 1, 2, 3, 5, 7, 8 e 9	Marmorite com braço duplo	8 metros	Vapor de sódio
Colunas 4 e 6	Marmorite com braço triplo		
Coluna 10	Marmorite com braço simples		
Colunas 11 e 13	Marmorite com braço triplo	10 metros	
Coluna 12	Marmorite com braço duplo		

5.2. ESTUDO LUMINOTÉCNICO

Através do estudo prévio das principais características da Iluminação Pública (IP), apresentadas no capítulo 2, efetuou-se o cálculo luminotécnico do respetivo local a intervir, de forma a perceber se com a alteração das colunas e das respetivas luminárias, os requisitos luminotécnicos eram cumpridos.

Numa primeira fase, procedeu-se á determinação da classe de iluminação de forma a cumprir os requisitos impostos e, posteriormente, recorreu-se ao *software DIALux*.

O *software DIALux* permite verificar se os parâmetros obtidos encontram-se em conformidade com a norma EN-13201, bem como, dar uma perspetiva tridimensional do local.

A zona de estudo em questão, para uma melhor compreensão, foi dividida em 2 zonas, conforme a Figura 69.



Figura 69: Identificação da Zona 1 e 2 do local de estudo

5.2.1. DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE ILUMINAÇÃO

Relativamente ao tipo de classe da via, por forma a esta ser determinada, procedeu-se do seguinte modo, de acordo com a CIE 115 [61]:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 16;
- Somar todos os fatores selecionados, obtendo um valor “Total”;
- Introduzir esse valor na equação: Índice (CE) = 6 – Total, obtendo o índice da classe CE;
- Caso seja necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 5].

Tabela 16: Tabela para a determinação da classe CE [12]

Seleção das Classes de Iluminação - CE			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Muito Alta	3	1
	Alta	2	
	Moderada	1	
	Baixa	0	
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1	- 0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito baixo	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	0
	Misturado	1	
	Apenas motorizado	0	
Separação das faixas	Não	1	1
	Sim	0	
Luminância envolvente	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Controlo do trânsito	Fraco	0,5	0,5
	Bom	0	

Atribuídos os valores, obtém-se Índice (CE) = 6 – Total = 6 – (1 – 0,5 + 1 + 0,5) = 4

Face às características da zona em estudo e seus utilizadores, a classe recomendada pela Norma Europeia EN-13201 é a CE4, para a qual se define uma iluminância média acima dos 10 lux e uma uniformidade geral de 0,40 (Tabela 17).

Tabela 17: Requisitos fotométricos para a classe C4 (zona de conflito) [12]

Classe de Iluminação	$E_{média}$ (Lux)	U_0
C4	≥ 10	$\geq 0,4$

Em que:

- $E_{média}$: Iluminância média, em lux;
- U_0 : Uniformidade média.

5.2.3. CARACTERÍSTICAS DA LUMINÁRIA SELECIONADA

A luminária selecionada para o local de estudo em questão foi da Soneres, modelo LUSA. Optou-se por esta luminária, pois possui os principais requisitos a cumprir na Iluminação Pública, dos quais a tensão nominal e a potência requerida em função da altura dos postes.

A luminária escolhida, homologada pela E-REDES para uso de IP, possui as seguintes características [22]:

- Luminária LUSA I N/E, com uma potência de 71 W e um fluxo luminoso de 9143 lm, com 32 LEDs por bloco a uma corrente de 700 mA. Quanto ao tempo médio de vida, tem uma duração de 100.000 horas, possui um IRC de 70, a sua temperatura de cor é branco neutro de 4000 K e a sua eficiência luminosa é de 129 lm/W.



Figura 70: Luminária selecionada para o caso de estudo (LUSA) [22]

5.2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

No cálculo luminotécnico considerou-se o seguinte:

- Dado que na zona 1 as colunas de IP existentes nas laterais estão no passeio e junto a lojas comerciais, bares e residências, estas para além da luminária no topo da coluna virada para a via de circulação, são constituídas também por uma outra luminária orientada para o passeio, de modo a cobrir essa área, a uma cota de 6 metros.
- Todas as colunas passam a 8 metros;

A Figura 71 representa a zona de estudo em formato 3D, onde é perceptível os locais com maior ou menor intensidade de luz.

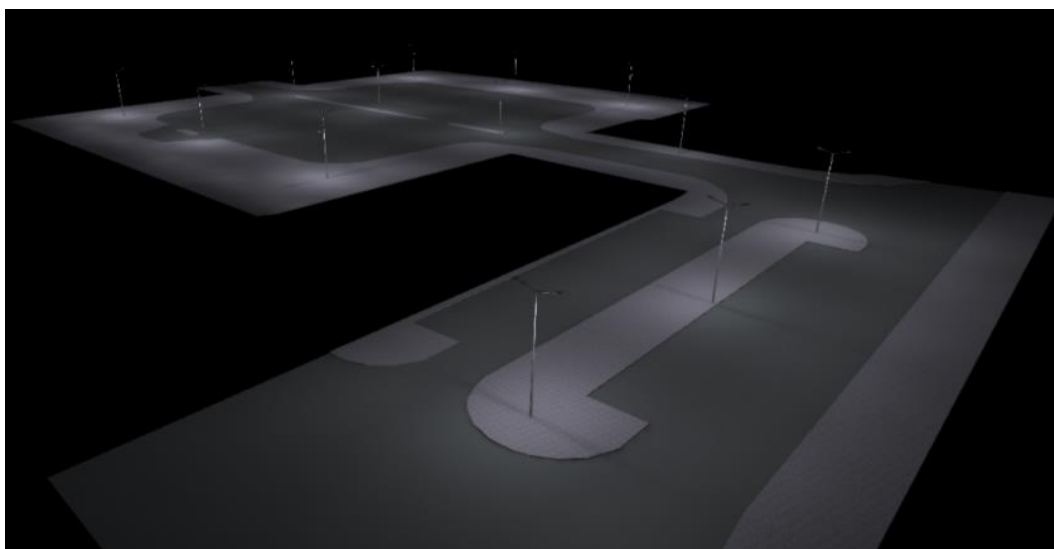


Figura 71: Zona de estudo em formato 3D

Já a Figura 72 exhibe a distribuição de cores falsas, onde as cores brancas representam maior iluminância e as cores magenta menor iluminância. Desta forma, consegue-se observar uma evidente dispersão de cores, onde apesar de haver uma certa discrepância dos valores obtidos no cálculo, consegue-se cumprir com os requisitos exigidos.

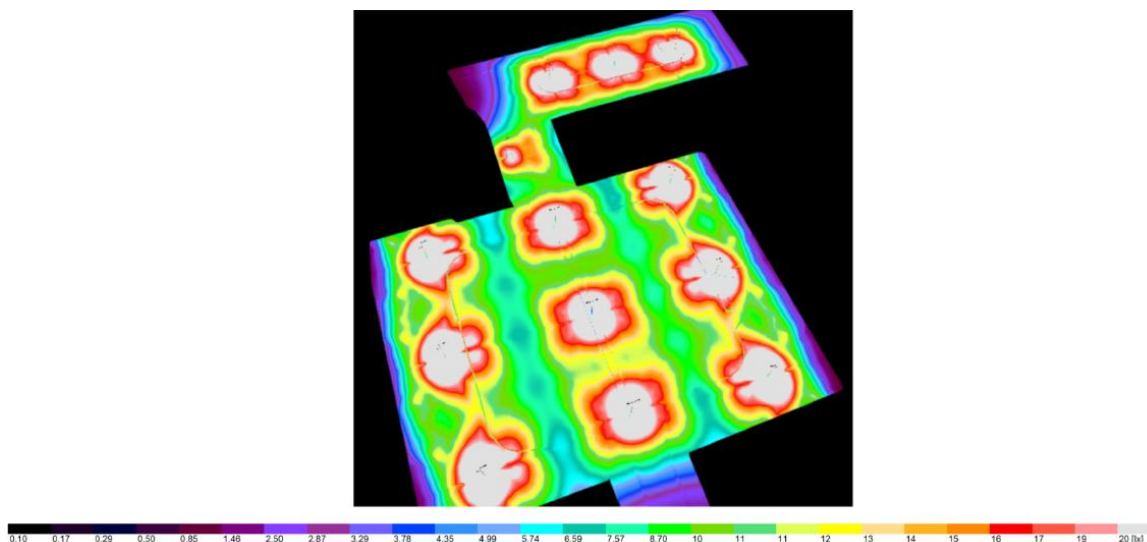


Figura 72: Distribuição de cores falsas

Os valores obtidos através do *software Dialux* podem ser consultados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados luminotécnicos obtidos

	Zona 1		Zona 2	
	$E_m(lux)$	U_0	$E_m(lux)$	U_0
Valores nominais segundo a classe	≥ 10	$\geq 0,4$	≥ 10	≥ 0.4
Valores reais segundo o cálculo	13.2	0.45	18.4	0.46
Cumpre (✓) / Não cumpre (✗)	✓	✓	✓	✓

5.3. ESTUDO ELETROTÉCNICO

Esta secção tem como propósito analisar se nos circuitos existentes da rede de Iluminação Pública (IP) da zona em estudo, é possível ou não a implementação de colunas de Iluminação Multisserviços, tal como a rede de IP está, sem fazer alterações á mesma.

Numa primeira fase são descritos quais aspetos a cumprir no dimensionamento de uma Rede de Distribuição em Baixa Tensão (RDBT), segundo as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT).

Numa segunda fase, tendo como base as RTIEBT, é analisado se os equipamentos tecnológicos propostos a implementar na rede de IP são exequíveis ou não. Se não for possível, é proposto as alterações necessárias para que seja possível.

Por último, são elencados um conjunto de aspetos regulamentares e operacionais necessários rever para que seja possível mitigar a implementação de colunas de Iluminação Multisserviços.

5.3.1. DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

O dimensionamento e proteção de canalizações elétricas baseia-se em pressupostos legais definidos em Portugal pelas RTIEBT.

O objetivo fundamental do dimensionamento e proteção de canalizações é a determinação da secção do cabo a instalar e do calibre da respetiva proteção, da forma mais económica possível, satisfazendo as condições técnicas e regulamentares aplicáveis. As condições de queda de tensão também devem ser cumpridas de modo a garantir o bom funcionamento de todas as cargas.

Em suma, uma instalação elétrica passa por efetuar-se uma análise preliminar das necessidades de potência da instalação, de modo a determinar as cablagens e as suas proteções desde a origem da instalação, passando por circuitos intermédios até ao último ponto de utilização.

5.3.1.1. CORRENTE DE SERVIÇO E CORRENTE ADMISSÍVEL

Denomina-se corrente de serviço (I_s), como a corrente máxima que irá circular no circuito em condições normais e corresponde a potência nominal das cargas (kVA). A corrente de serviço (I_s), expressa em amperes, é calculada através de:

- Instalação Monofásica:

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_s} \quad (1)$$

- Instalação Trifásica:

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{\sqrt{3} * U_c} \quad (2)$$

Em que:

- $\sum_{j=1}^n S_j$ – Soma das potências atribuídas às n cargas alimentadas pela canalização i;
- U_s – Tensão simples (fase-neutro);
- U_c – Tensão composta (fase-fase).

Após a determinação da corrente de serviço, deve ser escolhido um cabo que possua uma corrente admissível (I_Z) superior à corrente de serviço (I_s) do circuito. Denomina-se por I_Z como a corrente máxima admissível que a cablagem do circuito suporta de forma permanente, sem deteriorar as suas características nem reduzir o seu tempo de vida útil. Esta corrente depende da secção do cabo tendo em conta vários parâmetros:

- Material da alma condutora e do isolamento;
- Temperatura ambiente;
- Método de instalação;
- Tipo de tensão, trifásica ou monofásica

O valor de I_Z pode ser obtido através de tabelas fornecidas pelos fabricantes de cabos ou pelas RTIEBT (Anexo III).

5.3.1.2. CONDIÇÕES DE QUEDA DE TENSÃO

A impedância dos condutores dos circuitos é baixa, mas não desprezável. Quando se transporta energia há sempre uma diferença de potencial entre a origem do circuito e aos terminais da carga que alimenta.

Os valores máximos permissíveis de queda de tensão referem-se a condições de funcionamento estáveis e não se aplicam por exemplo, aos momentos em que se ligam ou desligam cargas. Quando a queda de tensão excede os valores apresentados na Tabela 19, devem ser usados cabos de maior secção para corrigir e cumprir a condição.

Tabela 19: Quedas de tensão máximas admissíveis

Utilização	Iluminação	Outros usos
A – Instalações alimentadas diretamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão	3%	5%
B – Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação <i>MT/BT</i> ⁽¹⁾	6%	8%
(1) - Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A.		

Tendo em conta o descrito nas RTIEBT (Tabela 19), para o trabalho em questão, a queda de tensão não pode exceder os 3%, pois trata-se de uma instalação de iluminação alimentada diretamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em Baixa Tensão (BT).

A queda de tensão, expressa em percentagem, é calculada através de:

$$\Delta u(\%) = \frac{100}{U_0} * b * \left(\rho \times \frac{L}{S} \times \cos\varphi + \gamma \times L \times \sin\varphi \right) * I_s \quad (3)$$

Em que:

- U_0 – Tensão entre fase e neutro, expressa em volts;
- b – Coeficiente igual a 1 para os circuitos trifásicos e a 2 para os monofásicos;
- ρ – Resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal, isto é, 1,25 vezes a resistividade a 20°C (0,0225 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ para o cobre e 0,036 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ para o alumínio);
- L – Comprimento simples da canalização, expresso em metros;
- S – Secção dos condutores, expressa em mm^2 ;
- $\cos\varphi$ – Fator de potência;
- γ – Reactância linear dos condutores, sendo usado o valor 0,00008 Ω/m .

5.3.1.3. PROTEÇÃO CONTRA SOBREINTENSIDADES

Sempre que a corrente do circuito excede a corrente I_s do circuito, estamos perante uma sobreintensidade. Na ocorrência de uma sobreintensidade, os dispositivos de proteção devem garantir a abertura do circuito antes que ocorra algum dano permanente no cabo.

Este tipo de sobre correntes podem ser separadas em dois tipos:

- **Sobrecargas**, quando na presença de uma corrente ligeiramente acima do normal, normalmente devido a algum equipamento em mau estado, ou a funcionar em valores de carga acima do nominal. Se estas correntes persistirem por mais que determinado período de tempo, o circuito será interrompido;
- **Curto-circuito**, quando na presença de uma corrente muito superior ao normal, resultantes de uma falha de isolamento entre condutores carregados, ou entre um condutor carregado e a massa.

A utilização excessiva dos circuitos (sobrecarga) ou a previsão de situações de defeito (curto-circuito), leva à necessidade da proteção contra sobreintensidades, através da instalação de fusíveis ou disjuntores. As condições de estabelecimento regulamentares são apresentadas a seguir.

Proteção contra sobrecargas

Na proteção contra sobrecargas, devem ser satisfeitas simultaneamente as seguintes condições:

$$I_s \leq I_n \leq I_Z \quad (4)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (5)$$

Onde:

- I_s – é a corrente de serviço na canalização e que determina a capacidade de transporte do cabo ou condutor em regime permanente, em amperes;
- I_n – é a corrente nominal do aparelho de proteção, em amperes;
- I_Z – é a corrente máxima admissível na canalização, em amperes;

- I_f – é a corrente de funcionamento (fusão) do fusível, ou de funcionamento (disparo) do disjuntor, em amperes.

A Figura 73 traduz, esquematicamente, as condições indicadas.

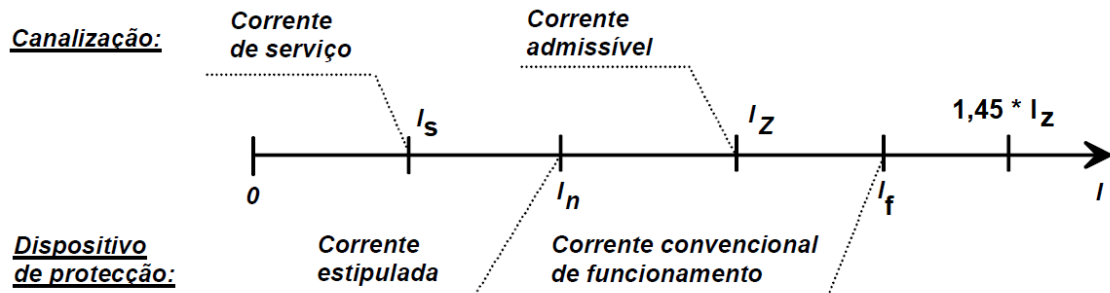


Figura 73: Coordenação entre os condutores e os dispositivos de proteção

Proteção Contra Curto-Circuitos

O caso mais desfavorável para a atuação de um aparelho de proteção contra curto-circuitos, ocorre quando a corrente curto-circuito é mínima, porque um baixo valor de corrente provoca um aumento do tempo de deteção, conseqüentemente um aumento do tempo de corte do defeito. A corrente de curto-circuito mínima advém da ocorrência de um defeito fase-neutro, no ponto mais afastado do troço. O valor da corrente de curto-circuito é dado por:

$$I_{cc}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{1,5 * (R_{fase}^{20^\circ} + R_{neutro}^{20^\circ}) + Z_t} \quad (6)$$

Sabendo que $R = \rho * \frac{l}{S}$, fica:

$$I_{cc}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{1,5 * \left(\rho_F \frac{L_F}{S_F} + \rho_N \frac{L_N}{S_N} \right) + Z_t} \quad (7)$$

As resistividades do alumínio e do cobre são multiplicadas por 1.5, que é a correção das resistividades para a temperatura média de curto-circuito:

$$\rho_{AL} = 0,0285 \Omega \cdot mm^2/m \rightarrow 0,0285 * 1,5 \approx 0,042 \Omega \cdot mm^2/m$$

$$\rho_{CU} = 0,0178 \Omega \cdot mm^2/m \rightarrow 0,0178 * 1,5 \approx 0,027 \Omega \cdot mm^2/m$$

Substituindo na equação, e supondo que a alma condutora do neutro e da fase é do mesmo material, temos para o alumínio e para o cobre as seguintes expressões:

$$I_{cc\ AL}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{0,042 * \left(\frac{L_F}{S_F} + \frac{L_N}{S_N}\right) + Z_t} \quad (8)$$

$$I_{cc\ CU}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{0,027 * \left(\frac{L_F}{S_F} + \frac{L_N}{S_N}\right) + Z_t} \quad (9)$$

Em que:

- U_s – Tensão simples, em volts;
- L_F – Comprimento do condutor de fase, em metros;
- L_N – Comprimento do condutor de neutro, em mm^2 ;
- S_F – Secção do condutor de fase, em metros;
- L_F – Comprimento do condutor de fase, em mm^2 ;
- Z_t – Impedância do transformador, em ohms (Ω);

Depois de calculada a corrente de curto-circuito mínima, existem condições para calcular o tempo de fadiga térmica, que depende da corrente e da secção do cabo e da sua constituição, através de um parâmetro k:

$$t_{FT} = \left(k * \frac{S}{I_{cc}^{min}}\right)^2 \quad (10)$$

Em que:

- k – Representa uma constante atribuída à alma condutora, disponível nas RTIEBT (secção 434.3.2);
- S – Secção do condutor de neutro em mm^2 ;

Os regulamentos impõem 5s como tempo máximo de atuação das proteções, independentemente das outras condições. Desta forma, é essencial garantir que, para qualquer valor de corrente de curto-circuito, o tempo de atuação do aparelho de proteção

(t_{ap}) seja menor que o tempo de fadiga térmica do cabo (t_{FT}) e, simultaneamente, que o tempo de atuação da proteção seja inferior a 5 segundos:

$$t_{ap} \leq t_{FT} \wedge t_p \leq 5s \quad (11)$$

5.3.2. CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE IP

A rede de Iluminação Pública (IP) da área em estudo é abrangida por 3 circuitos:

- O circuito IP1 tem uma extensão de 382m, sendo constituído por 7 colunas de iluminação;
- O circuito IP2 possui um comprimento de 164 metros e é composto 3 colunas de iluminação;
- O circuito IP3 detém uma distância de 150 metros, tendo alocado em si 8 colunas de iluminação.

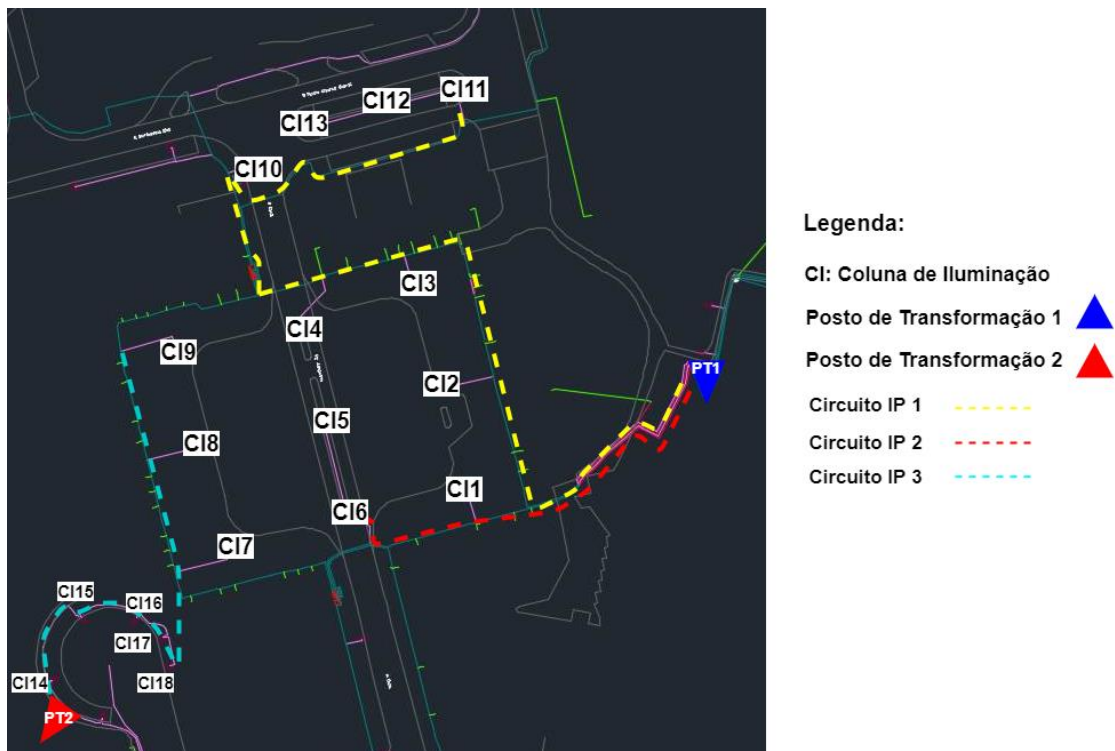


Figura 74: Rede de IP do local de estudo

A Tabela 20 identifica a constituição relativa a cada um dos três circuitos.

Tabela 20: Constituição de cada circuito

Nº do circuito	Constituição do circuito
1	CI2, CI3, CI4, CI10, CI11, CI12 e CI13
2	CI1, CI5 e CI6
3	CI7, CI8, CI9, CI14, CI15, CI16, CI17 e CI18

Nota:

As colunas nº14 a nº18 apesar de fazerem parte do circuito 3, não estão incluídas na zona a intervir e, como tal, serão apenas alvo de substituição das luminárias (vapor de sódio para LED), mantendo-se as colunas. Entrarão, com as devidas potências, nos cálculos do circuito 3.

Relativamente aos dois PTs que fazem a RDBT dos circuitos de IP do local de estudo, possuem as características conforme a Tabela 21.

Tabela 21: Características dos PTs

	Posto de Transformação 1	Posto de Transformação 2
Tipo	Cabine Baixa	
Potência	630kVA	
Unidade de transformação	15kV/400V	
Tensão de curto-circuito	4%	
QGBT	R630 CIP	

A canalização á saída dos PTs é enterrada diretamente no solo (tipo subterrânea), sendo do tipo *LSVAV 2 × 16mm²*. No entanto, o cabo de alimentação que interliga aos blocos terminais de cada quadro elétrico das colunas não é todo *LSVAV 2 × 16mm²*. Neste caso em específico, o distribuidor optou por utilizar derivações em “T” junto das colunas de IP, passando a cablagem *LSVAV 2 × 16mm²* para secções inferiores (Tabela 22).

Tabela 22: Canalizações existentes na rede de IP da zona em estudo

Nº Coluna	Canalização á saída do PT	Canalização derivada para a coluna IP
1	<i>LSVAV 2 × 16mm²</i>	<i>VAV 2 × 10mm²</i>
2		<i>VAV 2 × 10mm²</i>
3		<i>LSVAV 2 × 16mm²</i>
4		<i>VAV 2 × 10mm²</i>
5		<i>VAV 2 × 10mm²</i>
6		<i>VAV 2 × 10mm²</i>
7		<i>VAV 2 × 2.5mm²</i>
8		<i>VAV 2 × 2.5mm²</i>
9		<i>VAV 2 × 2.5mm²</i>
10		<i>VAV 2 × 10mm²</i>
11		<i>VAV 2 × 16mm²</i>
12		<i>VAV 2 × 16mm²</i>
13		<i>VAV 2 × 16mm²</i>

As canalizações derivadas que interligam a cada umas das colunas nestes circuitos de IP não são comum de se constatar, sendo até um pouco difícil de compreender. Isto porque, apenas uma das treze canalizações existentes na rede de IP em estudo cumpre com as normas estipuladas pela E-REDES, a canalização da coluna nº3. As restantes, não estão ao abrigo dos regulamentos do distribuidor, já que as únicas canalizações permitidas na rede subterrânea são do tipo *LSVAV 2 × 16mm²* ou *LSVAV 4 × 16mm²*.

Eventualmente, as derivações efetuadas para secções inferiores podem ser justificadas pela regra do triângulo, no entanto, fica ainda mais difícil de entender porque é que há discrepâncias de secções (*VAV 2 × 2.5mm²*; *VAV 2 × 10mm²* e *VAV 2 × 16mm²*) e não uma uniformização das mesmas, pelo menos.

Em suma, pode-se afirmar que este tipo de secções, nomeadamente a secção $2.5mm^2$, terá interferência direta nos equipamentos a instalar nas colunas de Iluminação Multisserviços, dado que possui um valor muito baixo de secção, o que limita a corrente de serviço.

5.3.3. COLUNAS DE ILUMINAÇÃO MULTISSERVIÇOS A IMPLEMENTAR

Feita a descrição dos circuitos de IP do local em estudo, esta secção tem como propósito analisar se os equipamentos pretendidos a instalar nas colunas de Iluminação Multisserviços são possíveis, conforme a rede de IP está. Dado que se trata de um projeto piloto, nesta fase, os equipamentos a instalar são:

- O circuito 1 será constituído por um ponto de carregamento de VEs 3.7 kW (coluna nº13);
- O circuito 2 será constituído por um ponto de carregamento de VEs 3.7 kW (coluna nº1) e um ponto de acesso *Wi-Fi* (coluna nº5);
- O circuito 3 será constituído por um ecrã interativo (coluna nº8).

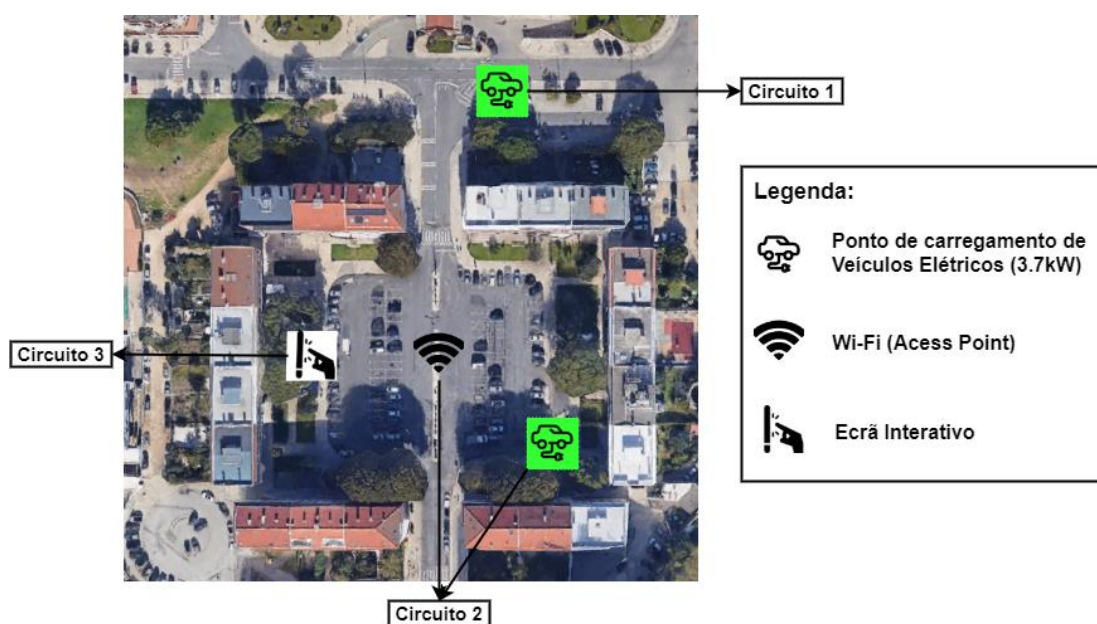


Figura 75: Equipamentos a instalar nos circuitos de IP

5.3.3.1. CÁLCULOS

Seguidamente, são efetuados os cálculos para cada circuito, de modo a perceber se o anteriormente referido é exequível em cada circuito de Iluminação Pública (IP).

5.3.3.1.1. ANÁLISE DO CIRCUITO 1

O circuito 1 será constituído pelas seguintes cargas:

- 7 × Luminárias de 71 W cada;
- 1 × Ponto de carregamento de VE de 3.7 kW.

Potência total do circuito 1 = 4.197 kW

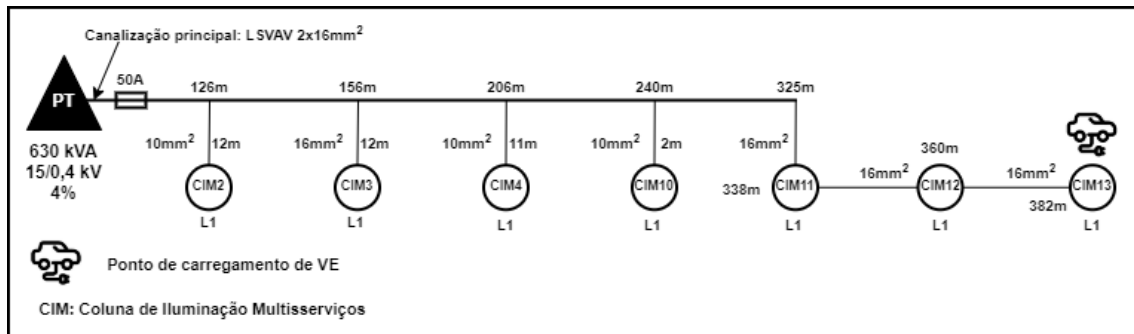


Figura 76: Esquema unifilar do circuito 1

- Corrente de serviço

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_s} \Leftrightarrow I_s = \frac{(6 \times 71 + 3700) W}{230 V} \approx 22,8 A$$

- Condições de aquecimento e sobrecarga:

Para $I_s = 22,8 A$ resulta que $I_n = 50 A \wedge I_f = 80 A$

Cabo: $LSVAV 2 \times 16mm^2 \Rightarrow I_z = 95A$

$$I_s \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 22,8 \leq 50 \leq 95 A \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z \Leftrightarrow 80 \leq 137.75 A \quad \checkmark$$

- Queda de tensão

Para verificar se esta condição é cumprida, será calculado o valor de queda de tensão no ponto mais desfavorável da canalização, ou seja, na coluna nº13, dado que esta possui o carregador de Veículos Elétricos (VE).

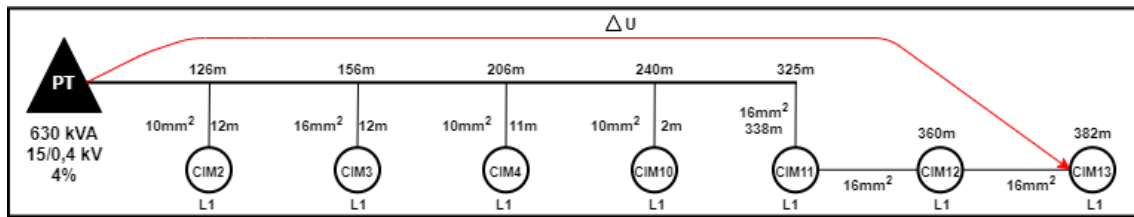


Figura 77: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 1

$$I_s \text{ no ponto de carga CIM13} = \frac{(71 + 3700) W}{\frac{0,8}{230 V}} \approx 20,49 A$$

$$\Delta u(\%) = \frac{100}{230} * 2 * \left(0,036 \times \frac{382}{16} \times 0,8 + 0,00008 \times 382 \times 0,6 \right) * 20,49 \approx 12,5\%$$

$$\Leftrightarrow 12,5\% \leq 3\% \quad \times$$

Dado que o valor obtido no ponto mais desfavorável da canalização não verifica a condição da queda de tensão, não se justifica verificar a queda de tensão nos outros pontos de carga, pois o valor de queda de tensão ainda iria aumentar mais.

Analisando o valor obtido, há 2 aspetos cruciais que estão a prejudicar esta condição:

- Comprimento da canalização ser muita extensa (382m);
- Circuito ser monofásico, ou seja, todas as cargas estão “penduradas” apenas numa fase, não havendo desfasamento de fases, o que com um circuito trifásico já é possível de se efetuar.

Não sendo possível implementar o pretendido com a canalização existente, de seguida é feito o mesmo processo, mas com a outra canalização permitida pela E-REDES na rede de IP subterrânea ($LSVAV 4 \times 16mm^2$), de forma a perceber se pode ser esta a solução.

Solução – Alteração da canalização para $LSVAV 4 \times 16mm^2$

- Corrente de serviço

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_c} \Leftrightarrow I_s = \frac{(7 \times 71 + 3700) W}{\sqrt{3} \times 400 V} \approx 7,6 A$$

- Condições de aquecimento e sobrecarga:

Para $I_s = 7,6 A$ resulta que $I_n = 50 A \wedge I_f = 80 A$

Cabo: $LSVAV 4 \times 16mm^2 \Rightarrow I_z = 90A$

$I_s \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 7,6 \leq 50 \leq 90 A \checkmark$

$I_f \leq 1,45 * I_z \Leftrightarrow 80 \leq 130.5 A \checkmark$

- Queda de tensão

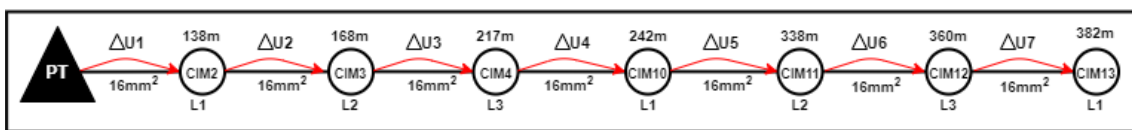


Figura 78: Cálculo da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 1

$$\Delta u(\%)_{total} = \sum_{j=1}^7 \Delta u_j$$

Tabela 23: Valores obtidos da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 1

$\Delta u1(\%)$	$\Delta u2(\%)$	$\Delta u3(\%)$	$\Delta u4(\%)$	$\Delta u5(\%)$	$\Delta u6(\%)$	$\Delta u7(\%)$
0,83	0,18	0,29	0,14	0,54	0,12	0,12

$\Delta u(\%)_{total} = 0,83 + 0,18 + 0,29 + 0,14 + 0,54 + 0,12 + 0,12 = 2,22\%$

$\Leftrightarrow 2,22\% \leq 3\% \checkmark$

- Condição de fadiga térmica

$$I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{0,042 * \left(\frac{L_F}{S_F} + \frac{L_N}{S_N} \right) + Z_{transformador}}$$

$$\Leftrightarrow I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * 230}{0,042 * \left(\frac{382}{16} + \frac{382}{16} \right) + (0,04 * \frac{400^2}{630 * 10^3})} \approx 107A$$

Calculado o $I_{cc\ AL}^{min}$, é possível agora determinar qual o tempo de atuação do fusível, através do gráfico de fusíveis de facas NH gG 500V da *Hager*, fazendo a intersecção da curva $I_n = 50A$ com o $I_{cc\ AL}^{min} = 107A$ (Figura 79).

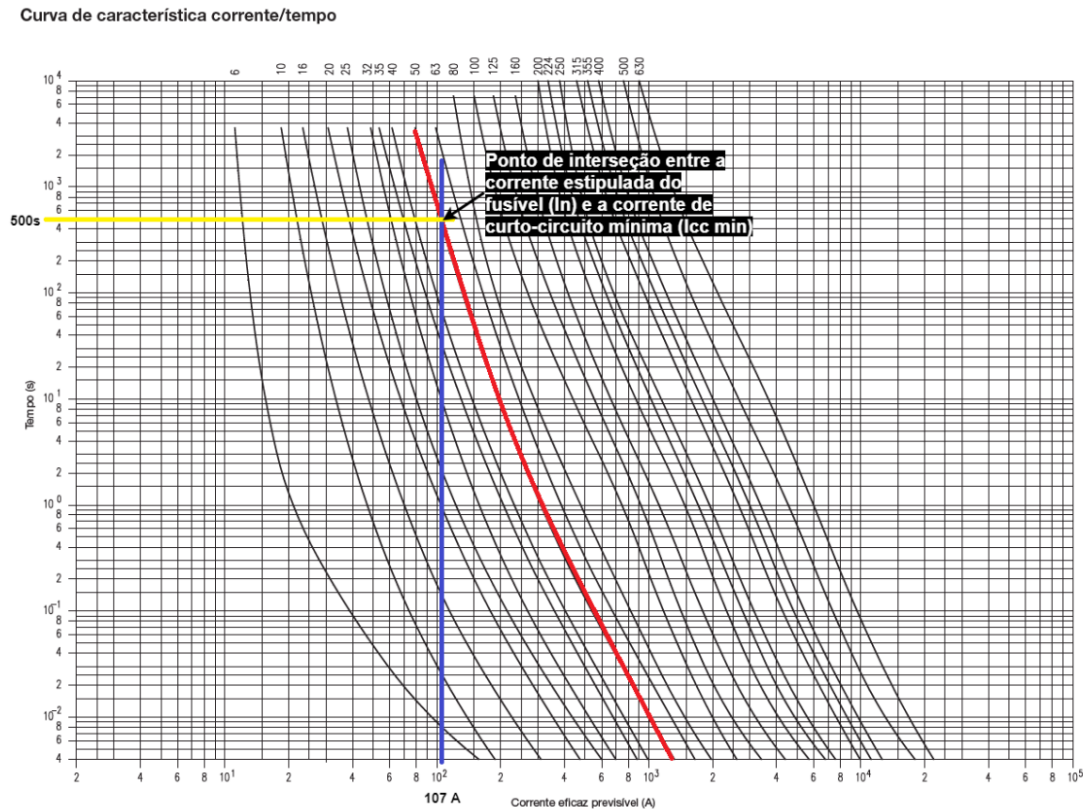


Figura 79: Tempo de atuação do fusível com $I_n = 50A$ – circuito 1

Feita a intersecção, obtém-se um $t_{ap} \approx 500s$.

$$t_{FT} = \left(k * \frac{S}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \Leftrightarrow t_{FT} = \left(76 * \frac{16}{107} \right)^2 \approx 131 s$$

$$\begin{cases} t_{ap} \leq t_{FT} \\ t_{ap} \leq 5s \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 500s \leq 131 s \\ 500s \leq 5s \end{cases} \quad \times$$

Dado que esta condição não se verifica, há que baixar o calibre do fusível que protege a canalização, de modo que o tempo de atuação também baixe. Após a análise das várias curvas de característica corrente/tempo imediatamente abaixo de $I_n < 50A$, o valor que cumpre o $t_{ap} \leq 5s$ é $I_n = 25A$. No entanto, há que verificar primeiro se as condições de aquecimento e sobrecarga são verificadas. A condição queda de tensão não é necessário verificar novamente, pois o valor de I_n não tem interferência no cálculo.

- Condições de aquecimento e sobrecarga com $I_n = 25A$:

$$I_s \leq I_n \leq I_Z \Leftrightarrow 7,6 \leq 25 \leq 90 A \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_Z \Leftrightarrow 40 \leq 130.5 A \quad \checkmark$$

- Condição de fadiga térmica

Seguindo o mesmo raciocínio feito anteriormente neste condição:

Curva de característica corrente/tempo

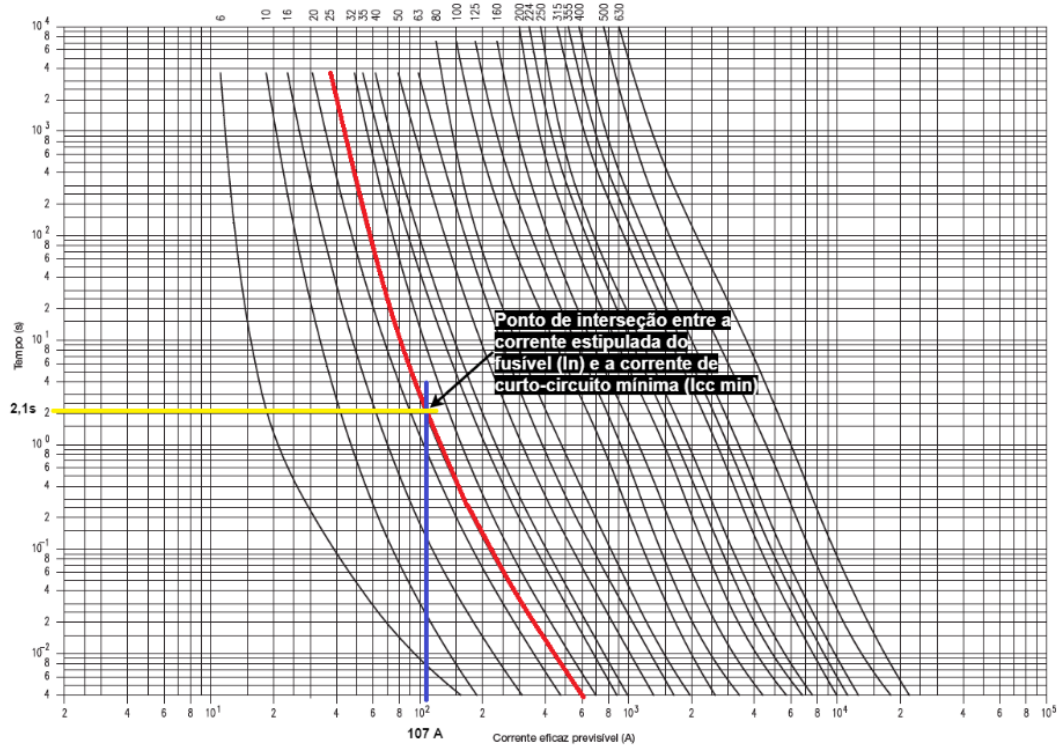


Figura 80: Tempo de atuação do fusível com $I_n = 25A$ – circuito 1

Obtém-se um $t_{ap} \approx 2,1s$

$$t_{FT} = \left(k * \frac{S}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \Leftrightarrow t_{FT} = \left(76 * \frac{16}{107} \right)^2 \approx 131 s$$

$$\begin{cases} t_{ap} \leq t_{FT} \\ t_{ap} \leq 5s \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2,1s \leq 131 s \\ 2,1s \leq 5s \end{cases} \quad \checkmark$$

Verificadas todas as condições, a solução no que diz respeito á alimentação das cargas do circuito 1, passa por alterar a canalização $LSVAV 2 \times 16mm^2$ para $LSVAV 4 \times 16mm^2$ e o calibre do fusível de facas no QGBT de 50A para 25A.

5.3.3.1.2. ANÁLISE DO CIRCUITO 2

O circuito 2 será constituído pelas seguintes cargas:

- $3 \times$ Luminárias de 71W cada;
- $1 \times$ Ponto de carregamento de VE de 3.7kW;
- $1 \times$ Ponto de Acesso *Wi-Fi* de 20W.

Potência total do circuito 2 = 3,933kW

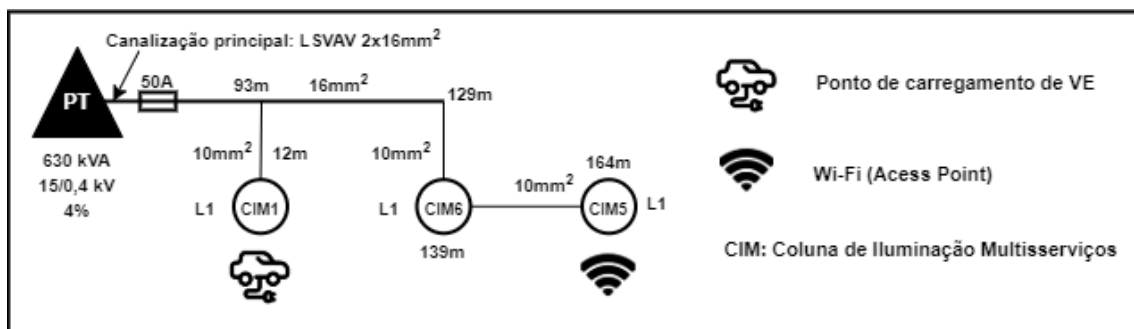


Figura 81: Esquema unifilar do circuito 2

- Corrente de serviço

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_s} \Leftrightarrow I_s = \frac{(3 \times 71 + 3700) W}{230 V} \approx 21,4 A$$

- Condições de aquecimento e sobrecarga:

Para $I_s = 21,4 A$ resulta que $I_n = 50 A \wedge I_f = 80 A$

Cabo: $LSVAV 2 \times 16mm^2 \Rightarrow I_z = 95A$

$$I_s \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 21,4 \leq 50 \leq 95 A \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z \Leftrightarrow 80 \leq 137,75 A \quad \checkmark$$

- Queda de tensão

Visto que neste circuito o ponto de carregamento de VE encontra-se situado logo na coluna nº1, o cálculo da queda de tensão tem como referência este ponto de carga, pois é o que exige um valor de corrente de serviço mais elevado á canalização e, conseqüentemente, mais perdas por efeito de Joule.

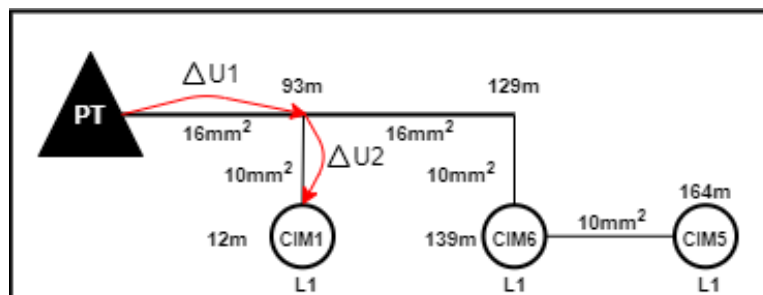


Figura 82: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 2

$$\Delta u(\%)_{total} = \Delta u1(\%) + \Delta u2(\%)$$

$$\Delta u1(\%) = \frac{100}{230} * 2 * \left(0,036 \times \frac{93}{16} \times 0,8 + 0,00008 \times 93 \times 0,6 \right) * 21,4 \approx 3,2\%$$

$$\Delta u2(\%) = \frac{100}{230} * 2 * \left(0,036 \times \frac{12}{10} \times 0,8 + 0,00008 \times 12 \times 0,6 \right) * 20,5 \approx 0,6\%$$

$$\Delta u(\%)_{total} = 3,2 + 0,6 = 3,8\% \Leftrightarrow 3,8\% \leq 3\% \quad \times$$

Pelo resultado obtido, constata-se que desde a origem de alimentação do circuito até ao ponto de carregamento de VE, a canalização não verifica a condição de queda de tensão. Desta forma, não será possível instalar os equipamentos pretendidos no circuito com a canalização existente. A alternativa passa por verificar se com a outra canalização permitida pela E-REDES na rede de IP subterrânea ($LSVAV 4 \times 16mm^2$) é possível.

Solução – Alteração da canalização para $LSVAV 4 \times 16mm^2$

- Corrente de serviço

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_c} \Leftrightarrow I_s = \frac{(3 \times 71 + 3700 + 20) W}{\sqrt{3} \times 400 V} \approx 7,1 A$$

- Condições de aquecimento e sobrecarga:

Para $I_s = 7,1 A$ resulta que $I_n = 50 A \wedge I_f = 80 A$

Cabo: $LSVAV 4 \times 16mm^2 \Rightarrow I_z = 90A$

$$I_s \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 7,1 \leq 50 \leq 90 A \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z \Leftrightarrow 80 \leq 130.5 A \quad \checkmark$$

- Queda de tensão

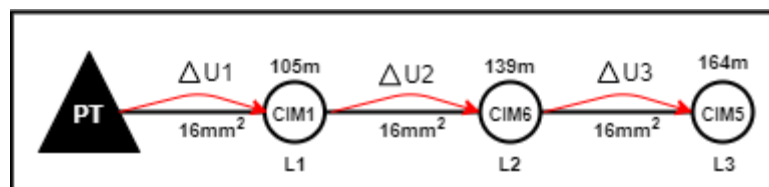


Figura 83: Cálculo da queda de tensão com a substituição de canalização – circuito 2

$$\Delta u(\%)_{total} = \Delta u1(\%) + \Delta u2(\%) + \Delta u3(\%)$$

$$\Delta u1(\%) = \frac{100}{230} * 1 * \left(0,036 \times \frac{105}{16} \times 0,8 + 0,00008 \times 105 \times 0,6 \right) * 7,1 \approx 0,53\%$$

$$\Delta u2(\%) = \frac{100}{230} * 1 * \left(0,036 \times \frac{34}{16} \times 0,8 + 0,00008 \times 34 \times 0,6 \right) * 0,29 \approx 0,008\%$$

$$\Delta u3(\%) = \frac{100}{230} * 1 * \left(0,036 \times \frac{25}{16} \times 0,8 + 0,00008 \times 25 \times 0,6 \right) * 0,16 \approx 0,003\%$$

$$\Delta u(\%)_{total} = 0,53 + 0,008 + 0,003 \approx 0,54\% \Leftrightarrow 0,54\% \leq 3\% \quad \checkmark$$

- Condição de fadiga térmica

$$I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{0,042 * \left(\frac{L_F}{S_F} + \frac{L_N}{S_N} \right) + Z_{transformador}}$$

$$\Leftrightarrow I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * 230}{0,042 * \left(\frac{164}{16} + \frac{164}{16} \right) + (0,04 * \frac{400^2}{630 * 10^3})} \approx 245,9A$$

Seguindo o mesmo raciocínio feito no circuito 1, procedeu-se á intersecção da curva $I_n = 50A$ com o $I_{ccAL}^{min} = 245,9A$, obtendo-se no gráfico um $t_{ap} \approx 3,8s$.

$$t_{FT} = \left(k * \frac{S}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \Leftrightarrow t_{FT} = \left(76 * \frac{16}{245,9} \right)^2 \approx 24,5 s$$

$$\begin{cases} t_{ap} \leq t_{FT} \\ t_{ap} \leq 5s \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 3,8s \leq 24,5s \\ 3,8s \leq 5s \end{cases} \quad \checkmark$$

Verificadas todas as condições, a solução neste circuito passa por alterar a canalização para $LSVAV 4 \times 16mm^2$.

5.3.3.1.3. ANÁLISE DO CIRCUITO 3

O circuito 3 será constituído pelas seguintes cargas:

- 8 × Luminárias de 71W cada;
- 1 × Ecrã interativo de 500W;

Potência total do circuito 3 = 1068W

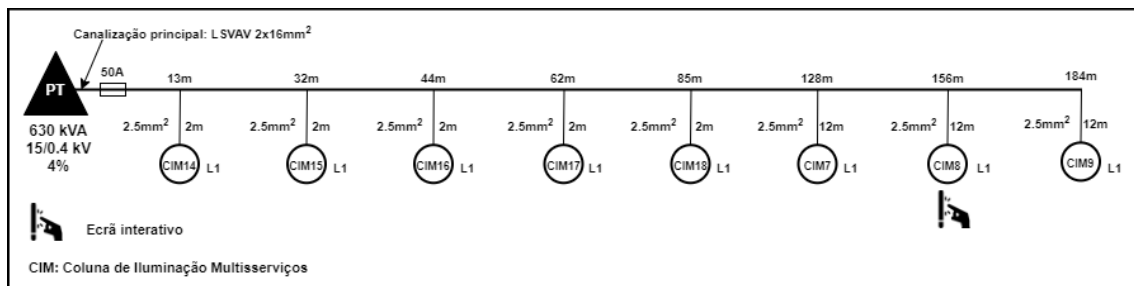


Figura 84: Esquema unifilar do circuito 3

- Corrente de serviço

$$I_s = \frac{(\sum_{j=1}^n S_j)}{U_s} \Leftrightarrow I_s = \frac{(8 \times 71 + 500) W}{230 V} = 5,8 A$$

- Condições de aquecimento e sobrecarga:

Para $I_s = 5,8 A$ resulta que $I_n = 50 A \wedge I_f = 80 A$

Cabo: $LSVAV 2 \times 16mm^2 \Rightarrow I_z = 95A$

$$I_s \leq I_n \leq I_Z \Leftrightarrow 5,8 \leq 50 \leq 95 \text{ A} \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_Z \Leftrightarrow 80 \leq 137,75 \text{ A} \quad \checkmark$$

- Queda de tensão:

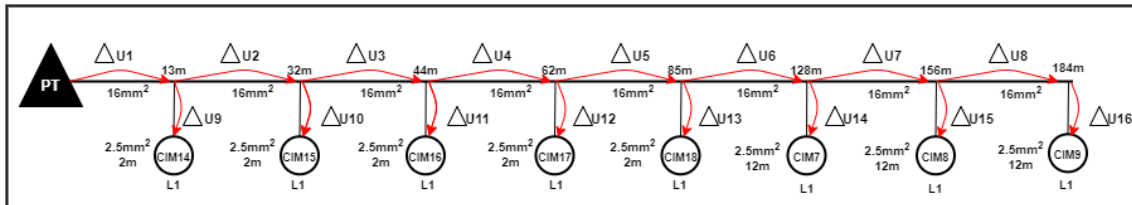


Figura 85: Cálculo da queda de tensão com a canalização existente – circuito 3

$$\Delta u(\%)_{total} = \sum_{j=1}^{16} \Delta u_j$$

Tabela 24: Valores de queda de tensão obtidos na canalização principal (secção 16mm²)

$\Delta u_1(\%)$	$\Delta u_2(\%)$	$\Delta u_3(\%)$	$\Delta u_4(\%)$	$\Delta u_5(\%)$	$\Delta u_6(\%)$	$\Delta u_7(\%)$	$\Delta u_8(\%)$
0,12	0,16	0,096	0,13	0,16	0,27	0,16	0,017

Tabela 25: Valores de queda de tensão obtidos na canalização derivada (secção 2.5mm²)

$\Delta u_9(\%)$	$\Delta u_{10}(\%)$	$\Delta u_{11}(\%)$	$\Delta u_{12}(\%)$	$\Delta u_{13}(\%)$	$\Delta u_{14}(\%)$	$\Delta u_{15}(\%)$	$\Delta u_{16}(\%)$
0,12	0,11	0,10	0,093	0,085	0,46	0,42	0,046

$$\Delta u(\%)_{total} = \sum_{j=1}^{16} \Delta u_j \approx 2,54\% \Leftrightarrow 2,54\% \leq 3\% \quad \checkmark$$

- Condição de fadiga térmica

$$I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * U_s}{0,042 * \left(\frac{L_F}{S_F} + \frac{L_N}{S_N} \right) + Z_{transformador}}$$

$$\Leftrightarrow I_{cc AL}^{min} = \frac{0,95 * 230}{0,042 * \left(\frac{184}{16} + \frac{184}{16} + \frac{12}{2,5} + \frac{12}{2,5} \right) + (0,04 * \frac{400^2}{630 * 10^3})} \approx 156A$$

Seguindo o mesmo raciocínio feito nos circuitos anteriores, procedeu-se á intersecção da curva $I_n = 50A$ com o $I_{ccAL}^{min} = 156A$, obtendo-se no gráfico um $t_{ap} \approx 40s$.

$$t_{FT} = \left(k * \frac{S}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \Leftrightarrow t_{FT} = \left(76 * \frac{16}{156} \right)^2 \approx 61,4s$$

$$\begin{cases} t_{ap} \leq t_{FT} \\ t_{ap} \leq 5s \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 40s \leq 61,4 s \\ 40s \leq 5s \end{cases} \quad \times$$

Dado que esta condição não se verifica, há que baixar o calibre do fusível que protege a canalização, de modo que o tempo de atuação também baixe. Após a análise da curvas de característica corrente/tempo imediatamente abaixo de $I_n < 50A$, o valor que cumpre o $t_{ap} \leq 5s$ é $I_n = 32A$. No entanto, há que verificar primeiro se as condições de aquecimento e sobrecarga são verificadas. A condição queda de tensão não é necessário verificar novamente, pois o valor de I_n não tem interferência no cálculo.

- Condições de aquecimento e sobrecarga com $I_n = 32A$:

$$I_s \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 5,8 \leq 32 \leq 95 A \quad \checkmark$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z \Leftrightarrow 51,2 \leq 137,75 A \quad \checkmark$$

- Condição de fadiga térmica

Seguindo o mesmo raciocínio feito anteriormente nesta condição, obtém-se um $t_{ap} \approx 4s$.

$$\begin{cases} t_{ap} \leq t_{FT} \\ t_{ap} \leq 5s \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 4s \leq 61,4 s \\ 4s \leq 5s \end{cases} \quad \checkmark$$

Verificadas todas as condições, a solução no que diz respeito á alimentação das cargas do circuito 3, passa por alterar o calibre do fusível de facas no QGBT de 50A para 32A, mantendo-se a canalização existente.

5.3.3.1.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A rede de Iluminação Pública (IP) encontrada para a execução deste projeto piloto pode-se dizer que não é vulgar de se encontrar, dado existirem cabos derivados da canalização principal para a alimentação das colunas. Estes tipos de cabos não fazem parte do definido pelo distribuidor (E-REDES) a utilizar-se numa rede de IP. Aliás, numa rede de IP não

há derivações para secções inferiores, ou seja, a canalização que deriva do ponto de distribuição de energia até a última carga do circuito de IP é uniforme, sendo $LSVAV 2 \times 16mm^2$ ou $LSVAV 4 \times 16mm^2$, em caso de rede subterrânea.

Com os resultados obtidos, ficou demonstrado que com uma canalização de $LSVAV 2 \times 16mm^2$, a integração de colunas Iluminação Multisserviços não tem tanta flexibilidade de instalação de equipamentos, comparativamente se a canalização existente for do tipo $LSVAV 4 \times 16mm^2$, como era de se esperar. Como consequência deste efeito, nos circuitos 1 e 2 será necessário efetuar-se a troca de canalização, o que implica a abertura de valas e nova passagem de cablagem, dado que a canalização encontra-se enterrada diretamente no solo. E neste ponto, tocamos num aspeto importante. As cidades não possuem uma infraestrutura base que permita dar resposta a estas exigências. Desta forma, será necessário trazer este tema para discussão, pois há que criar soluções para dar respostas a estas necessidades. Uma solução poderá passar pela criação de uma rede de serviço, que tem como objetivo específico alimentar este tipo de infraestruturas.

Por outro lado, e como ficou evidenciado pelos cálculos realizados, a introdução das colunas de Iluminação Multisserviços na rede de IP estudada, implica alterações nos fusíveis de facas que estão alocados no QGBT, de modo a se fazerem cumprir as condições necessárias para o bom funcionamento dos circuitos. Os fusíveis de facas utilizados pelo distribuidor nas duas saídas de IP possuem um calibre de 50A. Dado que, os tempos de atuação de proteção obtidos não cumpriam os requisitos, foi necessário baixar o calibre dos fusíveis. Desta forma, no circuito 1 será necessário substituir-se o fusível para um calibre de 25A, enquanto no circuito 3 será necessário efetuar-se a troca do fusível para um calibre de 32A.

5.3.4.1. LIGAÇÕES Á TERRA

Em todas as instalações elétricas coloca-se a necessidade e a obrigatoriedade de implementação de sistemas de proteção eficazes, tendo como objetivo a sua exploração em condições de segurança.

As Instalações Elétricas de Baixa Tensão (IEBT), onde se inclui as redes de IP, necessitam de medidas de proteção que devem ser consideradas, nomeadamente, as que

se referem à proteção das pessoas contra contactos (diretos e indiretos), a proteção contra sobreintensidades e, sempre que seja necessário, a proteção contra sobretensões.

De acordo com o guia técnico de ligações á terra da E-REDES (DRE-C11-040/N), a ligação à terra deve ser efetuada em todas as colunas de IP, sendo necessário cumprir as seguintes ligações na rede subterrânea:

- 1) Os eléctrodos de terra terão que ser interligados com o terminal de terra do fuste da coluna de IP, através de cabo VV 1G35mm², com bainha exterior preta e isolamento verde/amarelo.
- 2) Deverá estabelecer-se uma ligação entre o terminal de neutro do quadro de IP instalado dentro do fuste da coluna com o terminal de terra do fuste, através de cabo H07V – R de 16mm² de secção, com isolamento verde/amarelo.
- 3) As armaduras devem ser ligadas à terra (no terminal de terra do fuste da coluna) através de trança de cobre estanhado de 16mm² de secção.

As ligações anteriormente referidas estão representadas na Figura 86.

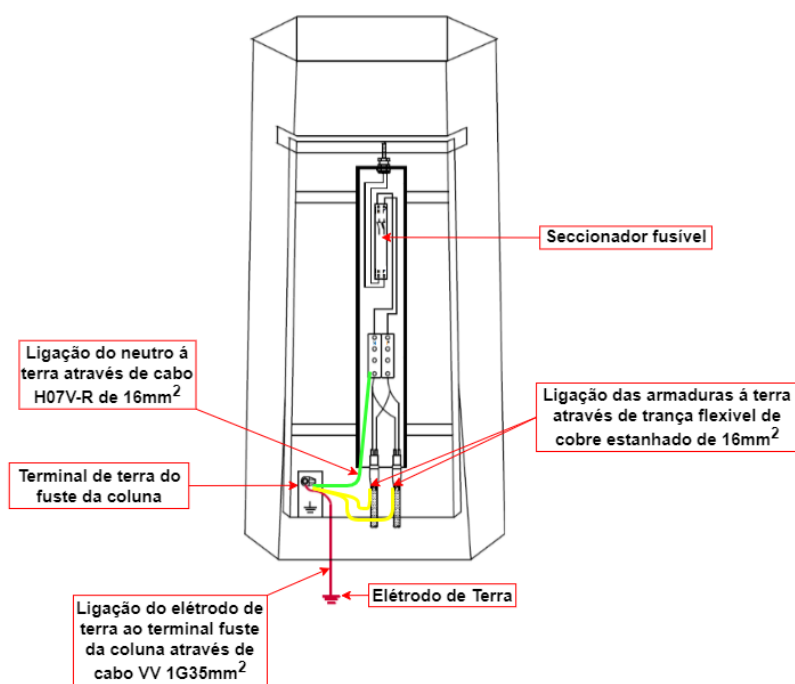


Figura 86: Ligações de terra a efetuar-se numa coluna de IP (apenas função de iluminação)

O tipo de ligação á terra efetuado numa coluna de IP é o esquema TN-C, em que as funções do condutor neutro (condutor N) e do condutor de proteção (condutor PE) estão combinadas num único condutor (condutor PEN) na totalidade do esquema.

No entanto, no caso particular das colunas Iluminação Multisserviços, como estas contêm equipamentos que necessitam de dispositivos diferenciais, nomeadamente os carregadores de veículos elétricos, o tipo de ligação á terra não poderá ser o TN-C, pois neste tipo de esquema de ligação á terra não devem ser utilizados dispositivos diferenciais, segundo estipulado nas RTIEBT.

Sendo assim, o esquema de ligação á terra a efetuar-se numa coluna Iluminação Multisserviços é do tipo TT. Neste tipo de esquema, todas as massas dos equipamentos elétricos protegidos por um mesmo dispositivo de proteção devem ser interligadas por meio de condutores de proteção e ligadas ao mesmo elétrodo de terra.

Neste tipo de esquema, os defeitos entre fase e massa originam a circulação de uma corrente de defeito na malha, que se fecha pela terra. A impedância da malha de defeito originada será alta, mas em contrapartida, a corrente de defeito irá ser muito baixa, daí a necessidade de dispositivos diferenciais neste tipo de esquema para detetar as baixas correntes de defeito. As ligações á terra a efetuar-se numa coluna de Iluminação Multisserviços estão representadas na Figura 87.

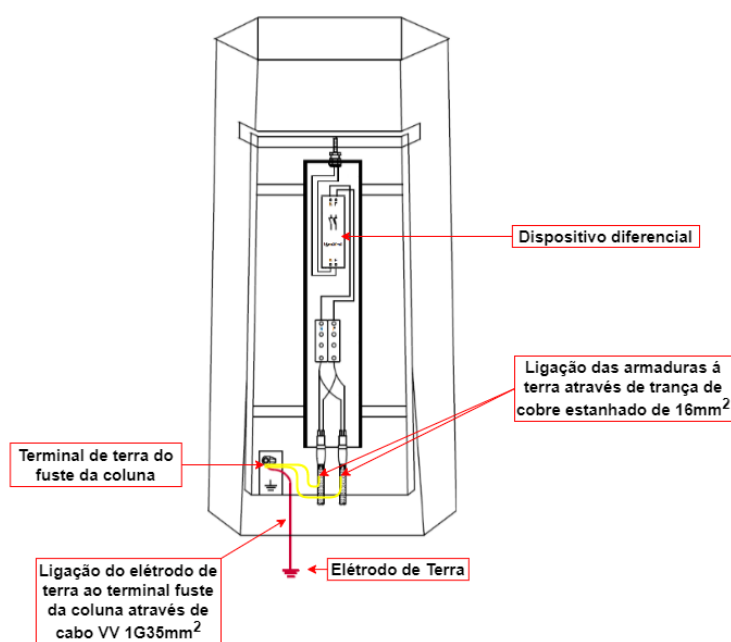


Figura 87: Ligações de terra a efetuar-se numa coluna Iluminação Multisserviços

5.3.5.1. ESQUEMAS UNIFILARES DOS QUADROS ELÉTRICOS

As colunas de Iluminação Multisserviços que terão apenas a função de iluminação, nomeadamente, as colunas nº 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11 e 13, serão constituídas pela configuração base do quadro elétrico. As Figuras 88 e 89 representam os respetivos esquemas unifilares destas colunas, sendo que estes diferem apenas na canalização de entrada. Isto porque, as colunas nº 2, 3, 4, 6, 10, 11 e 13 pertencem aos circuitos 1 e 2, sendo estes circuitos alvo de intervenção para substituição da canalização. Enquanto as colunas nº7 e 9 pertencem ao circuito 3 e neste a canalização não necessita de ser substituída.

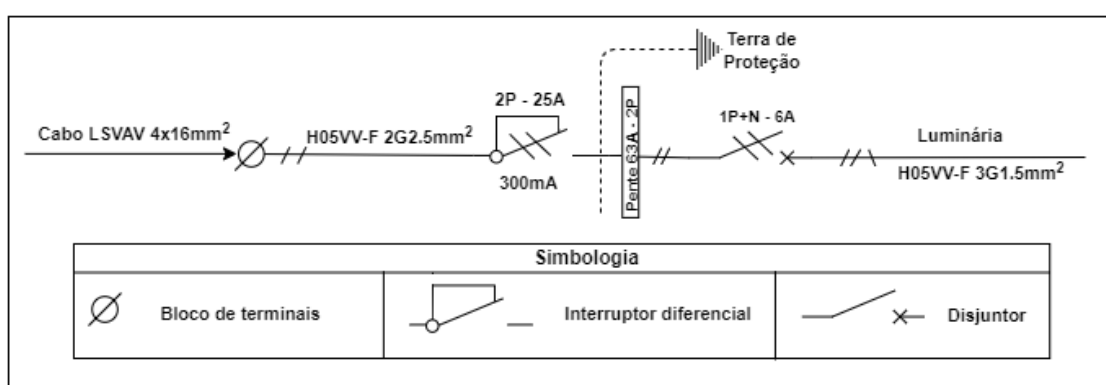


Figura 88: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às colunas de Iluminação Multisserviços nº2, 3, 4, 6, 10, 11 e 13

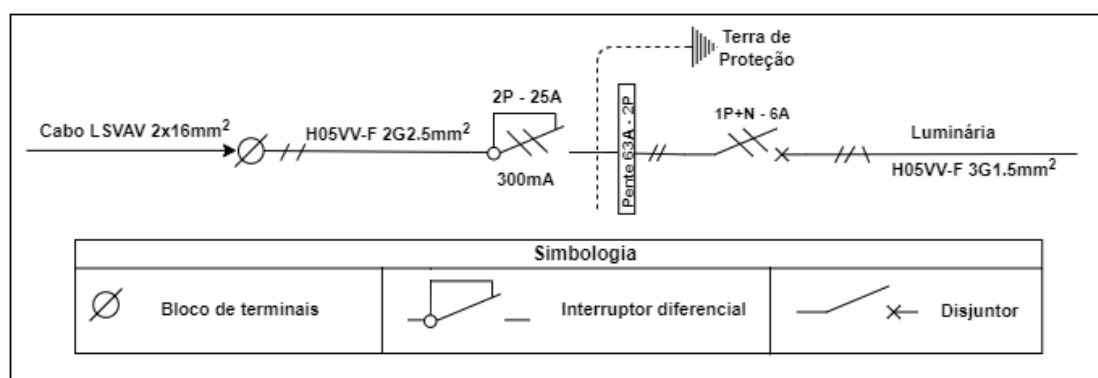


Figura 89: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às colunas de Iluminação Multisserviços nº7 e 9

As colunas nº1 e 12 terão a mesma constituição, ou seja, um carregador de veículos elétricos de 3,7kW, uma luminária de 71W e o sistema de telemetria em cada coluna. A

Figura 90 representa o respetivo esquema unifilar do quadro elétrico a implementar em cada uma dessas colunas.

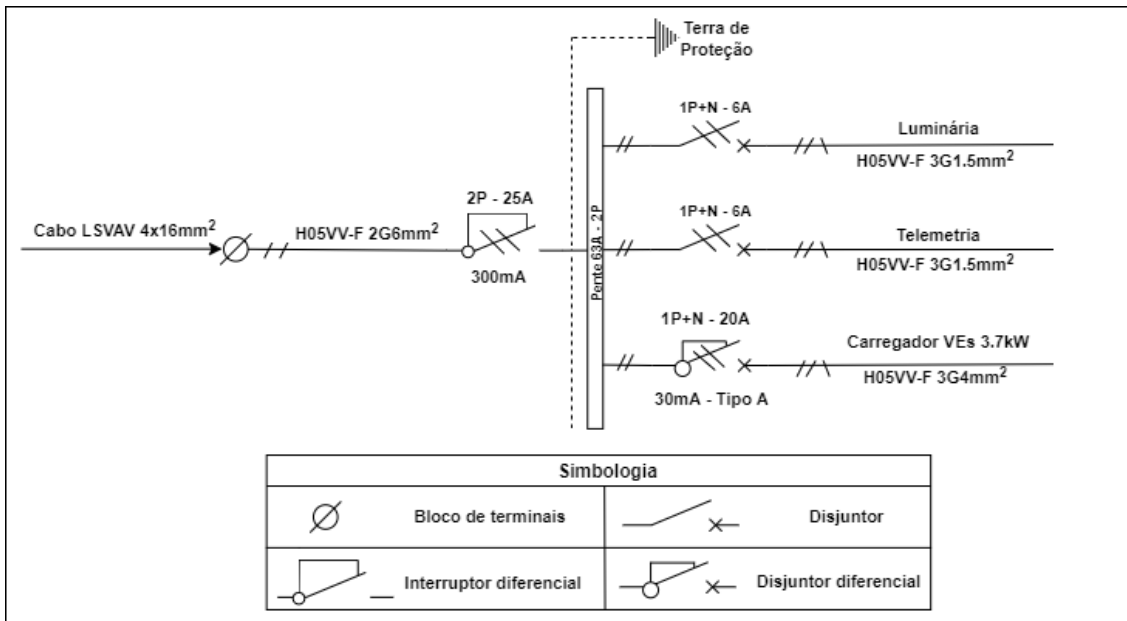


Figura 90: Esquema unifilar do quadro elétrico referente às coluna de Iluminação Multisserviços nº 1 e 12

A coluna nº 5 será constituída pela luminária, pelo ponto de acesso *Wi-Fi* e pela telemetria, estando representado na Figura 91 o respetivo esquema unifilar do quadro elétrico.

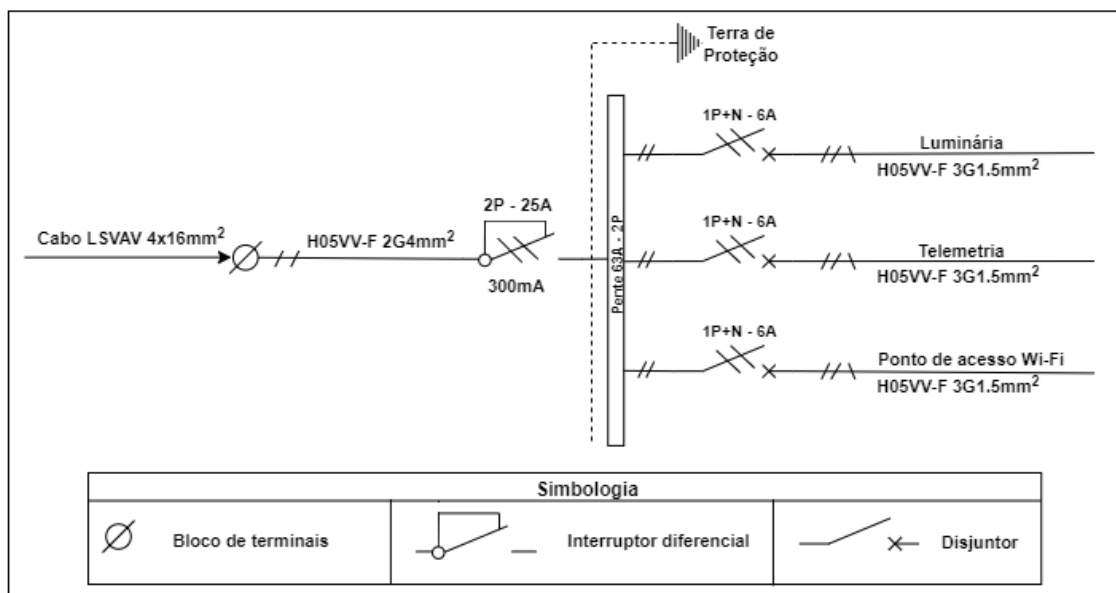


Figura 91: Esquema unifilar do quadro elétrico referente á coluna de Iluminação Multisserviços nº 5

Por último, a Figura 92 representa o esquema unifilar da coluna de Iluminação Multisserviços nº 8, sendo esta constituída pela luminária, ecrã interativo e telemetria.

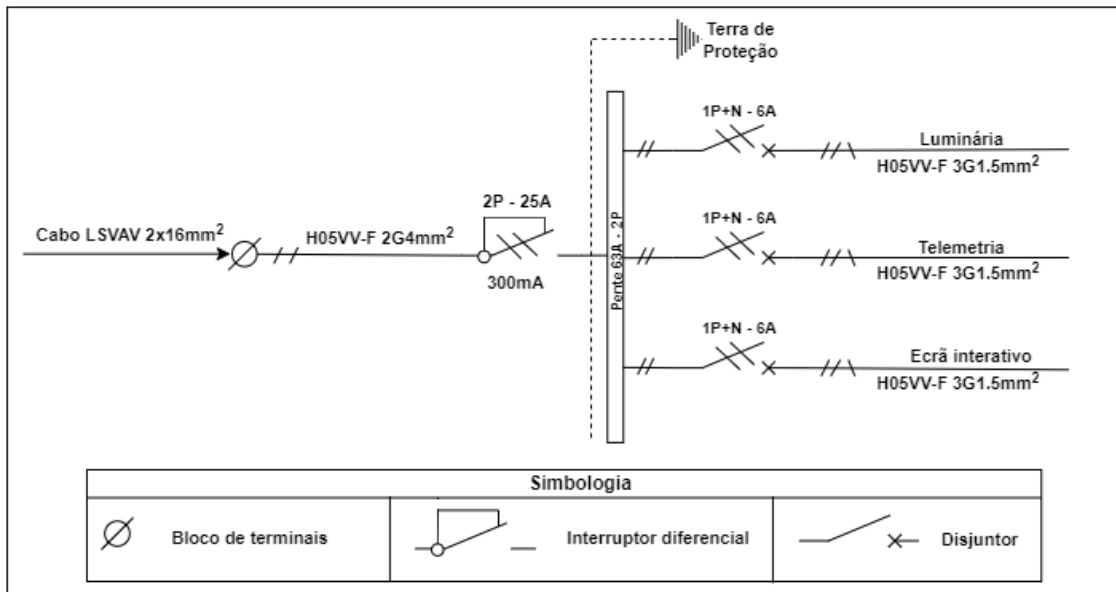


Figura 92: Esquema unifilar do quadro elétrico referente á coluna de Iluminação Multisserviços nº 8

5.3.4. IMPACTOS

O conceito de coluna de Iluminação Multisserviços apresentado ao longo deste trabalho, apresenta um conjunto de dificuldades e entraves à sua adoção e implementação na rede de IP. Isto porque, como se sabe, a rede de IP não foi pensada para tal, obrigando a certas alterações a nível operacional e regulatório. No entanto, é possível este conceito vingar, nomeadamente, se a infraestrutura base for pensada para tal. No caso de a rede de IP já existir, a sua implementação depende muito da canalização existente, se monofásica ou trifásica, pois como visto no capítulo 5.3.3.1. Cálculos este é um fator que tem impacto direto se for necessário implementar equipamentos com cargas elevadas.

Este capítulo tem então como propósito expor essas mesmas dificuldades e alterações necessárias a efetuar-se, estando dividido em duas secções. A primeira secção aborda os impactos regulamentares e a segunda secção aborda os operacionais.

5.3.4.1. REGULAMENTARES

Utilização do interior

A coluna de Iluminação Multisserviços implica a instalação de equipamentos ligados às áreas das telecomunicações, energia e *IoT* no seu interior. Mas, como se sabe, o único equipamento possível, em vigor, de se instalar no interior de uma coluna é o quadro elétrico. No entanto, é frequente vermos equipamentos de telecomunicações pendurados em postes de Iluminação Pública, como por exemplo, Pontos de Distribuição Óticos (PDOs), num modelo normalmente designado por *retrofit*. O que, apesar de ser aceite em termos regulatórios, peca pela falta de análise estrutural das colunas. Ou seja, o quadro regulatório é incompleto, sendo extremamente rigoroso no que diz respeito à utilização do interior, e excessivamente displicente no que diz respeito à integridade da infraestrutura, permitindo o *retrofit* de forma descontrolada.

Existem ainda limitações quanto à utilização do espaço interior da coluna, que limitam certos equipamentos na sua implementação, no entanto, como ficou demonstrado no capítulo 4. Proposta de Solução, já existem diversos equipamentos passíveis de implementação no interior da coluna de Iluminação Multisserviços. Espera-se que, com o avanço da tecnologia, a oferta de equipamentos exequíveis de agregar no interior da coluna aumente, pois, a tendência é que sejam cada vez mais reduzidos.

Quantos ramais? 1 para IP + 1 multisserviços?

A instalação de diversos equipamentos numa coluna de iluminação levanta outra questão. Se, atualmente, o ramal é exclusivamente dedicado à Iluminação Pública, o seu uso para outros fins não é permitido. Logo é necessário definir se será necessário instalar um novo ramal para os outros serviços ou se é possível usar o ramal da IP.

Claro que é mais vantajoso de se utilizar e aproveitar o ramal da IP existente, pois a infraestrutura base já existe, não sendo necessário a abertura de valas e passagens de novas canalizações. No entanto, existe a limitação da secção a utilizar-se numa rede de IP, sendo este um outro ponto crucial. Será então necessário alargar o espectro de canalizações possíveis a utilizar-se numa rede de IP subterrânea (preferencialmente trifásicas), de forma a poder-se colocar equipamentos com maior potência nas colunas, como o caso dos carregadores de veículos elétricos até $2 \times 22kW$, pois, atualmente,

apenas é permitido o uso de cabos *LSVAV* $2 \times 16\text{mm}^2$ ou *LSVAV* $4 \times 16\text{mm}^2$ na rede subterrânea de IP. A solução passa, por dispor de novas canalizações por parte do distribuidor (que já são utilizadas na rede de BT), como por exemplo, *LSVAV* $4 \times 35\text{mm}^2$.

Por outro lado, a solução pode passar pela criação de um ramal dedicado apenas para multisserviços, denominado, por exemplo, de rede de serviços. O Reino Unido apostou na criação de uma rede de Baixa Tensão (BT) para serviços municipais, o que permite às *Smart Cities* crescerem sem as limitações da rede de IP. Ou seja, a aposta é a criação de uma rede que não afeta o serviço universal de IP, nem tem impacto na rede comercial de BT, dando total liberdade às cidades para crescerem. Desta forma, será necessário uma abertura do regulador para a entrada destes ramais para uso de multisserviços.

Tarifas e consumos de eletricidade

Em relação á tarifa, como se sabe, a energia da rede de IP é subsidiada, tendo uma tarifa especial. Desta forma, levanta-se a questão de como definir as tarifas para cada um dos serviços. Uma solução pode passar por se aplicarem múltiplas tarifas para o mesmo ramal, ou por identificar claramente os consumos, o que, atualmente, é relativamente fácil. Este ponto pode ser combatido desta forma:

- Iluminação Pública – obtém-se o consumo via telegestão, o que implica a modernização das luminárias para *LED*;
- Mobilidade elétrica – obtém-se o consumo via *Mobi-e*. Nesta solução, deve ser previsto que em espaço público, o titular do contrato de fornecimento de energia possa ser outra entidade que não o Operador de Pontos de Carregamento (OPC).
- Restantes equipamentos – o consumo será baseado na potência instalada.

Certificações

Há que garantir que todas as entidades que pretendam instalar equipamentos nas colunas possuam todas as certificações inerentes ao seu sector de atividade que laboram. A título de exemplo, na mobilidade elétrica, há que garantir que são cumpridos todos os requisitos do Regulamento de Mobilidade Elétrica, nomeadamente os dispositivos diferenciais serem do tipo B nas alimentações trifásicas.

5.3.4.2. OPERACIONAIS

Disponibilidade da canalização

Um dos aspetos essenciais para que este conceito seja bem-sucedido, é que a canalização esteja energizada permanentemente. Esta alteração tem impacto na Iluminação Pública (IP), uma vez que as cargas associadas á IP apenas estão ligadas mais no período noturno, daí estas deterem dispositivos definidos para controlar a rede de IP neste intervalo, tais como os relógios astronómicos e fotocélulas. Com a implementação de colunas de Iluminação Multisserviços, os circuitos de IP não necessitam de ser controlados energeticamente num período específico, pois o ramal passa a estar permanentemente energizado.

Sendo assim, será necessário, como referido anteriormente, que as luminárias tenham telegestão, não só para ligar e desligar, mas também para controlo do consumo energético. Por exemplo, no caso de estudo abordado neste trabalho, o circuito 3 possui uma zona que não será alvo de substituição de colunas (colunas nº14 a nº18) e outra zona que será alvo substituição de colunas (colunas nº7 a nº9). No entanto, como a coluna nº8 será constituída por um equipamento que obriga a que haja energia permanentemente na canalização, implica que todas as luminárias alocadas a este circuito sejam alteradas para *LED*.

Canalização existente

No caso de implementação de colunas de Iluminação Multisserviços em redes de IP existentes, é essencial perceber se a canalização existente cumpre as condições estipuladas para o bom funcionamento do circuito, em função das cargas que se pretende colocar. Como referido no tópico “Quantos ramais? 1 para IP + 1 multisserviços?”, é necessário rever as canalizações possíveis de se utilizar numa rede de IP, de forma, por exemplo, a poder-se instalar pontos de carregamento de VEs com potências mais elevadas.

Custos de alteração de IP para IP Multisserviços

Outro aspeto importante a destacar são os custos que acarretam a implementação deste tipo de colunas numa rede de IP existente e quem os suporta. Isto porque, como visto no capítulo dos cálculos, as canalizações do circuito 1 e 2 terão de ser substituídas, de forma

a ser possível instalar os equipamentos pretendidos. Neste caso, dado que as canalizações se encontram enterradas diretamente no solo e não entubadas, a alteração de canalizações implica a abertura de valas de longas distâncias. A questão que se coloca é: quem paga estes custos? O distribuidor de energia? As Camaras Municipais? Ou por parte de um investidor? Este é um aspeto impeditivo, tendo impacto direto na implementação das colunas de Iluminação Multisserviços em redes existentes.

Eletrificação do Quadro Geral em Baixa Tensão (QGBT)

Como referido no capítulo 2, o elemento de distribuição de energia dos circuitos em Baixa Tensão (BT) é o QGBT, onde para além das várias saídas que este dispõe, estão alocados os circuitos de comando e de potência afetos à Iluminação Pública (IP).

A Figura 93 representa o esquema elétrico do circuito de IP no QGBT R630 CIP, sendo esta configuração extensível aos restantes QGBTs instalados noutra tipo de potências de PTs.

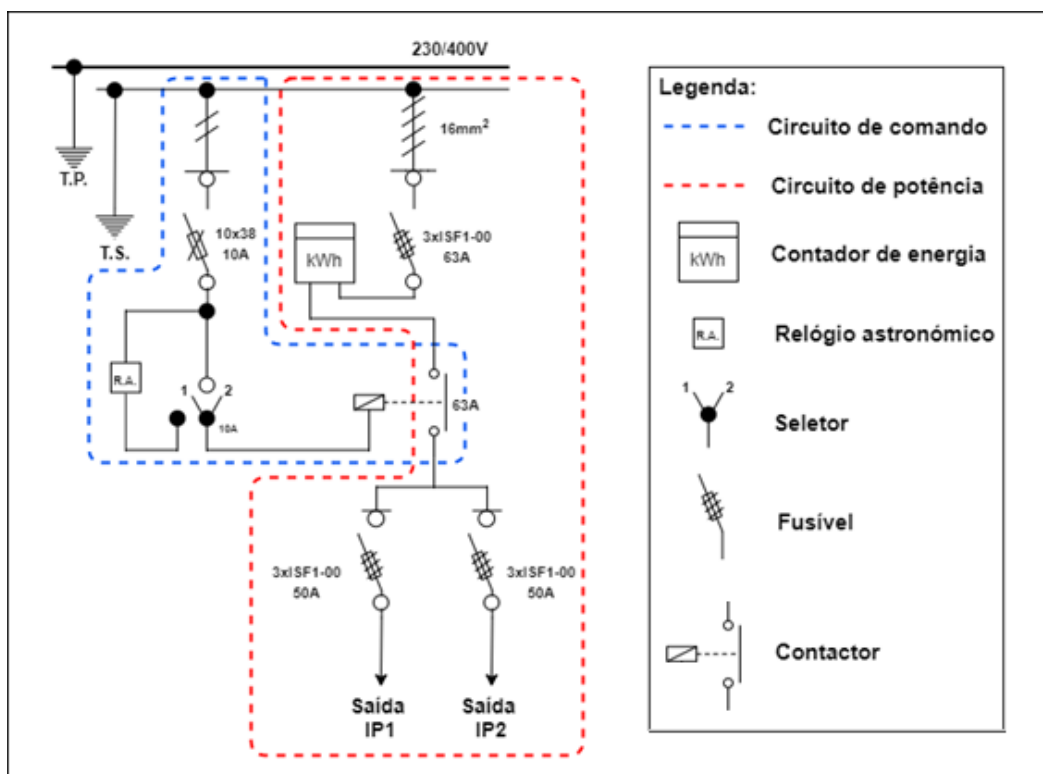


Figura 93: Circuitos de comando e potência da rede de IP alocados no QGBT R630 CIP

A introdução de colunas de Iluminação Multisserviços implica a revisão de certos aspetos de eletrificação no QGBT, nomeadamente:

- **Elementos constituintes do circuito de comando**

Como o nome indica, este circuito controla a abertura e fecho das saídas de IP. Dado que a rede de IP necessita de estar permanentemente energizada, não sendo preciso o controlo num horário definido, o dispositivo controlador (relógio astronómico ou fotocélula) passa a ser um elemento desnecessário no circuito de comando, ou seja, este equipamento terá que ser desligado ou removido do circuito de comando.

- **Canalização que deriva do barramento ($4 \times 16mm^2$)**

A canalização atual poderá ser insuficiente se for necessário potências mais elevadas para os circuitos. Sendo assim, poderá ser essenciais secções superiores, como por exemplo: $4 \times 35mm^2$.

- **Seletividade das proteções**

A rede de IP está limitada a 63A sendo que, posteriormente, divide-se em 2 circuitos, limitados a 50A cada um. Neste caso, estamos perante uma seletividade parcial, pois se cada circuito de IP estiver a consumir, por exemplo 40A, a proteção a montante entra em sobrecarga, interrompendo o fornecimento de energia, o que não convém acontecer numa rede de IP Multisserviços. Desta forma, há que garantir uma seletividade total no circuito de potência. Para se satisfazer a seletividade total, propõe-se que os fusíveis associados às 2 saídas de IP Multisserviços sejam abaixo de 32A, de modo a manter o fusível a montante (63A) ou então subir o calibre deste fusível, por exemplo, para 100A e manter os fusíveis associados às saídas de IP Multisserviços (50A). No entanto, ao subir o calibre do fusível a montante, implica que a secção também necessite de subir. Neste caso, o contador de energia terá de ser substituído por um contador cuja leitura é feita por Transformadores de Intensidade (TI), isto porque o contador de energia instalado está limitado a bornes de aperto até $16mm^2$ de secção.

De forma a ter o menos impacto possível no QGBT e garantir a seletividade total, a melhor opção será reduzir o calibre dos fusíveis alocados nos circuitos das 2 saídas de IP Multisserviços. Mas claro, depende de como se encontra a rede e do que se pretende

instalar. Até porque, como visto no capítulo dos cálculos, irá ser necessário reduzir o calibre dos 50A nos circuitos 1 e 3, para 25A e 32A, respetivamente.

A Tabela 26 sintetiza os aspetos elencados ao longo deste capítulo.

Tabela 26: Síntese dos impactos regulamentares e operacionais de introdução de colunas de Iluminação Multisserviços numa rede de IP

Tema	Capítulo	Subcapítulo
Impactos	Regulamentares	Utilização do interior
		Quantos ramais? 1 para IP + 1 multisserviços?
		Tarifas e consumos de eletricidade
		Certificações
	Operacionais	Disponibilidade da canalização
		Canalização existente
		Custos de alteração de IP para IP Multisserviços
		Eletrificação do Quadro Geral em Baixa Tensão (QGBT)

Os aspetos anteriormente destacados focam-se na implementação de colunas de Iluminação Multisserviços de âmbito público, daí acarretar um maior número de dificuldades, porque envolve um maior número de entidades. Se a implementação de colunas de Iluminação Multisserviços ocorrer em âmbito privado, maior parte destes aspetos não se colocam, tornando o processo muito mais simples.

6. CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

O trabalho desenvolvido presente neste documento teve como objetivo mostrar que a rede de Iluminação Pública (IP) pode ser a infraestrutura base para modernização e desenvolvimento das *Smart Cities*, no entanto, há que ter presente que há vários aspetos que necessitam de ser revistos.

Pelos cálculos obtidos nos circuito 1, 2 e 3 do caso de estudo, ficou evidenciado que a introdução de colunas Iluminação Multisserviços (IM) em redes públicas existentes gera impactos deste o ponto de distribuição de energia até ao último ponto de carga do circuito, podendo-se destacar dois fatores cruciais.

O primeiro fator identificado está relacionado com canalização existente. Por um lado, as canalizações dos circuitos de Iluminação Pública (IP) têm tendência a serem extensas, o que implica quedas de tensões maiores e, conseqüentemente, a necessidade de subir a secção de cabo de modo a cumprir os valores de queda de tensão estipulados, daí ser fundamental o distribuidor permitir utilizar secções de canalizações superiores face às permitidas atualmente. Por outro lado, muitas das canalizações encontradas na rede de IP, como visto pelo caso de estudo, são monofásicas, o que não permite o desfasamento de fases, comparativamente a uma canalização trifásica. Estes aspetos, fazem com que nos circuitos 1 e 2, haja a necessidade de se efetuar a troca de canalizações. Este é um aspeto impeditivo da implementação das colunas de IM, pois a substituição de canalizações (quando enterradas diretamente no solo) implica a abertura de valas e, conseqüentemente, esforço monetário e operacional sobre as cidades.

Um segundo fator identificado são as alterações a efetuar-se no ponto de distribuição de energia, o Posto de Transformação (PT), onde está alocado o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT). Neste será necessário efetuar-se alterações, nomeadamente no calibre dos fusíveis de facas, de forma a cumprir-se a seletividade total e as condições de proteção

dos circuitos. Por outro lado, é necessário retirar os dispositivos de controlo dos circuitos de IP, uma vez que as canalizações necessitam de estar energizadas permanentemente.

Da análise efetuada aos aspetos elencados no impactos regulamentares e operacionais, pode-se concluir que as dificuldades identificadas dependem das várias entidades que operam e gerem os setores das energias e das telecomunicações, nomeadamente, E-REDES, DGEG, ERSE, ANACOM e Governo. Para que seja possível mitigar a implementação deste tipo de infraestrutura em âmbito público, estas entidades têm que reunir esforços para definir as alterações necessárias a efetuar-se se, efetivamente, queremos tornar as cidades inteligentes, sustentáveis e de encontro às necessidades dos cidadãos.

Como forma de contornar os impactos gerados na infraestrutura da rede de Iluminação Pública (IP) com a introdução de colunas de Iluminação Multisserviços, uma solução pode passar pela criação de uma rede de serviço, paralela às redes de IP e BT, tendo como propósito dar suporte a este tipo de infraestrutura multisserviços. Ou seja, a aposta pode passar pela criação de uma rede que não afeta o serviço de IP, nem tem impacto na rede comercial de BT, permitindo assim que as cidades cresçam sem constrangimentos.

6.2. PERSPETIVAS FUTURAS

O presente trabalho apresenta alguns pontos que, num futuro breve, podem ser alvo de nova abordagem se, efetivamente, queremos tornar as *Smart Cities* uma realidade.

Um dos pontos que podem ser explorado são os equipamentos que a coluna incorpora, com o desenvolvimento de novos equipamentos ou otimização dos mesmos, como por exemplo, desenvolvimento de use cases para as câmaras CCTV ou então o desenvolvimento de carregadores de veículos elétricos.

Outro aspeto a ser explorado, poderá ser o desenvolvimento de legislação e normas, de forma a conjugar a necessidade entre vários serviços e entidades num mesmo enclosure, neste caso a coluna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Iluminação Pública – Um instrumento de Cidadania.” E-REDES. [Online] Disponível em: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/historias/iluminacao-publica-um-instrumento-de-cidadania>.
- [2] “History of Lighting. History of street lighting”. [Online] Disponível em: <http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-street-lighting/>.
- [3] N. Ferreira, “A Terra vista à noite do espaço é um mundo de luz e escuridão” Jornal Público, 06 Dezembro 2012. [Online] Disponível em: <https://www.publico.pt/2012/12/06/ciencia/noticia/a-terra-vista-a-noite-do-espaco-e-um-mundo-de-luz-e-escuridao-1576406>
- [4] E-REDES – “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público - Guia técnico e logístico de boas práticas”. Outubro 2018 - 9ª edição.
- [5] Diário da República Eletrónico – “Regulamento de Segurança de Subestações, Postos de Transformação e de Seccionamento”. [Online] Disponível em: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/282328/details/normal?q=42895>
- [6] “Aparelhos de corte no ar – Interruptor/seccionador” ISO-SIGMA. [Online] Disponível em: <https://www.iso-sigma.pt/media-tensao/aparelhagem-corte-no-ar-utilizacao-exterior>
- [7] E-REDES, DMA-C62-813/N: “Materiais para derivações e entradas BT - Quadro geral de baixa tensão R630 CIP.” Junho 2018
- [8] H. Silva, “Projeto de postos de transformação: Postos Aéreos.” Revista técnico-profissional: O Eletricista. [Online] Disponível em: https://www.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/fields/attachment_file/pt/others/M/2009051478156577ctosdePT1ParteOE25.pdf.pdf
- [9] H. Silva, “Projeto de postos de transformação: Postos em cabine.” Revista técnico-profissional: O Eletricista. [Online] Disponível em: https://www.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/fields/attachment_file/pt/others/7/200905142618162ParteOE26pag123-127.pdf.pdf
- [10] E-REDES, DMA-C33-209N: “Condutores isolados e seus acessórios para redes - Cabos em torçada para linhas aéreas de baixa tensão”. Setembro 2008

[11] EE Publishers - Technology & business or development. “Surge protection concept for LED street lights”. [Online] Disponível em: <http://www.ee.co.za/article/surge-protection-concept-led-street-lights.html>

[12] E-REDES, “Manual de Iluminação Pública”. Outubro 2016

[13] Metalgalva, “Iluminação Pública”. [Online] Disponível em: <https://metalgalva.pt/produtos/iluminacao-publica/>

[14] Diário da República Eletrónico, Portaria n.º 454/2001, de 5 de maio. “Regras a que devem obedecer os contratos de concessão de distribuição de energia elétrica em baixa tensão.”

[15] Diária da República Eletrónico, Decreto-Lei n.º 344-B/82. “Princípios gerais a que devem obedecer os contratos de concessão a favor da EDP, quando a exploração não é feita pelos municípios.”

[16] CEN - Norma Europeia EN 13201: “Road Lighting. European Committee for Standardization.” 2003.

[17] DREEIP, “Eficiência Energética na Iluminação Pública.” – Parte II – Projeto de Iluminação Pública. 2ª Edição 2018

[18] DREEIP, “Eficiência Energética na Iluminação Pública.” Parte I – Conceitos de Luminotecnia. 2ª Edição 2018

[19] J. Francisco, “Eficiência Energética na Rede de Iluminação Pública” IPL (julho 2015)

[20] B. Filipe, “Sistemas de Iluminação Eficiente para Autoestradas: Estudo Técnico-Económico.” ISEP (novembro 2019)

[21] P.S. Caçote, “Impacto da Utilização de Dispositivos de Iluminação Pública de Baixo Consumo Energético.” ISEP (outubro 2015)

[22] Luminária LUSA (Soneres). [Online] Disponível em: https://www.soneres.pt/pt/produtos.1/viaria.5/lusa_a113.html

[23] R. F. Brandão, “Eficiência energética na iluminação pública,” Neutro à Terra, pp. 55-60. (dezembro 2013)

[24] JOBASI, Arrancadores para luminárias de Iluminação Pública. [Online] Disponível em: <https://jobasi-sa.com/produtos/reatancia-condensador-arrancador>

- [25] A importância dos drivers na iluminação LED. [Online] Disponível em: <https://www.dicasled.pt/a-importancia-dos-drivers-na-iluminacao-led/>
- [26] ORBIS – Energia Inteligente, Relógio Astronómico. [Online] Disponível em: <https://ael.com.pt/catalogos/orbis.pdf>
- [27] EasyWatt, “Iluminação pública inteligente”. [Online] Disponível em: <https://www.easywatt.com.br/iluminacao/iluminacao-inteligente>
- [28] DGEG "Guia Técnico das Instalações Elétricas para a Alimentação de Veículos Elétricos". Comissão Técnica de Normalização Eletrotécnica - CTE 64, Versão 2.0: 2017-09-19.
- [29] D. Silva, “Soluções IMS para Aprovisionamento de Serviços de Telecomunicações em Ambientes AD HOC”. ISCTE - IUL (2018)
- [30] ANACOM, “O que são redes de comunicações eletrónicas?” [Online] Disponível em: <https://anacom.pt/render.jsp?contentId=999798>
- [31] N. Pardal, “Sistema de Monitorização Biométrica e de Assistência Médica 4G” ISCTE-IUL (2017)
- [32] M. Gonçalves, “Estudo de Implementação Rádio para Comunicações V2X” , ISCTE-IUL (2018)
- [33] I. B. F. de Almeida, L. L. Mendes, J. J. P. C. Rodrigues, and M. A. A. da Cruz, “5G Waveforms for IoT Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2554–2567, 2019.
- [34] Correio dos Açores, “ Da primeira à quinta geração das redes de comunicação móveis” (2020) [Online] Disponível em: <http://correiodosacores.pt/NewsDetail/ArtMID/383/ArticleID/23401/Da-primeira-224-quinta-gera231227o-das-redes-de-comunica231227o-m243veis>
- [35] R. Romero, “ An Exploratory Research on the Impact of IoT and 5G Technology in the Climate Policymaking Process” , ISCTE 2020
- [36] A. Marques “ Transmission of 5G signals in multicore fibers impaired by inter-core crosstalk” ISCTE 2018
- [37] “Types of Cell Sites | Steel in the Air.” [Online]. Disponível em: <http://www.steelintheair.com/cell-site-types/>
- [38] Reddaiah B., Rao K.S., Kumar B.S. (2020) A Novel Approach on the Role of Femto Small Cells for Effective Energy Consumption in 5G Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 37. pp. 333-344 Springer, Singapore.

- [39] M. U. Iqbal, E. A. Ansari, and S. Akhtar, “Interference Mitigation in HetNets to Improve the QoS Using Q-Learning,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32405–32424, 2021.
- [40] S. C. Ferreira, “Antenas de Rádio Frequência para o VORSat.” FEUP, 2012.
- [41] M. J. Martins and I. V. Neves, *Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas*. LIDEL, 2015.
- [42] C. Oliveira, C. Fernandes, G. Carpinteiro, L. Correia, and A. R. Pais, “ABC das Ondas ElectroMagnéticas,” p. 1-13. Instituto de Telecomunicações.
- [43] P.M. Marques, “Antenas de comunicações UAV’s”. ITL, 2016.
- [44] V. Beal, “WiFi Definition & Meaning” [Online]. Disponível em: http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi_Fi.html (2021)
- [45] N.J. Barbosa, “Algoritmos criptográficos e o seu desempenho no Arduino.” ISEP, 2017
- [46] B. Alex “O que é access point?” [Online]. Disponível em: <https://www.palpitedigital.com/o-que-e-access-point/>
- [47] J.A. Monteiro, “Sensores de Fibra Ótica Baseados em Novos Materiais Flexíveis.” UMinho, 2013.
- [48] C. S. Colaço, “Projeto e implementação de uma fonte de alta tensão para produção de descargas elétricas.” ISEP, 2015.
- [49] R. Carlos, “Monitorização de estruturas de Engenharia Civil apoiada em soluções de fibra ótica”, Tese de Doutoramento, FEUP, 2011.
- [50] J. J. Pires, “Sistemas e redes de telecomunicações,” IST (2006).
- [51] E.S. Nunes, “Projeto de Redes de Fibra Ótica.” IPL, 2016.
- [52] A. S. Gillis, “IoT Analysis Guide,” 2020. [Online]. Disponível em: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [53] N. Galov, “How Many IoT Devices Are There in 2021?” 2021. [Online]. Disponível em: <https://techjury.net/blog/how-many-iot-devices-are-there/#gref>
- [54] D.F. Vigo, “Real Time Integrated Risk Assessment - Utilização de tecnologias IoT e análise preditiva para prevenir acidentes de trabalho.”, ISEP, 2019.
- [55] P. Gulia and A. Chahal, “Big Data Analytics For IoT.” *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. Volume 11, Issue 6, June 2020, pp. 593-603
- [56] B.G. Furtado, “Logística GPL: O Projeto da Telemetria na Distribuição da Granel da Galp.”, ISCTE, 2013.

[57] M.A. Cunha, “Telemetria Autônoma sem Fios.” UMINHO, 2014.

[58] Catálogo Antenas Huber&Suhner. [Online]. Disponível em: <https://literature.hubersuhner.com/Technologies/Radiofrequency/antennas/?page=104>

[59] OIZOM, Product Manual. [Online] Disponível em: <https://oizom.com/>

[60] BOSCH, “Camera Trainer with FW 7.10 and CM 6.20”. [Online] Disponível em: https://resources-boschsecurity.cdn.azureedge.net/public/documents/TN_VCA_Camera_Traine_WhitePaper_enUS_70505162123.pdf

[61] RNAE, “Eficiência Energética na Iluminação Pública.” Documento de Referência, Janeiro de 2011.