

RAPHAEL DA CUNHA MARINHO JÓRIO DOS SANTOS

PROJETOS DE REDES BT E MT



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2022

RAPHAEL DA CUNHA MARINHO JÓRIO DOS SANTOS

PROJETOS DE REDES BT E MT

**Mestrado em Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores
Especialidade em Sistema de
Energia e Controlo**

Trabalho efetuado sob a orientação
de: Professor Doutor Luís Oliveira



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2022

PROJETOS DE REDES BT E MT

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referência incluída.

(Raphael da Cunha Marinho Jório dos Santos)

Copyright © 2022 por Raphael da Cunha Marinho Jório dos Santos

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Agradecimentos

Aos meus pais, Leila Jório e Marcus Jório, ao meu irmão, Marcus Jório F. e a minha namorada Isabelle, por me apoiarem e ajudarem de todas as formas que puderam desde o início do curso até o final.

Ao professor Luís Oliveira, orientador académico, pelo apoio, aconselhamento e acompanhamento.

Aos colaboradores da CME e da E-Redes, pelo acompanhamento, apoio, transmissão de conhecimento, amizade, e aconselhamento profissional e pessoal.

Ao Instituto Superior de Energia da Universidade do Algarve, pela opção de escolha de estágio, que dá aos alunos uma visão do mundo de trabalho e os encaminha a nível profissional.

Um muito obrigado a todos que me proporcionaram, de alguma forma, ajuda para atingir esta importante meta.

Resumo

A eletricidade percorre um sistema complexo, que pode ser, geralmente, resumido em quatro etapas: geração, transmissão/transporte, distribuição e consumo.

As Redes de Média Tensão e de Baixa Tensão fazem parte da distribuição de energia elétrica. A distribuição é a etapa final do fornecimento de energia elétrica ao consumidor.

A iluminação pública, alimentada em Baixa Tensão, está diretamente ligada ao conforto e segurança das pessoas. Os principais propósitos de uma boa iluminação são garantir a boa visibilidade dos trajetos e obstáculos a percorrer, prevenção de criminalidade e decoração.

Este relatório tem como finalidade descrever as principais atividades realizadas no estágio, que se encontram maioritariamente associadas à área de projeto de redes de baixa e média tensão.

A análise das condições técnicas de ligação de instalações elétricas à rede foi uma das atividades realizadas durante o estágio. Neste contexto são apresentados os procedimentos, ferramentas computacionais e regulamentação, aplicados a um caso prático, necessários à realização destes estudos.

Foram também analisados projetos de infraestruturas elétricas de serviço público e projetos redes de média tensão. São apresentados casos práticos para exemplificar os procedimentos para a realização destas tarefas.

Foi ainda efetuado um projeto de iluminação exterior para o Campus da Penha da Universidade do Algarve com o intuito de melhorar a eficiência energética do sistema e a qualidade iluminação.

Palavras-chave: Projeto de redes elétricas, Baixa Tensão, Média Tensão, Iluminação Pública, Luminotecnia.

Abstract

Electricity runs through a complex system, which can generally be summarized in four stages: generation, transmission/transport, distribution and consumption.

The Medium Voltage and Low Voltage Networks are part of the electrical energy distribution. Distribution is the final step in providing electricity to the consumer.

Public lighting, powered by Low Voltage, is directly linked to people's comfort and safety. The main purposes of good lighting are to ensure good visibility of the paths and obstacles to be covered, crime prevention and decoration.

This report aims to describe the main activities carried out in the internship, which are mostly associated with the project area of low and medium voltage networks.

The analysis of the technical conditions of connection of electrical installations to the grid was one of the activities carried out during the internship. In this context, the procedures, computational tools, and regulations are presented, applied to a practical case, necessary to carry out these studies.

Public service electrical infrastructure projects and medium voltage network projects were also analyzed. Practical cases are presented to exemplify the procedures for carrying out these tasks.

An exterior lighting project was also carried out for the University of Algarve's Penha Campus to improve the energy efficiency of the system and the quality of lighting.

Keywords: Electrical Grid Project, Low Voltage, Medium Voltage, Public Lighting, Lighting.

Índice

1. Introdução	1
2. Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede	3
2.1. Coeficiente de Simultaneidade	5
2.2. Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão	6
2.2.1 Cálculo das Correntes da Rede Elétrica	6
2.2.1.1 Estabelecimento da Expressão da Corrente Máxima Admissível dum Cabo em Regime Permanente	8
2.2.2 Cálculo das Quedas de Tensão	11
2.2.3 Cálculo das Correntes de Curto-circuito	13
2.2.4 Seletividade das Proteções	14
2.3. Estudo de caso: Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede	15
3. Análise de Projeto de Serviço Público	35
3.1. Estudo de caso: Projeto de Serviço Público	37
4. Projetos de Média Tensão	57
4.1. Estudo de Caso: Projeto de Média Tensão	59
5. Iluminação Pública	67
5.1 Luminotecnia	68
5.1.1 Luz e Radiação Eletromagnética	68
5.1.2 Fluxo Luminoso	69
5.1.3 Intensidade Luminosa	69
5.1.4 Curva de Distribuição Luminosa	71
5.1.5 Eficiência Luminosa	71
5.1.6 Iluminância	72
5.1.7 Luminância	73
5.1.8 Uniformidade	73
5.1.9 Fator de Depreciação	74

5.2 Norma Europeia de Iluminação Pública EN 13201	74
5.2.1 EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação	74
5.2.2 EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados	82
5.2.3 EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos	83
5.2.4 EN 13201-4: Método de medida das performances fotométricas	83
6. Projeto de Iluminação Exterior do Campus da Penha	85
6.1 Rede de Iluminação Exterior existente com todas as luminárias a funcionar	87
6.2 Rede de Iluminação Exterior a considerar a RIP real	95
6.3 Rede de Iluminação Exterior Proposta	103
6.4 Telegestão	123
6.5 Comparação da Proposta com a Situação Atual	124
7. Conclusões e Trabalhos Futuros	127
8. Apêndices	129
8.1 Apêndice A	129
8.2 Apêndice B	129
8.3 Apêndice C	129
8.4 Apêndice D	129
8.5 Apêndice E	129
8.6 Apêndice F	129
Bibliografia	131

Lista das Figuras

Figura 1: Exemplo de preenchimento de uma Ficha Eletrotécnica [2].	4
Figura 2: Condutor de comprimento L, raio da alma condutora r1 e raio do cabo r2 [5].	8
Figura 3: Representação vetorial da expressão da queda de tensão [8].	12
Figura 4: Localização dos lotes 1 e 2 e rede BT existente.	16
Figura 5: Foto 1, cabo existente lote 1 e 2.	17
Figura 6: Foto 2, cabo existente lote 1 e 2.	18
Figura 7: Foto 3, cabo existente lote 1 e 2.	19
Figura 8: Estrutura cabo LSVAV.	20
Figura 9: Esquema da Rede de Baixa Tensão Proposta.	21
Figura 10: Entrada de dados lote 2 no DPlan.	23
Figura 11: Entrada de dados do ponto de entrega 1 do lote 1 DPlan.	24
Figura 12: Entrada de dados do ponto de entrega 2 do lote 1.	25
Figura 13: relatório da simulação com as novas cargas relacionadas a uma saída do PT.	27
Figura 14: janela de edição/introdução de dados do tipo de fusível a utilizar nas saídas.	31
Figura 15: Esquema unifilar da nova rede BT proposta.	32
Figura 16: Divisão dos lotes e localização dos PTD.	37
Figura 17: Esquema da rede de baixa tensão inicialmente remetido.	38
Figura 18: Esquema unifilar da rede de baixa tensão inicialmente remetida.	40
Figura 19: Curva característica corrente – tempo do fusível “Bussmann Class Gg/gL, 500Vac” entre os calibres 35 e 400 [12].	44
Figura 20: Implantação da rede de baixa tensão sugerida.	49
Figura 21: Esquema unifilar do modo de exploração sugerido.	50
Figura 22: Pormenor da coluna e da luminária da rede de iluminação pública.	52
Figura 23: Esquema da rede de iluminação pública remetida inicialmente.	53
Figura 24: Esquema da rede de iluminação pública sugerida.	54
Figura 25: Esquema unifilar da rede de iluminação pública sugerida.	55
Figura 26: Demonstração do percurso da energia elétrica, desde a produção até o consumo [13].	58
Figura 27: Planta com a localização do PTC.	59
Figura 28: Representação de um transformador de potência do tipo triângulo-estrela (Dy) [14].	60
Figura 29: Representação da tipologia da rede radial e em anel [15].	61

Figura 30: Traçado da rede existente, a desmontar e a construir para ligação do PTC.....	62
Figura 31: Vista superior de um PTC [16].....	62
Figura 32: Esquema unifilar do PTC [16].	64
Figura 33: Equipamento de proteção e seccionamento de um Posto de Transformação.....	65
Figura 34: Pormenor da vala tipo para cabos de média tensão [16].	66
Figura 35: Indicação do espectro eletromagnético perceptível a olho humano [20].....	69
Figura 36: Representação de uma esfera com raio r no centro coincidindo com o vértice do cone.	70
Figura 37: Representação da intensidade luminosa [22].....	70
Figura 38: Curva de distribuição luminosa, vista longitudinal e transversal [23].	71
Figura 39: Representação da Iluminância [23].....	72
Figura 40: Representação da Iluminância [23].....	73
Figura 41: Zonas de cálculos.	86
Figura 42: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.	89
Figura 43: Mapa de Calor da rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.	92
Figura 44: Mapa de Calor da Iluminância nos Fundos Biblioteca.	93
Figura 45: Mapa de Calor da Iluminância na Lateral do ISE.....	94
Figura 46: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha - Situação Atual.	96
Figura 47: Mapa de Calor da rede de Iluminação Exterior atual do Campus da Penha.....	99
Figura 48: Mapa de Calor da Iluminância no Parque de Estacionamento.	100
Figura 49: Mapa de Calor da Iluminância no Caminho Pedonal Espelho D'água - Situação Atual.	101
Figura 50: Mapa de Calor da Iluminância na Lateral ESEC - Situação Atual.....	102
Figura 51: Iluminação noturna do Caminho pedonal Espelho d'água.	102
Figura 52: Iluminação noturna do Caminho pedonal Lateral ESEC.....	103
Figura 53: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha - Rede Proposta.	105
Figura 54: Mapa de Calor da rede de Iluminação Exterior proposta para o Campus da Penha.	108
Figura 55: Mapa de Calor da Iluminância na ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS - Rede Proposta.	109
Figura 56: Indicação de dois Candeeiros a desmontar.	110

Figura 57: Comparação entre a rede proposta (esquerda) e a situação atual com todas as luminárias a funcionar (direita).....	110
Figura 58: Mapa de Calor da Iluminância do PARQUE DE ESTACIONAMENTO - Rede Proposta.	111
Figura 59: Mapa de Calor da Iluminância dos FUNDOS QUADRA FUTEBOL - Rede Proposta. .	112
Figura 60: Mapa de Calor da Iluminância dos FUNDOS BIBLIOTECA - Rede Proposta.....	113
Figura 61: Indicação das modificações para a rede proposta da zona dos FUNDOS BIBLIOTECA.	114
Figura 62: Mapa de Calor da Iluminância do "EM TORNO CIVIL" - Rede Proposta.	115
Figura 63: Primeira indicação das modificações para a rede proposta da zona "EM TORNO CIVIL".	115
Figura 64: Segunda indicação das modificações para a rede proposta da zona "EM TORNO CIVIL".	116
Figura 65: Mapa de Calor da Iluminância do "FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS" - Rede Proposta.	117
Figura 66: Indicação das modificações para a rede proposta da zona "FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS".....	117
Figura 67: Mapa de Calor da Iluminância do "FUNDOS EDIFÍCIO U" - Rede Proposta.	118
Figura 68: Indicação das modificações para a rede proposta da zona "FUNDOS EDIFÍCIO U".	119
Figura 69: Mapa de Calor da Iluminância do "CAMINHO PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA" - Rede Proposta.	120
Figura 70: Mapa de Calor da Iluminância do "LATERAL ESEC" - Rede Proposta.....	120
Figura 71: Mapa de Calor da Iluminância do "LATERAL ISE" - Rede Proposta.....	121
Figura 72: Mapa de Calor da Iluminância do "BECO ENTRADA LATERAL ESEC" - Rede Proposta.	122

Lista das Tabelas

Tabela 1: Coeficiente de simultaneidade para projetos de categoria C [3].	6
Tabela 2: Cálculo analítico da Queda de Tensão no Ponto Mais Desfavorável do circuito.	28
Tabela 3: Cálculo analítico das Perdas por Efeito Joule nos condutores.	29
Tabela 4: Verificação das condições estabelecidas para o dimensionamento da Rede de Baixa Tensão.	33
Tabela 5: Entrada de dados das potências na folha de cálculo.	41
Tabela 6: Entrada de dados do tipo de cabo a utilizar em cada troço.	41
Tabela 7: Valores das resistências dos cabos em função da temperatura [10].	43
Tabela 8: Valores máximos das correntes de defeito que cada calibre de fusível atuará em menos de 5 segundos [10].	45
Tabela 9: Resistividade dos tipos de cabos.	46
Tabela 10: Campo de inserção para a topologia da rede.	47
Tabela 11: Resultado final do dimensionamento da RBT.	47
Tabela 12: Resultado final do dimensionamento da rede de baixa tensão proposta.	51
Tabela 13: Dimensionamento da rede de iluminação pública sugerida.	54
Tabela 14: Correntes máximas admissíveis do cabo de MT tipo LXHIOZ1(cbe) [41].	63
Tabela 15: Categoria da via vs. tipo de via [19].	75
Tabela 16: Grupo de situações de iluminação [25].	76
Tabela 17: Vias Interurbanas - Nível de luminância média (cd/m ²) [19].	77
Tabela 18: Vias Urbanas - Nível de luminância média [19].	78
Tabela 19: Vias Urbanas - Nível de iluminância média (lux) [19].	79
Tabela 20: Vias Urbanas - Nível de iluminância média (lux) [19].	80
Tabela 21: Vias Rurais - Nível de iluminância média (lux) [19].	81
Tabela 22: Áreas de Cálculos e seus parâmetros de iluminação a serem seguidos [28].	86
Tabela 23: Resultado do estudo luminotécnico da situação da RIP existente com todas as luminárias a funcionar.	90
Tabela 24: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.	91
Tabela 25: Resultado do estudo luminotécnico da situação da RIP atual.	97
Tabela 26: Verificação dos parâmetros mínimos referente a situação atual da iluminação.	98
Tabela 27: Resultado do estudo luminotécnico da Rede Proposta.	106
Tabela 28: Verificação dos parâmetros mínimos referente a Rede Proposta.	107

Tabela 29: Custo e energia consumida com a proposta de telegestão.	124
Tabela 30: Parâmetros de comparação entre a rede IP proposta (com e sem telegestão) e a existente.....	125
Tabela 31: Mapa de Medições e Orçamento da Proposta da RIP [36]–[40].....	125
Tabela 32: Avaliação económica da proposta para a nova RIP.....	125

Lista de Abreviaturas

AD - Armário de Distribuição;

BT - Baixa Tensão;

BTE - Baixa Tensão Especial;

BTN - Baixa Tensão Normal;

CEN - Comitê Europeu de Normalização;

CPE - Código de Ponto de Entrega;

CC - Curto-circuito;

CPE - Código de Ponto de Entrega;

EDP - Energias de Portugal;

ENE - Estratégia Nacional para a Energia;

FE - Ficha Eletrotécnica;

FP – Fator de Potência;

IP – Iluminação Pública;

LED – Díodo Emissor de Luz;

NIP - Número de Identificação do Prédio;

PCLR - Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede;

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;

PT - Posto de Transformação;

PTC - Posto de Transformação do Cliente;

PTD - Posto de Transformação de Distribuição Pública;

PSP – Projeto de Serviço Público;

QDT – Queda de Tensão;

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão;

RBT - Rede de Baixa Tensão;

RIP – Rede de Iluminação Pública;

RMT - Rede de Média Tensão;

RSRDEEBT - Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão;

RTIEBT - Regras Técnicas de Instalação Elétrica de Baixa Tensão;

TP – Transformador de Potência.

Lista de Símbolos

A - Secção do condutor (m^2);

C – Coeficiente de Simultaneidade;

c – Velocidade de propagação da luz (km/s);

cd – Candela;

E – Iluminância (lux ou lx);

F – Frequência (Hz);

I – Intensidade Luminosa (cd);

If - Corrente máxima convencional de funcionamento do aparelho de proteção (A);

I_{Gg5s} – Valor máximo da corrente de defeito para que o fusível atue em menos de 5 s (A);

I_n - Calibre máximo do fusível admissível (A);

I_s - Corrente de serviço (A);

I_p - Corrente máxima admissível pelo condutor (A);

I_z - Corrente máxima admissível pelo condutor em regime permanente (A);

L – Comprimento (m);

L – Luminância (cd/m^2);

L_f - Comprimento da fase (m);

$L_{MáxCC}$ – Comprimentos máximo do cabo para que garanta a atuação em menos de 5 segundos do fusível (m);

L_n – Comprimento do neutro (m);

N – Número de instalações de utilização situadas a jusante;

P_J – Perda de Joule (W);

P – Potência consumida (W);

R – Resistência (Ω);

r_1 – Raio da alma condutora (m);

r_2 – Raio do cabo, alma condutora + isolamento (m);

R_F - Resistência por metro da fase (Ω/m);

R_N - Resistência por metro do neutro (Ω/m);

R_θ – Resistência térmica ($^\circ C/W$);

S - Potência Aparente (VA);

S_F – Secção do condutor fase (mm^2);

S_N – Secção do condutor neutro (mm^2);

U_0 – Uniformidade Geral;

U_c - Tensão Composta (V);

U_L – Uniformidade Longitudinal;

U_n - Tensão Simples (V);

X – Indutância do condutor (Ω);

Z_{CCFN} – Impedância máxima de defeito da canalização fase-neutro (Ω/km);

ΔU - Queda de tensão (V);

$\Delta\theta$ – Diferença de temperatura entre a da alma condutora e do exterior ($^\circ C$);

η – Rendimento Luminoso (lumens/W);

θ_p – Temperatura máxima admissível na alma condutora ($^\circ C$);

λ – Comprimento da onda (m);

ρ – Resistividade ($\Omega.m$);

ρ_F – Resistividade do condutor fase ($\Omega.m$);

ρ_N – Resistividade do condutor neutro ($\Omega.m$);

ρ_θ – Resistividade térmica do isolante ($^\circ C m/W$);

ω – Ângulo sólido (sr);

1. Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do estágio de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, o qual foi realizado na empresa CME-Construção e Manutenção Electromecânica, S.A., que presta serviço à distribuidora de energia elétrica E-Redes.

A E-Redes é uma empresa do grupo multinacional EDP (Energias de Portugal), sendo responsável pela distribuição de energia elétrica para os consumidores finais em praticamente todo continente português.

O estágio decorreu no departamento de Redes e Clientes Algarve, Faro.

As principais atividades do estágio estão associadas à análise de projeto de intervenção em redes de Baixa Tensão e Média Tensão, sendo realizados as seguintes funções:

- Avaliação dos Pedidos de Condições Técnicas de Ligação à Rede;
- Análise de Projetos de Serviço Público;
- Realização de Projetos de Média Tensão;

Na Avaliação dos Pedidos de Condições Técnicas de Ligação à Rede são realizados estudos da Rede de Baixa Tensão a fim de verificar as condições técnicas para a ligação à rede de novos clientes ou aumentos de potências de clientes existentes. Com esse propósito, são realizados cálculos de dimensionamento da rede e simulações com o auxílio de software.

Ao analisar os Projetos de Serviço Público, os principais objetivos são garantir que a infraestrutura elétrica que será instalada garantirá segurança das pessoas, bens e natureza e buscar propor soluções que assegurem o melhor funcionamento da rede elétrica. Para isso, é realizado uma apreciação dos documentos que compõem o projeto, um estudo da rede elétrica existente ao redor da área de implantação do projeto e dimensionamentos da rede elétrica.

Os Projetos de Média Tensão são realizados quando há necessidade de instalar um novo Posto de Transformação ou na ocasião de uma alteração da Linha de Média Tensão. Ao realizar um Projeto de Média Tensão é verificado a rede existente ao redor da localização do Posto de Transformação a fim de obter uma melhor proposta de projeto para a execução.

Complementarmente, foi desenvolvido um projeto de iluminação que pretendeu otimizar a eficiência energética e qualidade de iluminação exterior do Campus da Penha da Universidade do Algarve. Pretende-se propor soluções que respeitem as normas europeias em vigor e que incluam os conceitos de iluminação com telegestão, os quais permitem uma diminuição significativa dos consumos de energia elétrica.

2. Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede

O Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede (PCLR) é realizado quando há necessidade de um ponto de entrega novo ou um aumento de potência de um ponto de entrega existente. Os pedidos de viabilidade de ligação à rede de potências requisitadas superiores a 41,40 kVA (Baixa Tensão Especial – BTE) são analisadas e apresentadas suas respectivas condições técnicas de ligação. Para potências inferiores ou iguais a 41,40 kVA (Baixa Tensão Normal – BTN) não carecem de avaliação prévia de condições de ligação.

A potência requisitada consiste no valor total da soma das potências de todas as instalações alimentadas de um mesmo ramal afetadas pelo coeficiente de simultaneidade previsto nas Regras Técnicas de Instalação Elétrica de Baixa Tensão (RTIEBT) [1], que será abordado sobre no subcapítulo 2.1. Essa informação deve estar presente na Ficha Eletrotécnica (FE) que deve ser fornecida pelo cliente no ato do pedido de viabilidade. Na Figura 1 é representado um exemplo modelo de preenchimento de uma FE.

Os documentos necessários que devem ser apresentados no momento do pedido, além da FE devidamente preenchida e assinada por um técnico qualificado, são a planta do imóvel com a indicação do(s) ponto(s) de entrega previsto(s) e uma planta de localização com uma escala adequada ou as coordenadas geográficas do ponto de recepção de energia. Caso se trate dum pedido de aumento de potência, é suficiente a FE com a indicação do Número de Identificação do Prédio (NIP) e o Código de Ponto de Entrega (CPE).

FICHA ELETROTÉCNICA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR

(emitido nos termos do disposto no artigo 12.º do Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto)

1 - Requerente/Entidade Exploradora			
Nome:	Nome da Empresa		NIF/NIPC:
Telefone:	Número de Telefone	E-Mail:	s-mail@outlook.com
Morada:	Estrada da Penha, Faro		
C. Postal:	8005-139		

2 - Técnico Responsável			
Nome:	Raphael da Cunha Marinho Jório dos Santos		NIF:
Telefone:	916151999	E-Mail:	raphaeljorio@hotmail.com
		N.º DGEG:	12345

3 - Localização do imóvel			
Freguesia:	Faro	Concelho:	Faro
Distrito:	Faro		
Entrada ⁽¹⁾ principal (Lugar/Rua):	E1	Estrada da Penha, Faro, Loja A	Coordenadas GPS:
Outra Entrada ⁽¹⁾ do Imóvel:			Coordenadas GPS:

4 - Caracterização do imóvel			
Descrição do Imóvel:	Local comercial		Instalação:
Classificação das instalações ⁽²⁾ :	Loja comercial		Total Ramais:
			1

5 - Instalação Elétrica												
Tipo da Instalação ⁽³⁾	Entrada do Imóvel	Ramal N.º	NIP ⁽⁴⁾ (existente)	CPE ⁽⁵⁾ (existente)	Andar	Fração	Tipo utilização individual ⁽⁶⁾	Entrada	Total Instalado (kVA)	Fator de Simultaneidade	Potência a Alimentar (kVA)	
C	E1	1	*,*	*,*	R/C	A		Trifásica	75,00	1,00	75,00	

Tipo de Instalação	Potência Total Instalada (kVA)
Tipo A: geradores de segurança e de socorro	
Tipo B: instalações alimentadas em MT/AT/MAT	
Tipo C: instalações alimentadas em BT	75,00

Declaro que a informação apresentada caracteriza a instalação elétrica.

20__/__/__

(Data e assinatura do técnico responsável)

FE_v_20190222

Figura 1: Exemplo de preenchimento de uma Ficha Eletrotécnica [2].

Na análise de um Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede é realizado uma sequência de tarefas para se alcançar o resultado final, sendo elas:

- Verificação da documentação enviada. Inicialmente é convalidado se as informações da morada, planta de localização, NIP e CPE (nos casos de pontos de entrega existentes) se coincidem;
- Utilização do software SIT para averiguar a rede de baixa tensão da área do ponto de entrega;
- Verificação da ponta máxima do Transformador de Potência do Posto de Transformação que influência a área do imóvel;
- Utilização do software DPlan para realizar a simulação de dimensionamento da rede de baixa tensão com o objetivo de verificar uma melhor proposta de ligação à rede de

um determinado ponto de entrega tendo como base a potência requisitada e a situação atual da rede. O DPLan permite obter, após simulação, dados do possível comportamento da rede. O valor da queda de tensão máxima, corrente de serviço e sobrecarga da rede são exemplos de dados obtidos após a simulação;

- Por fim, é emitida uma carta ao cliente com um resumo da análise. Caso o cliente deseje prosseguir com o processo, uma outra equipa realizará uma orçamentação para a realização das obras com base nesta análise realizada.

No caso em que não é possível ser realizado um ramal a partir da rede de baixa tensão, a ligação à rede é condicionada pela cedência de espaço para a instalação de um Posto de Transformação de Distribuição Pública (PTD).

2.1. Coeficiente de Simultaneidade

As potências das instalações elétricas do edifício devem ser afetadas por um coeficiente de simultaneidade. Para locais de consumo destinados às habitações são pré-definidos os valores do coeficiente que se deverá ter em consideração para calcular a potência total instalada do ponto de entrega. Na Tabela 1 pode-se verificar que o coeficiente de simultaneidade está diretamente relacionado com a quantidade de instalações a jusante.

Diferentemente dos locais de consumo destinados às habitações, os serviços comuns, locais comerciais, armazéns, garagens, entre outras instalações que não sejam para habitações, devem ter em consideração suas potências afetadas por um coeficiente de simultaneidade unitário.

Por outro lado, no dimensionamento da Rede de Baixa Tensão (RBT) quando se trata de um loteamento, urbanização ou condomínio fechado (com mais do que um ponto de entrega), por exemplo, deve-se ter em causa os seguintes coeficientes de simultaneidade, C :

→ para locais residenciais ou de uso profissional (incluindo serviços comuns) [3].

$$C = 0,2 + \frac{0,8}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

sendo n a quantidade de instalações de utilização da rede ou do segmento de rede.

→ para os restantes casos [3].

$$C = 0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{n}} \quad (2.2)$$

Tabela 1: Coeficiente de simultaneidade para projetos de categoria C [3].

N	2 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 24	25 a 29	30 a 34	35 a 39	40 a 49	≥ 50
C	1	0,75	0,56	0,48	0,43	0,4	0,38	0,37	0,36	0,34
N - Número de instalações de utilização situadas a jusante										
C - Coeficiente de Simultaneidade										

2.2. Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão

O correto dimensionamento da rede de BT garante que para uma determinada potência instalada o circuito estará protegido contra corrente de curto-circuito, sobrecargas e que a queda de tensão máxima nas canalizações não ultrapasse os limites regulamentares de 8% da tensão nominal.

O objetivo fundamental do dimensionamento e proteção da rede de energia elétrica é a determinação da secção do cabo a instalar e do respetivo calibre de proteção, satisfazendo as condições técnicas e regulamentares aplicáveis.

2.2.1 Cálculo das Correntes da Rede Elétrica

As instalações elétricas são frequentemente submetidas a sobreintensidades, e, conseqüentemente, ao sobreaquecimento do circuito, podendo causar danos graves para a instalação e para as pessoas. Para evitar tais danos, torna-se necessário dispor de proteções no sistema elétrico. Segundo o artigo 128.º do Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT) [4], as características dos aparelhos de proteção deverão seguir as seguintes condições:

$$I_s \leq I_n \leq I_z; \quad (2.3)$$

$$I_f \leq 1,45 I_z. \quad (2.4)$$

onde:

- I_s é a corrente de serviço;

- I_n é o calibre máximo do fusível admissível;
- I_z é a corrente máxima admissível pelo condutor;
- I_f é a corrente máxima convencional de funcionamento do aparelho de proteção.

O calibre máximo admissível do fusível deve ser um valor entre a corrente máxima admissível pelo condutor para evitar sobreaquecimento do condutor e, por outro lado a corrente de serviço para que não ocorra um disparo do fusível desnecessariamente.

A segunda condição (2.4), reflete na consideração de situações em que a corrente veiculada na canalização é 45% superior a I_z correspondam a sobrecargas suficientemente importantes para se garantir que o aparelho de proteção atue num tempo não superior ao convencional. Em resumo, para correntes superiores a $1,45I_z$ o aparelho de proteção deve atuar em menos de 5 segundos.

Para calibres de fusíveis superiores a 16 A, $I_f = 1,6I_n$. Por outro lado, para os disjuntores, utiliza-se $I_f = 1,35I_n$.

A corrente de serviço para um sistema trifásico equilibrado é calculada através da seguinte expressão:

$$I_S = \frac{S}{U_C \cdot \sqrt{3}} \quad (2.5)$$

sendo:

- S , a Potência Aparente (VA);
- U_C , a Tensão Composta (V).

O valor de I_z obtém-se de tabelas fornecidas pelos fabricantes de cabos elétricos sendo eventualmente afetado por um ou mais fatores de correção para a situação de montagem, aéreo ou subterrâneo, e temperatura do ambiente, conforme indicado no subcapítulo 2.2.1.1.

Estes cálculos das correntes da rede de baixa tensão e as condições técnicas apresentadas tem como objetivo mitigar o mau dimensionamento da rede, a fim de evitar sobrecargas na rede elétrica e a atuação dos fusíveis desnecessariamente.

2.2.1.1 Estabelecimento da Expressão da Corrente Máxima Admissível dum Cabo em Regime Permanente

A corrente máxima admissível, em regime permanente, num condutor, é o valor da intensidade de corrente que provoca o aquecimento da alma condutora do cabo, até seu valor máximo. Esta temperatura máxima é imposta pelo isolamento, uma vez que a temperatura não pode ser superior ao máximo estabelecido pelas características do material isolante.

A corrente máxima admissível depende, além das características do condutor, das suas condições de instalação. A temperatura ambiente, se está enterrado ou ao ar livre, com ou sem entubação e a forma de agrupamento dos condutores, são diferentes formas de condições de instalação que impactam no valor da corrente máxima admissível do condutor, pois condicionam diretamente a dissipação das perdas térmicas geradas nos cabos.

A Figura 2 representa um condutor de comprimento L e com o raio interno (alma condutora) representado por r_1 e o raio externo (alma condutora + isolamento) representado por r_2 . Num condutor, de comprimento L , ocorrem perdas de Joule na alma condutora. As Perdas de Joule, P_J , pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P_J = R * I_S^2 \quad (2.6)$$

sendo:

- R_{cond} , a resistência do condutor [Ω].

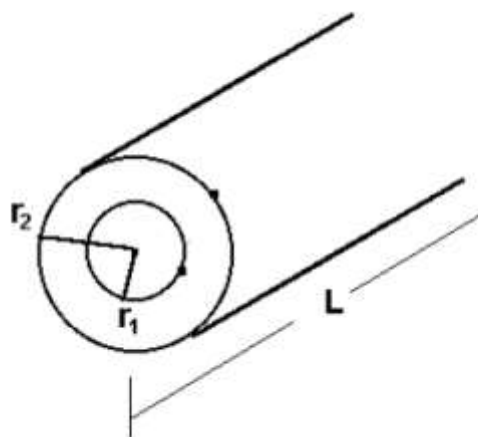


Figura 2: Condutor de comprimento L , raio da alma condutora r_1 e raio do cabo r_2 [5].

A resistência do condutor pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$R = \rho * \frac{L}{A} \quad (2.7)$$

sendo:

- ρ , a resistividade do material do condutor ($\Omega.m$);
- L , o comprimento do ramo (m);
- A , a secção dos condutores de fase e neutro (mm^2).

A potência calorífica é dissipada para o exterior, através do isolamento, estabelecendo uma diferença de temperatura na alma condutora relativamente ao exterior, podendo ser calculada pela lei de ohm térmica:

$$\Delta_{\theta} = R_{\theta} * P_j \quad (2.8)$$

sendo:

- Δ_{θ} , a diferença de temperatura entre a da alma condutora e do exterior ($^{\circ}C$);
- R_{θ} , é a resistência térmica ($^{\circ}C/W$);

Pode-se calcular a resistência térmica (de uma parede cilíndrica) a partir da seguinte expressão [5]:

$$R_{\theta} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L} \rho_{\theta} \quad (2.9)$$

sendo:

- ρ_{θ} , resistividade térmica do isolante ($^{\circ}C.m/W$).

Substituindo na expressão 2.8, as expressões 2.6 e 2.9, obtemos o seguinte:

$$\theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} \rho_{\theta} * \rho * \frac{L}{\pi * r_1^2} * I_S^2 \quad (2.10)$$

Resolvendo a equação 2.10 em ordem a I_S , obtemos a seguinte expressão:

$$I_S = \sqrt{\frac{\theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}}}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} \rho_{\theta} * \frac{L}{\pi * r_1^2} * \rho}} \quad (2.11)$$

Se na equação 2.11 for substituído θ_{alma} por θ_P , (θ_P = temperatura máxima admissível na alma condutora, em regime permanente, sendo imposta pelo isolamento), teremos $I_S = I_P$ (I_P = corrente máxima admissível pelo condutor em regime permanente), obtendo a seguinte expressão aproximada:

$$I_P = \sqrt{\frac{\theta_P - \theta_{\text{exterior}}}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} \rho_{\theta} * \frac{L}{\pi * r_1^2} * \rho}} \quad (2.12)$$

A fim de exemplificar, considerou-se um cabo LSVAV 4x95 com os seguintes valores para cada uma das características [6][7]:

- $\theta_P = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- $\theta_{\text{Exterior}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- $r_2 = 19,05 \text{ mm}$;
- $r_1 = 5,5 \text{ mm}$;
- $\rho_{\theta} = 25 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$;
- $\rho = 0,0303 \text{ } \Omega.\text{m}$.

Substituindo estes valores na equação 2.12 obtém-se uma corrente máxima admissível de 178,086 A. Na tabela das características físicas e elétricas da ALCOBRE [7] para o cabo LSVAV 4x95 tem-se indicado uma corrente máxima admissível de 193 A. Esta diferença de valores deve-se ao fato de a equação 2.12 ser uma aproximação. Esta alma condutora não possui um formato circular, o que consequentemente altera o valor de r_1 (considerou-se um formato circular). Um outro fator que interfere é o modo de exploração do cabo, enterrado ou

aéreo, onde cada meio de instalação possui uma resistividade térmica diferente e dissipa o calor do isolamento de forma distinta.

A importância de saber a corrente máxima admissível, é seguir o critério de que a corrente de serviço tem que ser igual ou inferior a corrente máxima admissível, garantindo que o circuito estará protegido contra possíveis defeitos que podem ser causados com a danificação do isolamento.

2.2.2 Cálculo das Quedas de Tensão

A tensão da rede de distribuição em Baixa Tensão em Portugal é de 230 V tensão simples e 400 V tensão composta. A queda de tensão máxima desde o posto de transformação até o ponto de entrega do cliente não deve ser superior a 8% da tensão nominal, conforme descrito no artigo 9.º do RSRDEEBT [4].

A expressão aproximada da queda de tensão do ramo da rede elétrica é a seguinte:

$$\Delta U = R * I_s \quad (2.13)$$

sendo:

- ΔU , a queda de tensão no determinado ramo (V);
- R, a resistência do condutor (Ω).

A resistência do condutor está diretamente relacionada com a resistividade do material do condutor, a sua secção e o seu comprimento. Conforme apresentado na equação 2.7.

Nota-se que as expressões 2.13 e 2.7 são aproximadas. A seguinte expressão possibilita um cálculo mais exato para se obter a queda de tensão:

$$\Delta U = I_s * \left(\rho * \frac{L}{A} * \cos(\varphi) + X * \sin(\varphi) \right) \quad (2.14)$$

sendo:

- X , a reatância do condutor (Ω);
- $\cos(\varphi)$, o Fator de Potência;

Na Figura 3 é representado a demonstração para se obter uma equação para a queda de tensão mais exata, conforme indicado na Equação 2.14. Nota-se que é realizado a soma dos segmentos horizontais para a obtenção aproximada da queda de tensão. O erro, ε , ocorre porque ao invés de ser realizado uma soma vetorial, realiza-se a soma dos segmentos horizontais.

Normalmente, utiliza-se a expressão aproximada das equações 2.13 e 2.7 para o cálculo da queda de tensão em BT, desprezando o efeito da indutância, capacitância e pelicular do condutor por ser um valor muito baixo em Baixa Tensão e considerando o Fator de Potência próximo de 1. Nota-se na Figura 3 que quanto mais próximo de 1 for o fator de potência, poder-se-á considerar os condutores e as cargas puramente resistivas, conforme a Equação 2.13.

O objetivo do cálculo da queda de tensão, é garantir a entrega de energia elétrica ao cliente com uma queda de tensão inferior aos 8% da tensão nominal, estabelecido pelo RSRDEEBT [4], a fim de fornecer um serviço de qualidade.

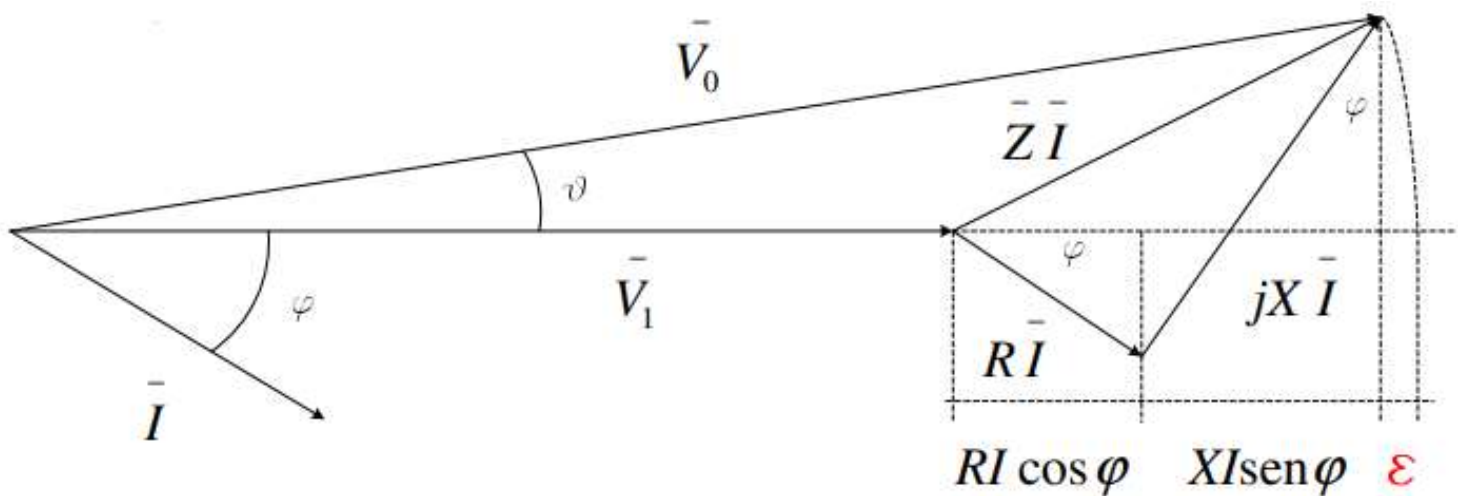


Figura 3: Representação vetorial da expressão da queda de tensão [8].

2.2.3 Cálculo das Correntes de Curto-circuito

Denomina-se por “curto-circuito” (CC) um percurso de impedância baixa, resultante de um defeito, através da qual se fecha uma corrente, geralmente bastante elevada.

A principal causa de curto-circuito nas redes é a ruptura dielétrica dos materiais isolantes. As redes aéreas estão mais suscetíveis a curtos-circuitos, porque estão fisicamente mais expostas. Nas redes aéreas a ruptura dielétrica é normalmente causada por consequências do defeito de isolamento, proximidade das árvores e as aves. Por outro lado, nas redes subterrâneas as causas mais comuns são a deterioração do isolamento dos cabos enterrados ou acidentalmente em aberturas de valas.

Têm-se como principais os dois seguintes tipo de curto-circuito:

- Curto-circuito trifásico – afeta simultaneamente as três fases do circuito, sendo considerado simétrico quando as impedâncias de defeito sejam iguais entre elas. Caso a impedância de curto-circuito seja nula é considerado um curto-circuito franco.
- Curto-circuito assimétrico – provoca assimetria entre as três fases: fase-terra (curto-circuito monofásico) ou fase-fase (curto-circuito bifásico).

Numa rede, a impedância de defeito é toda a impedância existente entre a fonte e o local de fecho da corrente de curto-circuito. Esta impedância inclui a contribuição dos geradores, transformadores, cabos e barramentos associados à rede, considerando os vários níveis de tensão existentes [9].

A proteção contra correntes de curto-circuito está condicionada em dois aspetos: o poder de corte da proteção para interromper o CC e o tempo de atuação da proteção antes de provocar danos irreversíveis. Para calcular a corrente de CC deve ser considerado o ponto mais extremo do condutor, onde se encontra a maior impedância.

A expressão a seguir corresponde ao cálculo aproximado do curto-circuito fase-neutro para o ponto mais distante do cabo [4].

$$I_{CC_{mín}} = \frac{C \cdot U_n}{1,5 \cdot (\rho_F \cdot \frac{L_F}{S_F} + \rho_N \cdot \frac{L_N}{S_N})} \quad (2.15)$$

onde,

- U_n é a tensão nominal (V);
- C é o fator de correção da tensão, para a mínima corrente de curto-circuito. Em baixa tensão é utilizado o valor de 0,95;
- ρ_F é a resistividade do condutor fase ($\Omega.m$);
- ρ_N é a resistividade do condutor neutro ($\Omega.m$);
- L_F é o comprimento da fase (m);
- L_N é o comprimento do neutro (m);
- S_F é a secção do condutor fase (mm^2);
- S_N é a secção do condutor neutro (mm^2);

O fator 1,5 que multiplica os valores das resistências da fase e do neutro é uma majoração de 50% do valor da resistência numa temperatura de 20°C, sendo uma aproximação considerando a resistência durante o CC numa temperatura de 145°C. Com o aquecimento, as moléculas que constituem o condutor aumentam o seu grau de agitação e, conseqüentemente, sua resistividade também aumenta.

O tempo de atuação da proteção tem de ser menor do que tempo máximo suportado pelo condutor na passagem de uma corrente de curto-circuito. O tempo de atuação tem que ser inferior a 5 segundos, conforme o artigo 156.º do RSRDEEBT [4].

O objetivo de calcular a corrente de CC mínima é garantir que o fusível a utilizar garanta a proteção do circuito.

2.2.4 Seletividade das Proteções

Para garantir a seletividade entre as proteções colocadas em série em caso de defeito, é necessário que atue apenas o aparelho de proteção situado imediatamente a montante do defeito, permitindo a continuidade de funcionamento das canalizações que não tenham sido afetadas por esse defeito.

Na rede de distribuição em baixa tensão, os aparelhos de proteção normalmente situam-se nos armários de distribuição e no quadro geral de baixa tensão do posto de transformação.

De forma a garantir a seletividade na atuação dos fusíveis numa canalização onde eles se encontram em série, é necessário utilizar fusíveis cuja relação seja de 1:1,6 [10]. Por

exemplo, quando é usado na canalização principal um fusível de 200 A, a canalização derivada não poderá ter uma proteção superior a 125 A.

Os valores do calibre dos fusíveis mais usuais para a gama de secções dos cabos em uso são os seguintes [10]:

$$16 - \underline{20} - 25 - \underline{32} - 40 - \underline{50} - 63 - \underline{80} - 100 - \underline{125} - 160 - \underline{200} - 250 - \underline{315} \text{ (A)}$$

Há seletividade, no mínimo, entre os calibres de proteção da série em itálico ou entre a série sublinhada. Ao usar uma sequência das duas séries, 160 A na canalização principal e 125 A na canalização derivada por exemplo, há uma grande probabilidade do fusível de 160 A e de 125 A fundirem juntos caso ocorra um defeito a jusante da canalização derivada, sendo assim não estabelecerá uma seletividade do circuito.

2.3. Estudo de caso: Pedido de Condições Técnicas de Ligação à Rede

Este caso refere-se à um pedido de condições técnicas de ligação à rede para dois lotes, sendo dois edifícios coletivos com locais de habitação e uma garagem. Para manter a confidencialidade não serão indicados detalhes e informações que comprometam as pessoas envolvidas no projeto e o cliente.

Na Figura 4 pode ser observado a localização do lote 1 e lote 2 que necessitam ser alimentados pela rede elétrica. Para o lote 1 está previsto uma potência total instalada de 100,91 kVA, sendo um ramal de chegada com 83,66 kVA para alimentar as habitações e outro ramal de chegada com 17,25 kVA para alimentar a garagem. Para o lote 2 está previsto apenas um ponto de entrega com uma potência total instalada de 60,38 kVA. Na Figura 4 encontra-se representada a rede de baixa tensão existente que está na zona de influência dos lotes a serem alimentados.



Figura 4: Localização dos lotes 1 e 2 e rede BT existente.

Foi verificado que estes lotes estão no âmbito de um projeto de serviço público (referente a toda urbanização), com duas décadas, onde era prevista a alimentação para cada lote a partir do Armário de Distribuição 2 (AD2) com cabos LSVAV 4x50 (apenas um ramal de chegada para cada lote).

No sistema do cadastro das redes foi verificado que os ramais para os dois lotes já tinham sido instalados para utilização futura. Foi necessário ir ao local para verificar se a RBT estava conforme apresentado em sistema, se os ramais para os dois lotes estavam instalados e se estavam em condições de serem aproveitados e verificar uma solução para alimentar o lote 1, pois agora são previstos dois ramais de chegadas, ao invés de um.

Em terreno foi possível verificar que os ramais para o lote 1 e o lote 2 foram instalados, conforme podemos verificar nas Figuras 5, 6 e 7. Percebeu-se dois principais problemas para serem resolvidos, sendo eles:

- O AD2 possui apenas duas saídas disponíveis, que são os ramais já instalados para os lotes 1 e 2. Salienta-se que são necessários 3 ramais;
- Os cabos instalados não estão em condições de serem utilizados, conforme pode ser visto nas Figuras 5, 6 e 7. O isolamento e a armadura estão comprometidos, podendo causar sérios danos à rede ou às pessoas caso sejam utilizados.



Figura 5: Foto 1, cabo existente lote 1 e 2.



Figura 6: Foto 2, cabo existente lote 1 e 2.



Figura 7: Foto 3, cabo existente lote 1 e 2.

O isolamento dos condutores tem uma importância fundamental para a segurança das condições de instalação e exploração. A Figura 8 exhibe as várias camadas do cabo LSVAV, nomeadamente:

- Alma condutora: é um material de alumínio por onde percorre a energia elétrica;
- Camada Isolante: isola individualmente as fases e o neutro para que não tenha nenhum contato entre os mesmos;
- Bainha Interior: tem como função principal a regularização geométrica do conjunto, para torná-lo o mais circular possível;
- Proteção Mecânica: também chamada de “Armadura”, tem por finalidade assegurar a proteção mecânica do cabo aos esforços longitudinais e transversais, tais como impactos externos, tração e roedores;
- Bainha Exterior: tem como função garantir a proteção do cabo contra influências externas. Sobretudo, devem garantir a estanquidade à água, proteção contra agentes atmosféricos e substâncias corrosivas.



Figura 8: Estrutura cabo LSVAV.

Foi verificado nos dados técnicos do transformador de potência deste posto de transformação que a ponta máxima dos últimos 4 anos foi de 255,06 kVA e ele possui uma capacidade de potência de 630,00 kVA. Conclui-se que este transformador de potência suporta com folga estas novas instalações.

Notoriamente os cabos instalados que podem ser vistos nas Figuras 5, 6 e 7 estão com a suas proteções isolantes e mecânicas seriamente danificadas. Optou-se então por retirar/abandonar estes dois cabos e executar novos ramais de chegadas.

O AD2 é um armário do tipo Z, com sete triblocos de tamanho 2 (para cabos com secções até 185 mm²). Foi colocada em consideração uma proposta de alimentação dos dois lotes. Consiste em instalar um AD novo, do tipo X (5 triblocos de tamanho 2) junto aos lotes com a alimentação a partir do AD2. Contudo, foi realizado a simulação em DPlan para verificar a viabilidade da proposta e se será necessário realizar alguma alteração na rede de distribuição.

A Figura 9 representa o esquema proposto da rede de baixa tensão para a alimentação destes lotes, sendo o traçado em vermelho a rede proposta.

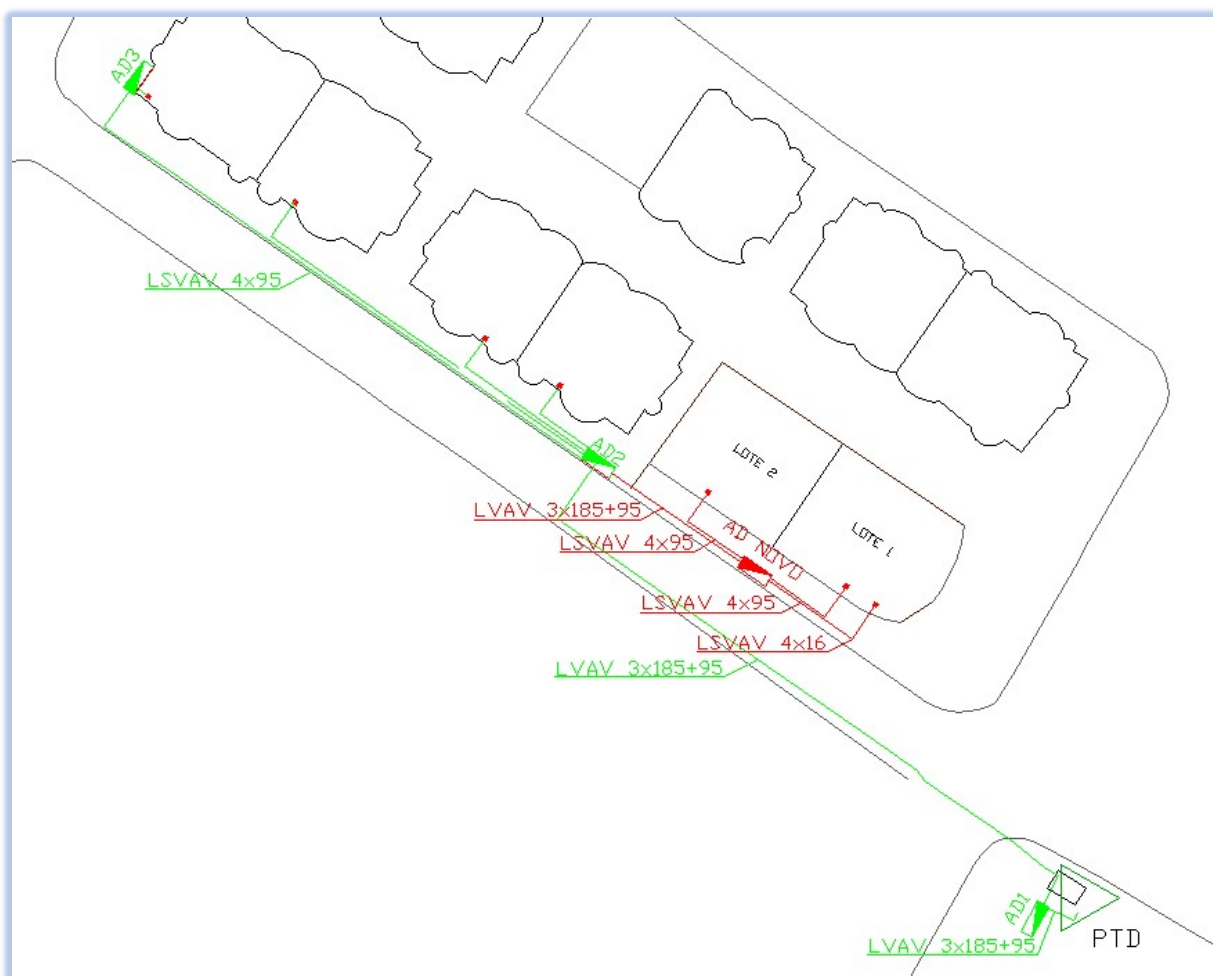


Figura 9: Esquema da Rede de Baixa Tensão Proposta.

A Figura 10 representa a entrada de dados das características do ponto de entrega do lote 2 no DPlan. Na BT os “nós” são clientes ou grupos de clientes e por isso podem ser classificados de acordo com o seu diagrama de carga, potência contratada e ligação em regime regulamentar ou especial. Cada nó contém informação de planeamento (análise probabilística) ou de operação (análise cronológica). Na informação de planeamento os diferentes tipos de cliente (residencial, comercial, industrial e outro) estão associados a um diagrama de carga pré-definido. No caso da informação cronológica, o diagrama de cada cliente corresponde aos diagramas de carga reais. Neste caso temos uma análise probabilística de como a carga deste ponto de entrega irá se comportar.

O perfil global do diagrama de carga para o nó é representado no gráfico. A curva representada correspondente ao somatório dos perfis dos clientes existentes, indica a evolução horária, para um período de um dia, da percentagem da potência total contratada consumida.

A BT só tem um nível de tensão em Portugal. Por isso, a tensão é obrigatoriamente 0,4 kV (não editável).

As tensões máxima e mínima admissíveis nos nós estão normalmente regulamentadas, sendo:

- Máx: tensão máxima admissível no nó [em pu].
- Min: tensão mínima admissível no nó [em pu].

Na especificação da carga ao nível do cliente, é possível fazer uma distinção em relação ao tipo de diagrama de carga, potência contratada e fase em que estão ligados (para clientes monofásicos apenas).

Os clientes são caracterizados pelo tipo de ligação:

- Consumidores Regulares (1F): se forem clientes que contrataram uma potência regulamentar monofásica;
- Consumidores Regulares (3F): se forem clientes que contrataram uma potência regulamentar trifásica;
- Consumidores Especiais (SPC): se forem clientes que contrataram uma potência especial (só está previsto em regime trifásico).

Em relação ao tipo de diagrama de carga, os clientes são classificados em:

- Residencial;

- Comercial;
- Industrial;
- Desconhecido: se não forem nenhum dos anteriores.

Para os clientes monofásicos é possível identificar a fase associada à ligação.

Figura 10: Entrada de dados lote 2 no DPlan.

A Figura 11 representa a entrada de dados das características do ponto de entrega do lote 1 no DPlan, referente a nove habitações com potência contratada de 10,35 kVA e um Serviço Comum com potência contratada de 13,80 kVA.

Edit Node
✕

Identification

Id	Name
HDYVWGS5OIRDUWG1AT5I	<input type="text" value=""/> ->

Voltage

Base: kV

Max: pu

Min: pu

Class

Existence

Coordinates (m)

x: y:

Contr. Power (kVA)

Proprietário

Load Options

Planeamento

Load Information

- [-] Consumidores
 - 1F (0)
 - [-] 3F (10)
 - [-] 10.35 (9)
 - Residential (9)
 - [-] 13.80 (1)
 - Residential (1)
 - SPC (#0 0.0 kVA)
 - Produtores

Add Edit Remove

Customers

Scout:

P:

Q:

Phase:

Type:

Clients:

Status

Discard Accept

Phase Load Profile [kW vs hour]

A B C Sum

Hour	Phase A (kW)	Phase B (kW)	Phase C (kW)	Sum (kW)
0	4.86	4.86	4.86	14.58
3	4.86	4.86	4.86	14.58
6	4.86	4.86	4.86	14.58
9	4.86	4.86	4.86	14.58
12	4.86	4.86	4.86	14.58
15	4.86	4.86	4.86	14.58
18	4.86	4.86	4.86	14.58
21	4.86	4.86	4.86	14.58
24	4.86	4.86	4.86	14.58

Figura 11: Entrada de dados do ponto de entrega 1 do lote 1 DPlan.

A Figura 12 representa a entrada de dados das características do ponto de entrega do lote 1 no DPlan, referente à garagem com uma potência contratada de 17,25 kVA. Foi considerado classificar esta garagem como uma carga desconhecida, porque não se trata de habitação, comércio ou indústria.

Edit Node
✕

Identification

Id	Name
VS6D3SVFM3I1EIK5UGJDQM	

Voltage

Base: kV

Max: pu

Min: pu

Class

Existence

Coordinates (m)

x: y:

Contr. Power (kVA)

Proprietário

Load Options

Planeamento Operação

Load Information

- [-] Consumidores
 - 1F (0)
 - [-] 3F (1)
 - [-] 17.25 (1)
 - Desconhecido (1)
 - SPC (#0 0.0 kVA)
- Produtores

Add Edit Remove

Customers

Scout:

P:

Q:

Phase:

Type:

Clients:

Status

Discard Accept

Phase Load Profile [kW vs hour]

A
 B
 C
 Sum

Hour	Phase A [kW]	Phase B [kW]	Phase C [kW]	Sum [kW]
0	2.5	2.0	2.0	2.5
3	2.0	1.8	1.8	2.0
6	2.2	2.0	2.0	2.2
9	3.5	3.0	3.0	3.5
12	4.0	3.5	3.5	4.0
15	3.5	3.0	3.0	3.5
18	3.8	3.2	3.2	3.8
21	3.5	3.0	3.0	3.5
24	2.5	2.0	2.0	2.5

Figura 12: Entrada de dados do ponto de entrega 2 do lote 1.

No DPlan é possível resumir numa tabela dinâmica os resultados de cada saída de um qualquer PT a escolher. O desempenho é descrito por um conjunto de valores associados à carga da saída, corrente, perdas da saída, variação da tensão, comprimento, etc.

A Figura 13 apresenta o relatório da simulação com as novas cargas relacionadas a uma saída do PT.

A seguir serão descritos os indicadores das colunas do resultado da simulação.

- **Nome:** Nome da saída. É o nome do ramo que sai do QGBT do PT;
- **Ia, Ib, Ic e In:** Corrente de pico na saída do QGBT, na fase A, B, C e Neutro respetivamente;
- **#Cons.:** Número de consumidores;
- **Carga:** Valor da soma das potências contratadas dos clientes alimentados pela saída;
- **#Prod.:** Número de produtores de energia elétrica;
- **Ger.:** Valor da soma das potências instaladas dos produtores;
- **FP:** Fator de potência da saída. Relação entre a potência ativa e a potência aparente pedidas pela saída;
- **Ponta:** Valor da potência de ponta;
- **Q.D.T.:** Queda de tensão (QDT) máxima (em relação à tensão do secundário do transformador);
- **dVmax:** Variação da tensão máxima, em relação a 1pu;
- **dVlim:** Variação de tensão limite;
- **Sobrecarga:** Valor da potência que excedeu o suportado pela rede elétrica;
- **Perdas (kW):** Valor das perdas por efeito de Joule nos condutores;
- **Perdas (MWh/ano):** Valor das perdas anuais por efeito Joule nos condutores;
- **ENF:** Valor esperado da energia não fornecida por ano por causa de avarias/interrupções;
- **Comprimento:** Comprimento total dos ramos da saída do PT;
- **Aéreo:** Comprimento total das linhas aéreas da saída do PT;
- **Subterrâneo:** Comprimentos total das redes subterrâneas da saída do PT;
- **Ponto Lig.:** Número de pontos de ligação (nós de cargas) da saída.

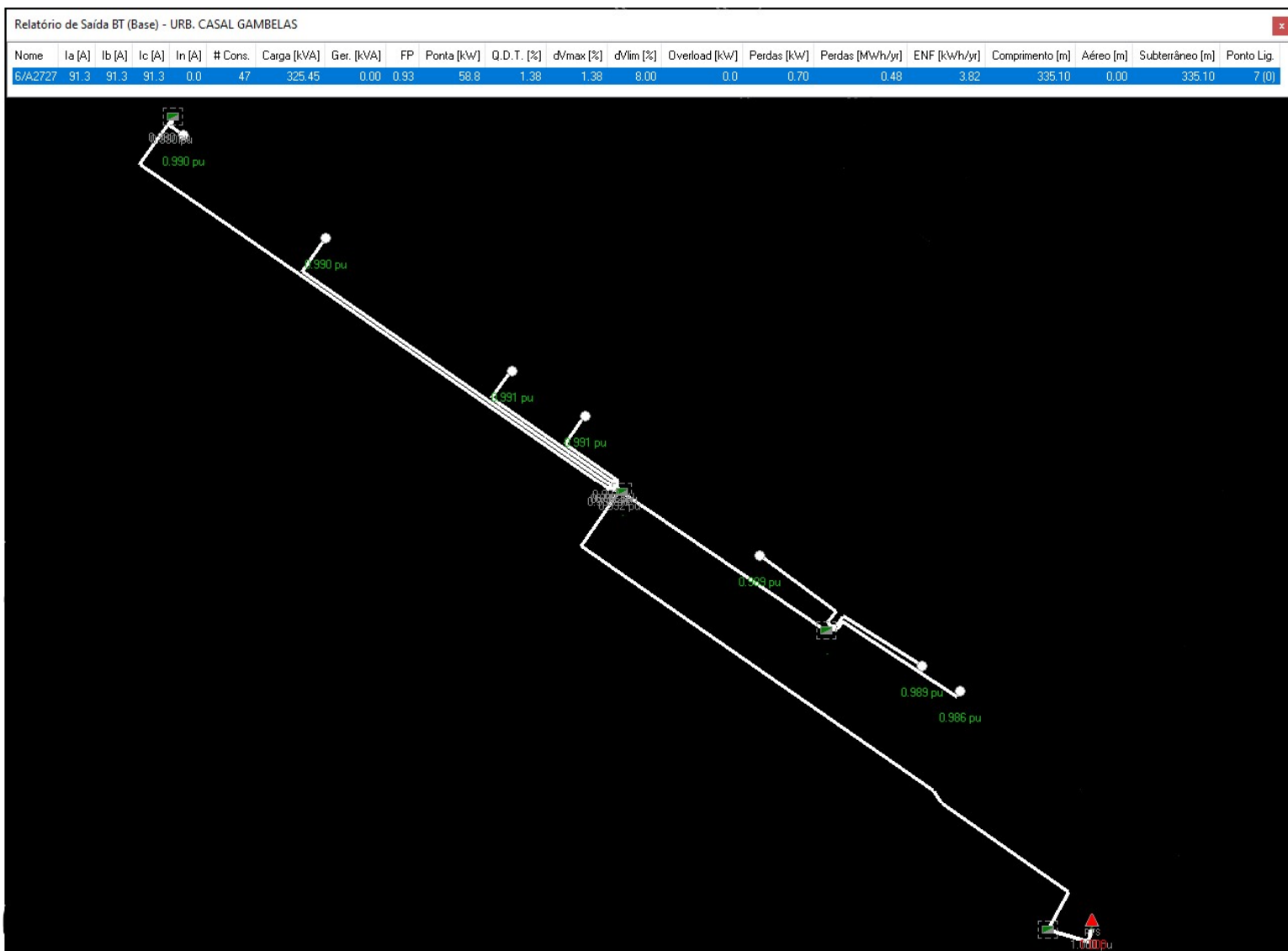


Figura 13: relatório da simulação com as novas cargas relacionadas a uma saída do PT.

Em conjunto com a análise da simulação foram realizados alguns cálculos para verificação dos resultados.

Ao observar o valor da carga (325,45 kVA) no resultado da simulação, vê-se que este é referente ao somatório da potência total instalada de cada ponto de entrega do circuito desta saída do Quadro Geral de Baixa Tensão do PTD.

O valor da Ponta (58,8 kW) obtido da simulação refere-se à ponta total deste circuito, tendo como base o valor da potência total instalada afetada por um coeficiente de simultaneidade. Este é um valor estimado para a máxima potência que será alcançada neste circuito.

O resultado do Fator de Potência (0,93) na simulação é um valor definido pelo software.

Para o cálculo das correntes em cada fase foi, neste caso, considerado um sistema equilibrado. Para verificação analítica da corrente máxima do circuito em cada fase, utilizou-se a equação 2.5 e obteve-se uma corrente máxima de 91,63 A em cada fase. A pequena diferença entre o valor obtido na simulação (91,3 A) e o calculado analiticamente deve-se ao fato de ter sido realizado algumas aproximações, nomeadamente nos valores do FP e/ou da Ponta máxima.

O valor da queda de tensão da simulação (1,38%), é referente ao ponto mais desfavorável da rede. Neste caso o local com a maior queda de tensão é a garagem do lote 1. A Tabela 2 representa o cálculo analítico para se obter a QDT no ponto mais desfavorável da rede. Para o valor da resistividade foi considerado o indicado na Tabela 9. Para o cálculo da Resistência e da ΔU , foram utilizadas as equações 2.7 e 2.13, respetivamente.

O valor obtido na simulação para as Perdas por efeito Joule foi de 0,70 kW. O efeito de Joule é um fenómeno físico que consiste numa perda de energia nos condutores causado pelo aquecimento. A Tabela 3 representa o cálculo analítico para se obter as Perdas por efeito Joule da rede. Para o valor da resistividade foi considerado o indicado na Tabela 9. Para o cálculo da Resistência e da Perda por efeito Joule, foram utilizadas as equações 2.7 e 2.6, respetivamente.

Tabela 2: Cálculo analítico da Queda de Tensão no Ponto Mais Desfavorável do circuito.

Queda de Tensão no Ponto Mais Desfavorável							
Troço	Tipo de Cabo	Resistividade ($\Omega.m$)	Comprimento (m)	Resistência (Ω)	Is (A)*	ΔU (V)	QDT Parcial (%)
PTD - AD2	LVAV 3x185+95	0,0303	93,9	0,015379297	91,3	1,4041	0,61049
AD2 - ADNovo	LVAV 3x185+95	0,0303	30,2	0,00494627	69,9	0,3457	0,15032
ADNovo - Gar.	LSVAV 4x16	0,0303	19,8	0,03749625	17,7	0,6637	0,28856
Queda de Tensão Total (%)							1,04937
<i>* O valor da corrente por fase de cada troço foi retirado do DPLan.</i>							

Tabela 3: Cálculo analítico das Perdas por Efeito Joule nos condutores.

Perdas por Efeito Joule						
Troço	Tipo de Cabo	Resistividade ($\Omega.m$)	Comprimento (m)	Resistência (Ω)	I_s^2 (A)	Pj (kW)
PTD - AD2	LVAV 3x185+95	0,0303	93,9	0,015379297	8335,69	0,128197055
AD2 - AD Novo	LVAV 3x185+95	0,0303	30,2	0,00494627	4886,01	0,024167526
AD Novo - Lote 2	LSVAV 4x95	0,0303	14,6	0,004656632	1260,25	0,00586852
AD Novo - Lote 1	LSVAV 4x95	0,0303	14,1	0,004497158	1814,76	0,008161262
AD Novo - Lote 1 Gar.	LSVAV 4x16	0,0303	19,8	0,03749625	313,29	0,0117472
AD2 - Rede existente 1	LSVAV 4x50	0,0303	12,8	0,0077568	163,84	0,001270874
AD2 - Rede existente 2	LSVAV 4x50	0,0303	22,2	0,0134532	171,61	0,002308704
AD2 - Rede existente 3	LSVAV 4x50	0,0303	50,9	0,0308454	123,21	0,003800462
AD2 - AD3	LSVAV 4x95	0,0303	75,8	0,024176211	116,64	0,002819913
AD3 - Rede existente 4	LSVAV 4x50	0,0303	1,8	0,0010908	116,64	0,000127231
Total por Conductor						0,188468747
Total Circuito						0,56540624

A diferença entre os valores simulados e calculados para a queda de tensão ocorre porque analiticamente foi utilizado a expressão simplificada para o cálculo da queda de tensão, além de aproximações.

A diferença entre os valores obtidos no simulador e analiticamente para a Perda por Efeito Joule, ocorre por questões de aproximações. O valor usado no simulador para a resistividade do cabo é desconhecido, e este possivelmente possui um valor um pouco diferente do considerado nos cálculos analíticos.

Para ambos os cálculos foi utilizado o valor da resistividade para uma temperatura de 20°C. É possível que o DPLan considere uma resistividade numa outra temperatura. Contudo, essa diferença da resistividade tem como consequência uma desigualdade entre os resultados analíticos e simulados.

Ao analisar a simulação, concluiu-se que esta opção é tecnicamente viável. Percebe-se que na simulação foi indicado que não haverá sobrecarga no sistema e a queda de tensão estará com valor inferior a 8% (como comentado no subcapítulo 2.2.2). Caso o DPLan detetasse

alguma possível sobrecarga ou falta de proteção contra correntes de CC, seria indicado visualmente (os cabos e/ou os fusíveis ficariam vermelhos). Nota-se que na simulação não foi indicado que os fusíveis escolhidos estão mal dimensionados, seja por sobrecarga ou por defeito de CC.

A Figura 14 representa a janela de edição/introdução de dados para escolher o tipo de fusível a utilizar nas saídas dos QGBT ou dos AD. Neste caso em específico é um exemplo do fusível a utilizar na saída do PTD para o AD1. O escolhido foi um de calibre de 315 A do fusível tipo gG.

Na janela “Edit Branch” é onde se escolhe a classe da proteção a utilizar e suas condições (conectado ou desconectado por exemplo). No campo “Reliability” é onde calcula-se a fiabilidade da rede. Por definição os valores atribuídos aos quatro campos da fiabilidade são os valores padrão. Estes valores podem ser editados, e para isto é necessário conhecer os seguintes dados:

- **Fail Rt:** o número esperado de defeitos para o transformador durante um ano;
- **Tisol:** o período (em horas) necessário para isolar um defeito que ocorra no ramo, é um tempo de abertura/desligação.
- **Treconf:** o período (em horas) necessário para pôr em operação (em carga) o ramo. O ramo é posto em carga para reconfigurar a rede devido a um defeito noutro ramo previamente isolado, é um tempo de fecho/ligação.
- **Trepair:** o período (em horas) necessário para reparar e pôr em operação (em carga) o ramo editado, é um tempo de fecho/ligação.

A janela “View Fuse Properties” exhibe as características do fusível escolhido, que neste caso é um fusível com calibre de 315 A. A informação “Curve Settings” refere-se a três pontos da curva de atuação do fusível (tempo-corrente).

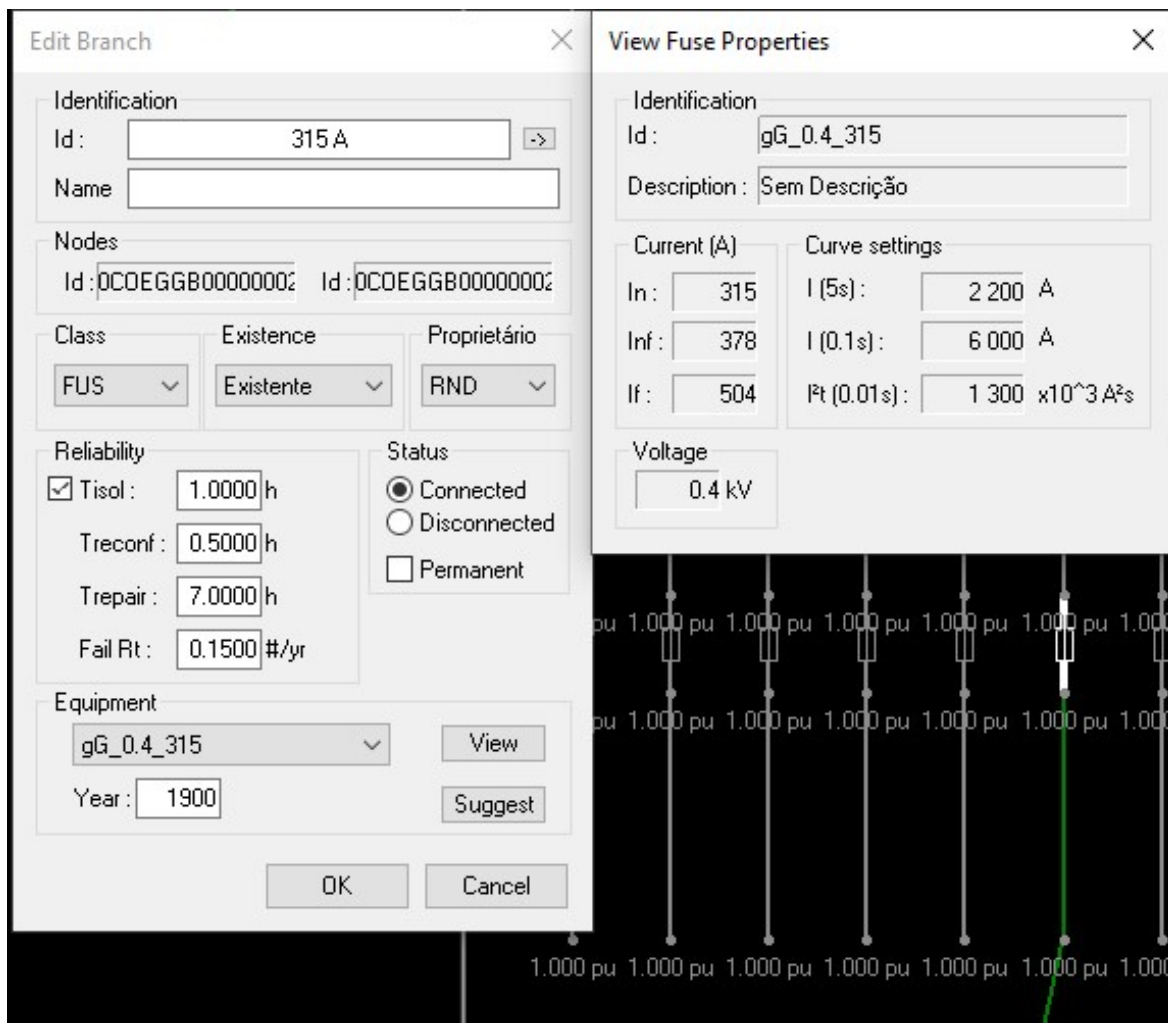


Figura 14: janela de edição/introdução de dados do tipo de fusível a utilizar nas saídas.

A Figura 15 representa o esquema unifilar da nova rede BT que é influenciada pelos novos pontos de entrega, referenciando o tipo de cabo de cada trecho e o calibre de fusível a utilizar em cada ramo. As características presentes neste esquema unifilar são exatamente os mesmo utilizados na simulação em DPlan.

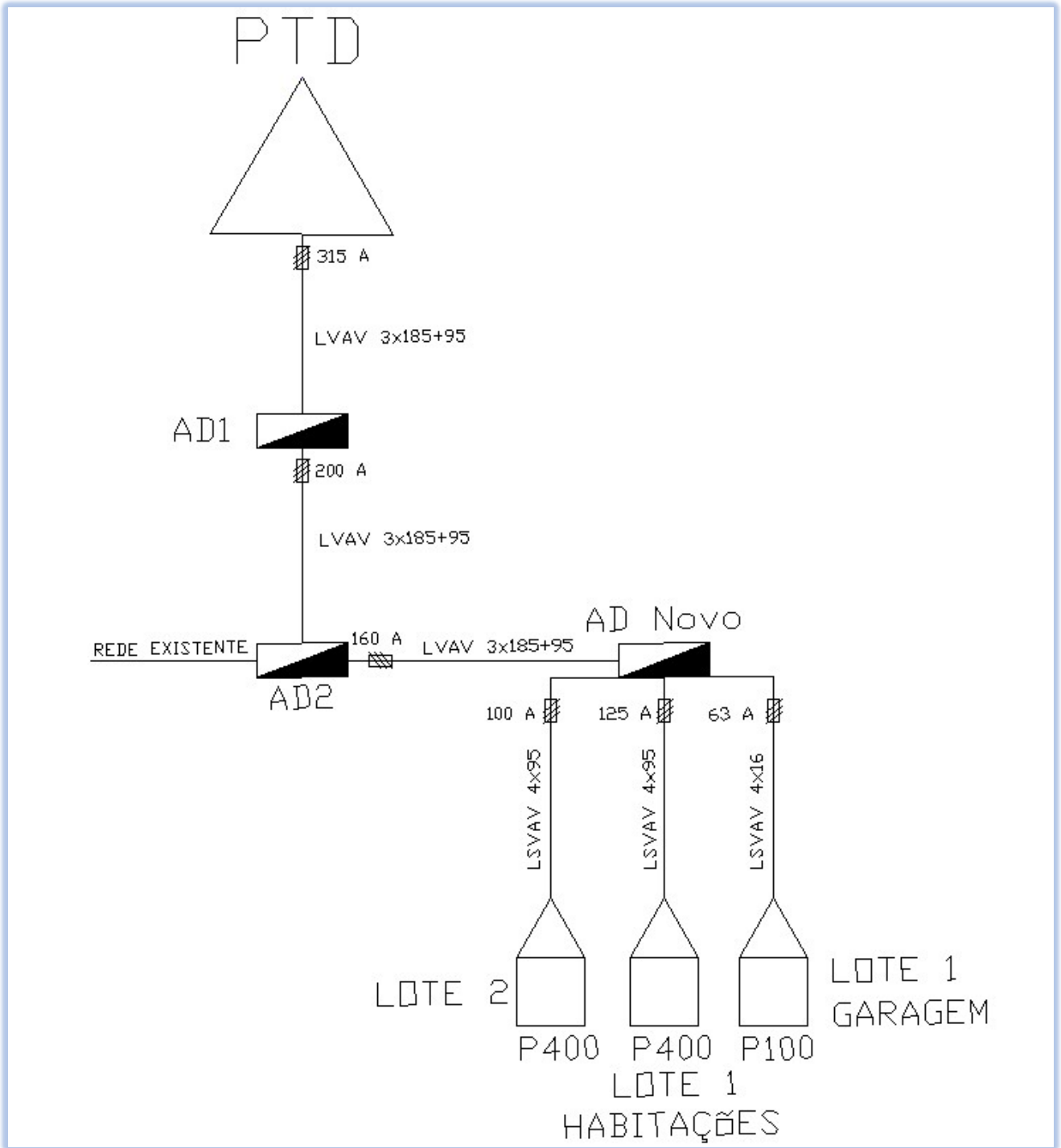


Figura 15: Esquema unifilar da nova rede BT proposta.

Na tabela 4 apresenta-se a verificação das condições estabelecidas pelas equações 2.3 e 2.4 para o dimensionamento dos calibres de proteção e cabos a utilizar, tendo como referência as correntes de cada troço da rede.

Tabela 4: Verificação das condições estabelecidas para o dimensionamento da Rede de Baixa Tensão.

Verificação das condições estabelecidas para o dimensionamento da Rede de Baixa Tensão								
Troço	Tipo de Cabo	Is* (A)	In** (A)	Iz*** (A)	1,45*Iz	If (A)	Is ≤ In ≤ Iz	If ≤ 1,45 Iz
PTD - AD1	LVAV 3x185+95	91,3	315	355	514,75	504	✓	✓
AD1 - AD2	LVAV 3x185+95	91,3	200	355	514,75	320	✓	✓
AD2 - AD Novo	LVAV 3x185+95	69,9	160	355	514,75	256	✓	✓
AD Novo - Lote 1 Gar.	LSVAV 4x16	17,7	63	90	130,5	100,8	✓	✓
AD Novo - Lote 1 Hab.	LSVAV 4x95	42,6	125	235	340,75	200	✓	✓
AD Novo - Lote 2	LSVAV 4x95	33,5	100	235	340,75	160	✓	✓
<i>* Valor da corrente por fase de cada troço foi retirado do DPLan</i>								
<i>** Calibre do fusível de proteção</i>								
<i>*** Valor retirado do ficheiro em que se realiza o dimensionamento da RBT</i>								

Após analisar todas as situações e condições, concluiu-se seguir com esta proposta apresentada para a alimentação dos novos pontos de entrega.

3. Análise de Projeto de Serviço Público

O departamento de análise de Projeto de Serviço Público (PSP) tem como objetivo analisar e aprovar os projetos de infraestruturas elétricas de serviço público, tais como Rede de Baixa Tensão (RBT), Rede de Média Tensão (RMT) e Rede de Iluminação Pública (RIP).

Os seguintes casos são os mais comuns que necessitam um projeto de serviço público:

- Operações de Loteamento;
- Obras de Urbanização;
- Requalificação ou expansão da Rede de Iluminação Pública.

Os projetos das instalações elétricas de serviço público deverão ser constituídos pelos seguintes documentos de acordo com a DIT-C11-010/N [11]:

Memória Descritiva e Justificativa – deve conter informações claras e necessárias para que se possa compreender a ideia, função, e características da instalação, nomeadamente, os motivos da apresentação do projeto, a sua localização e constituição (loteamento, urbanização, requalificação), as características e condições dos equipamentos e materiais a utilizar (tipos de cabo, armário de distribuição, tipo de portinhola, luminárias, colunas, entre outros).

Termo de Responsabilidade – relativo à elaboração do projeto, sendo assinado por um Engenheiro Eletrotécnico ou Engenheiro Técnico da especialidade eletrotécnica inscrito na DGEG.

Ficha de Identificação do Projeto da Instalação Elétrica – deve conter informações sintetizadas do requerente, da instalação e do técnico responsável.

Ficha Eletrotécnica – deve ter a informação da potência total prevista para o posto de transformação e, quando for o caso, da potência total do conjunto de posto de transformação.

Ficha Síntese do Loteamento – deve constar o cálculo da potência total do loteamento/urbanização, identificando os coeficientes de simultaneidade aplicados, a especificação do valor da potência atribuído a cada fogo e a cada ponto de entrega.

Cálculo Justificativo da Rede de BT e IP – tem como objetivo dimensionar a rede, Baixa Tensão e/ou Iluminação Pública de acordo com o estabelecido no Regulamento de

Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, tendo em conta as quedas de tensão, as sobrecargas e os curtos-circuitos. Deve-se garantir a uma boa qualidade de energia elétrica entregue ao cliente e uma proteção do circuito contra sobrecargas e curtos-circuitos.

Cálculo Luminotécnico – deve conter, para os índices de iluminação pública, os parâmetros mínimos previstos na Portaria 454/2001, de 5 de maio.

Mapa de Medições e Orçamento – deve conter a quantificação, uma breve descrição das características e preços de cada equipamento, materiais e serviços separados por pelas classes de obras previstas (BT, IP, PT, MT) e por fim a estimativa total do valor. A estimativa destina-se a apresentar o montante da caução prestada a favor da câmara municipal. A caução é uma garantia para futuros eventuais problemas na rede que podem surgir caso a obra não seja realizada devidamente.

Peças Desenhadas – refere-se à Planta de localização, à escala 1:1000 ou superior, indicando o limite da área de intervenção. Planta por cada classe de obra prevista, nomeadamente a BT, MT, PT e IP. Planta do esquema unifilar da RBT e/ou RIP. Planta identificando as infraestruturas elétricas existentes na área de intervenção. Desenho dos pormenores de valas, Armários de Distribuição (AD), candeeiros IP, portinholas das colunas IP e PT.

Os ramais de chegada BT devem terminar em portinholas ou, em casos específicos, em quadros de colunas, cumprindo normas da DIT-C14-100/N [10]. A portinhola deve ser instalada no limite da propriedade privada com acesso a partir da via pública. A portinhola define o limite entre a distribuidora de energia elétrica (a montante do fusível instalado no interior da mesma) e o cliente (a jusante do fusível).

Caso não seja possível, em projeto, definir os ramais de chegada deve-se optar por prever a instalação de tubagens nos locais previsíveis da passagem do condutor. Por outro lado, é preciso definir o condutor, para assim efetuar o devido cálculo de dimensionamento de rede.

O posto de transformação deve ser instalado em locais de domínio público com acesso direto à via pública. O PT deve conter sistema de ventilação para o arrefecimento do transformador de potência.

3.1. Estudo de caso: Projeto de Serviço Público

Este caso refere-se a um Projeto de Serviço Público para a eletrificação de um loteamento, que inclui a execução da rede de distribuição em baixa tensão, a rede de iluminação pública e as chegadas aos lotes/edifícios. Para manter a confidencialidade não serão indicados detalhes e informações que comprometam as pessoas envolvidas no projeto e o cliente.

A Figura 16 representa a arquitetura da construção dos treze lotes e a localização dos PTD existentes.

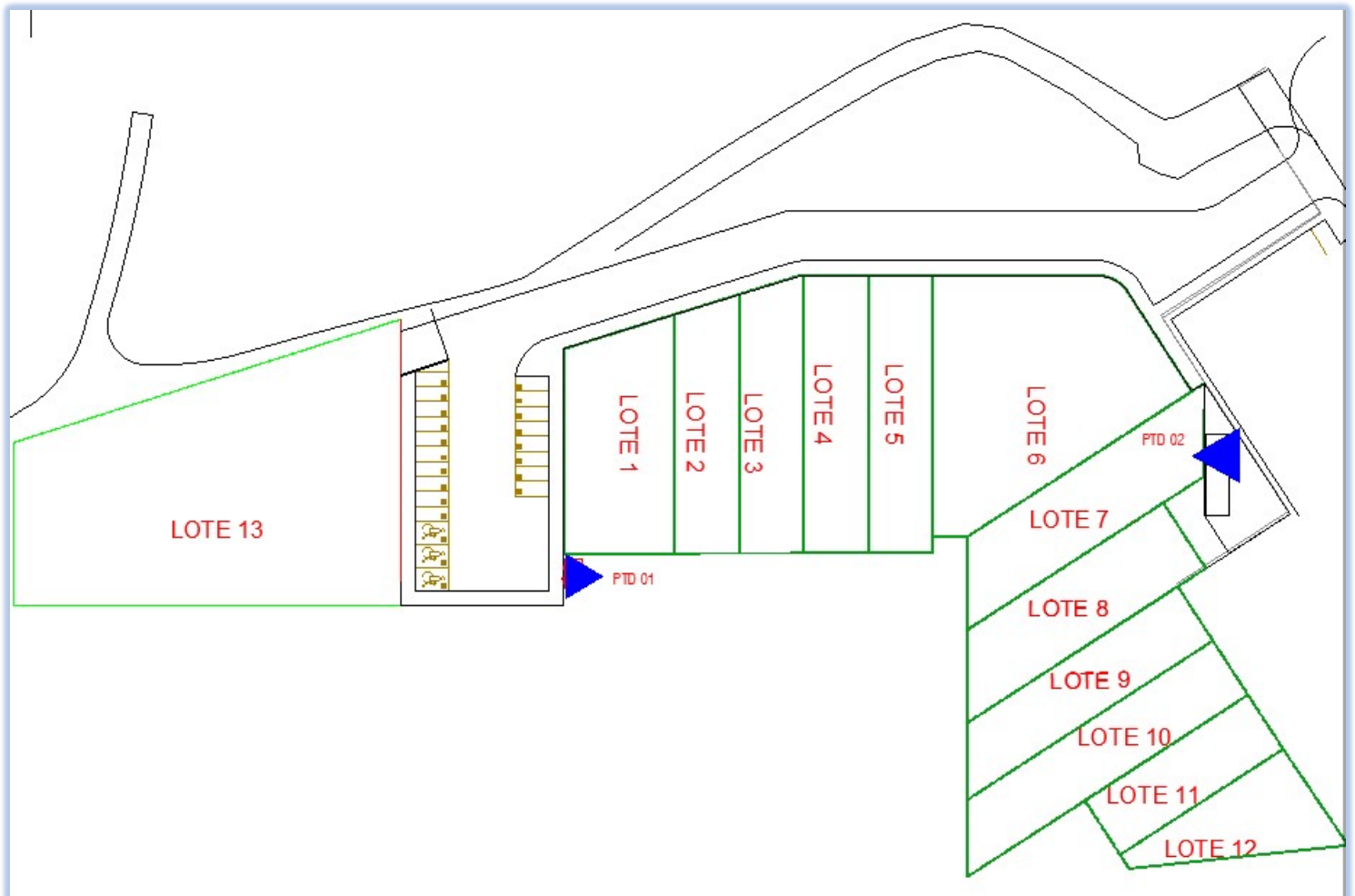


Figura 16: Divisão dos lotes e localização dos PTD.

A Figura 17 representa o esquema da Rede de BT que inicialmente foi remetido para ser analisado. Percebe-se que foi considerado a alimentação de todos os lotes a partir do PTD 1.

Foi verificado que os dois PTD têm capacidade de suportar a potência total de 329,05 kVA do loteamento, porém o PTD 2 ficaria próximo do seu limite e o PTD 1 alimentaria com mais folga. Os dois PTD são existentes e estão em exploração.

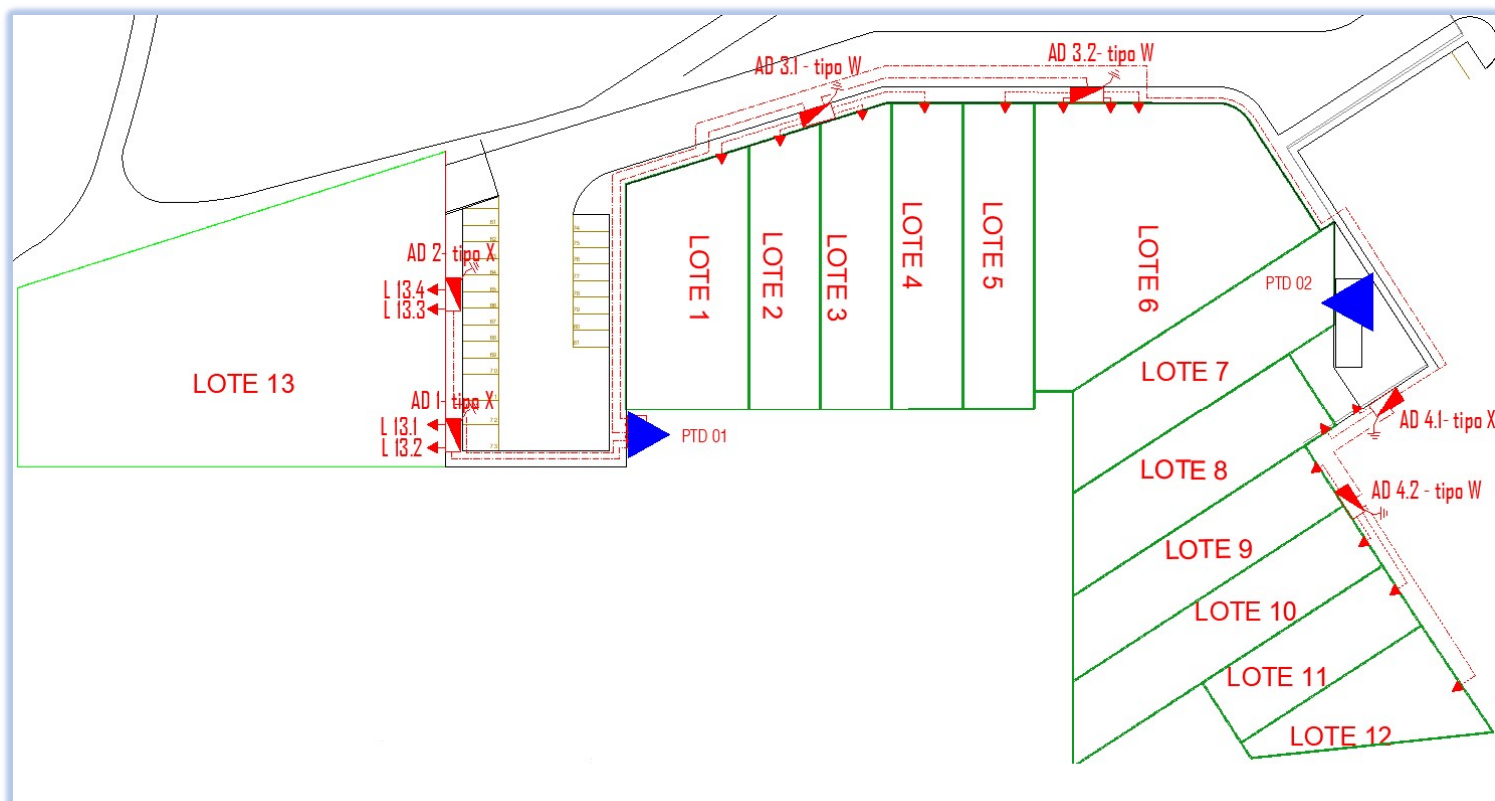


Figura 17: Esquema da rede de baixa tensão inicialmente remetido.

A Figura 18 representa o esquema unifilar do modo de exploração da RBT remetido pelo projetista. Através desta Figura 18 verifica-se que o PTD 1 está a alimentar todos os lotes. Quanto à rede de distribuição, temos:

- O AD 1 é alimentado diretamente do PTD 1 e possui saídas para os lotes 13.1 e 13.2, com finalidades de comércio/equipamento, com potência contratada de 60 kVA e 80 kVA respetivamente;
- O AD 2 é alimentado diretamente do PTD 1 e possui saídas para o lote 13.3, referente a um comércio/equipamento, com uma potência contratada de 75 kVA e para o lote 13.4, referente a um edifício coletivo com 10 fogos de habitação com potências contratadas de 10,35 kVA e um Serviços comuns de 20,70 kVA;
- O AD 3.1 é alimentado diretamente do PTD 1 e possui saídas para os lotes 1, 2, 3 e 4, cujo cada lote possui uma potência contratada de 27,60 kVA e representam habitações unifamiliares;
- O AD 3.2 é alimentado pelo AD 3.1 e possui saídas para os lotes 5, 6.1, 6.2 e 6.3, cujo cada lote possui uma potência contratada de 27,60 kVA e representam habitações unifamiliares;
- O AD 4.1 é alimentado diretamente do PTD 1 e possui saídas para os lotes 7, 8 e 9, cujo cada lote possui uma potência contratada de 27,60 kVA e representam habitações unifamiliares;
- O AD 4.2 é alimentado pelo AD 4.1 e possui saídas para os lotes 10, 11 e 12, cujo cada lote possui uma potência contratada de 27,60 kVA e representam habitações unifamiliares.

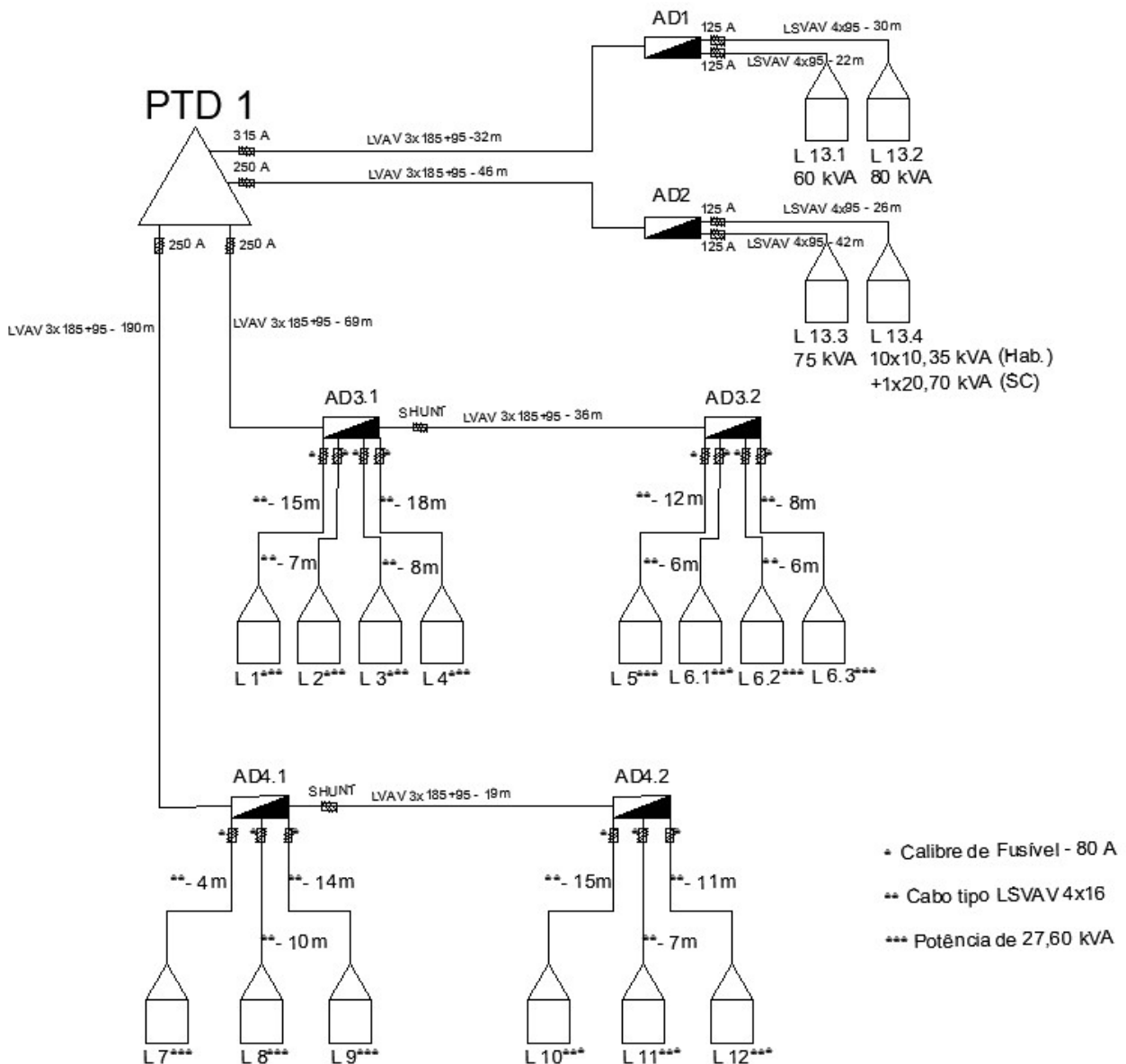


Figura 18: Esquema unifilar da rede de baixa tensão inicialmente remetida.

O dimensionamento da RBT foi efetuado com uma folha de cálculo Excel. Deste modo, efetuaram-se os cálculos da potência de cada troço, das correntes da rede, das quedas de tensão, das correntes de CC e dos calibres de proteção.

Para o cálculo da corrente de serviço num determinado troço, é necessário ter em consideração a potência que afeta este ramo. Para isto, é preciso estabelecer uma entrada de dados referente a potência de cada ramal de chegada. A Tabela 5 representa a entrada de dados referente a potência de cada ramal de chegada.

Por serem pontos de entrega com potências “não normalizadas” (diferentes de 1,15, 3,45, 6,90, ... (kVA)) utilizam-se as colunas de potências especiais para caracterizar a potência contratada para um determinado cliente.

Para determinar o calibre do fusível máximo admissível, a corrente máxima admissível pelo condutor e a corrente máxima convencional de funcionamento do aparelho de proteção é necessário definir o tipo de condutor a utilizar num determinado ramo e a sua respetiva distância. A Tabela 6 apresenta a entrada de dados referente ao tipo de cabo de cada troço e a sua respetiva distância.

Tabela 5: Entrada de dados das potências na folha de cálculo.

Nós															Pot.espec.				
Pcij , kVA															Qt.	Pot.			
Fogos ; Industria ; Outras Instalações																			
	Nº fogos		Nº Industria		1,15	3,45	6,9	10,35	13,8	17,25	20,7	24,15	27,6	31	34,5	36,3	41,4	Un	kVA
Fj	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
nó2																			
nó3																		1	60
nó4																		1	80

Tabela 6: Entrada de dados do tipo de cabo a utilizar em cada troço.

Ramos			Chegada ? = X
Cabo/Condutor			
	Tipo(*)	Comp.	
	Ver Tabela	m	
2	LVAV 3x185+95	32	
3	LSVAV 4x95	30	X
4	LSVAV 4x95	22	X

De acordo com as disposições regulamentares aplicáveis, a rede elétrica deve ser protegida contra sobrecargas e curto-circuitos mediante o uso de fusíveis ou disjuntores. Para circuitos com correntes inferiores a 500 A, normalmente, são utilizados fusíveis do tipo gG, traduzindo-se numa arquitetura e operacionalização mais económica, compacta e tecnicamente mais simples da rede, associada a elevadíssima rapidez na supressão de sobreintensidades [10].

A característica de funcionamento de tempo inverso da proteção fusível, define que quanto maior for o valor da corrente de CC, menor deverá ser o tempo de corte. Como já referido anteriormente no subcapítulo 2.2.3., o cenário de máxima corrente de defeito aos terminais do QGBT de um PTD ocorre quando a impedância da canalização em defeito é mínima. A medida que o defeito se afasta do QGBT a corrente de defeito diminui, aumentando o tempo de corte do fusível. Haverá um comprimento máximo de afastamento do QGBT que se deve ter em conta para que o fusível de proteção atue de forma correta. Isto porque a partir deste comprimento máximo, qualquer defeito que ocorra no circuito apresentará um valor de corrente de CC suficientemente baixa para se confundir com uma corrente residual, não sendo detetada pela proteção, que não atuará. A não atuação do fusível fará com que ocorra na canalização um defeito permanente, de baixa intensidade, mas que é suficientemente perigoso para as pessoas e bens.

A Equação 3.1 indica a expressão de cálculo do valor mínimo da corrente de CC fase-neutro capaz de fazer atuar a proteção, à qual corresponde o valor máximo da impedância de defeito do circuito, determinada pelo comprimento máximo. As condições de cálculo da corrente de CC correspondem à temperatura de 145 °C em regime adiabático (isolado de qualquer troca de calor) e redução de 5% do valor da tensão nominal [10].

$$L_{MaxCC} = \frac{0,95 \cdot U_S}{Z_{CCFN} \cdot I_{gG5s}} \quad (3.1)$$

onde,

- L_{MaxCC} é o comprimento máximo do cabo para garantir que o fusível determinado irá atuar com um tempo inferior a 5 segundos (km);
- U_S é a tensão nominal (V);
- Z_{CCFN} é a impedância máxima de defeito da canalização fase-neutro (Ω/km);
- I_{gG5s} é o valor máximo da corrente de defeito para que o determinado fusível atue em menos de 5 segundos (A).

O fator 0,95 é uma aproximação relacionado com o decréscimo de 5% da tensão nominal quando ocorre um CC. Na prática, essa diminuição da tensão ocorre porque ao aumentar o valor da corrente sucede um efeito cascata, aumentando a temperatura e a resistência e, conseqüentemente a queda de tensão. Por este fato é considerado uma aproximação da diminuição da tensão de 5%.

O valor de Z_{CCFN} é o somatório entre a resistência da fase a 145 °C ($R_{F 145\text{ °C}}$) e a resistência do neutro a 145 °C ($R_{N 145\text{ °C}}$). Na Tabela 7, apresentam-se os valores destas resistências dos cabos subterrâneos enterrados diretamente no solo normalizados pela E-Redes.

Tabela 7: Valores das resistências dos cabos em função da temperatura [10].

Secção mm ²	$R_{F 20\text{ °C}}$ Ω/km	$R_{N 20\text{ °C}}$ Ω/km	$R_{F 145\text{ °C}}$ Ω/km	$R_{N 145\text{ °C}}$ Ω/km	$Z_{CC 145\text{ °C}}$ Ω/km
LSVAV 4 x 16	1,910	1,910	2,872	2,872	5,744
LSVAV 4 x 35	0,868	0,868	1,305	1,305	2,611
LSVAV 4 x 95	0,320	0,320	0,481	0,481	0,962
LVAV 3 x 185 + 95	0,164	0,320	0,247	0,481	0,728

O valor de I_{Gg5s} é obtido através da curva característica corrente – tempo do fusível a utilizar. A Figura 19 representa um exemplo de curva característica corrente – tempo do fusível “Bussmann Class Gg/gL, 500Vac” entre os calibres 35 e 400 (A).

Por norma, a E-Redes utiliza os valores apresentados na Tabela 8 para determinar os valores máximos das correntes de defeito que cada calibre de fusível atuará em menos de 5 segundos.

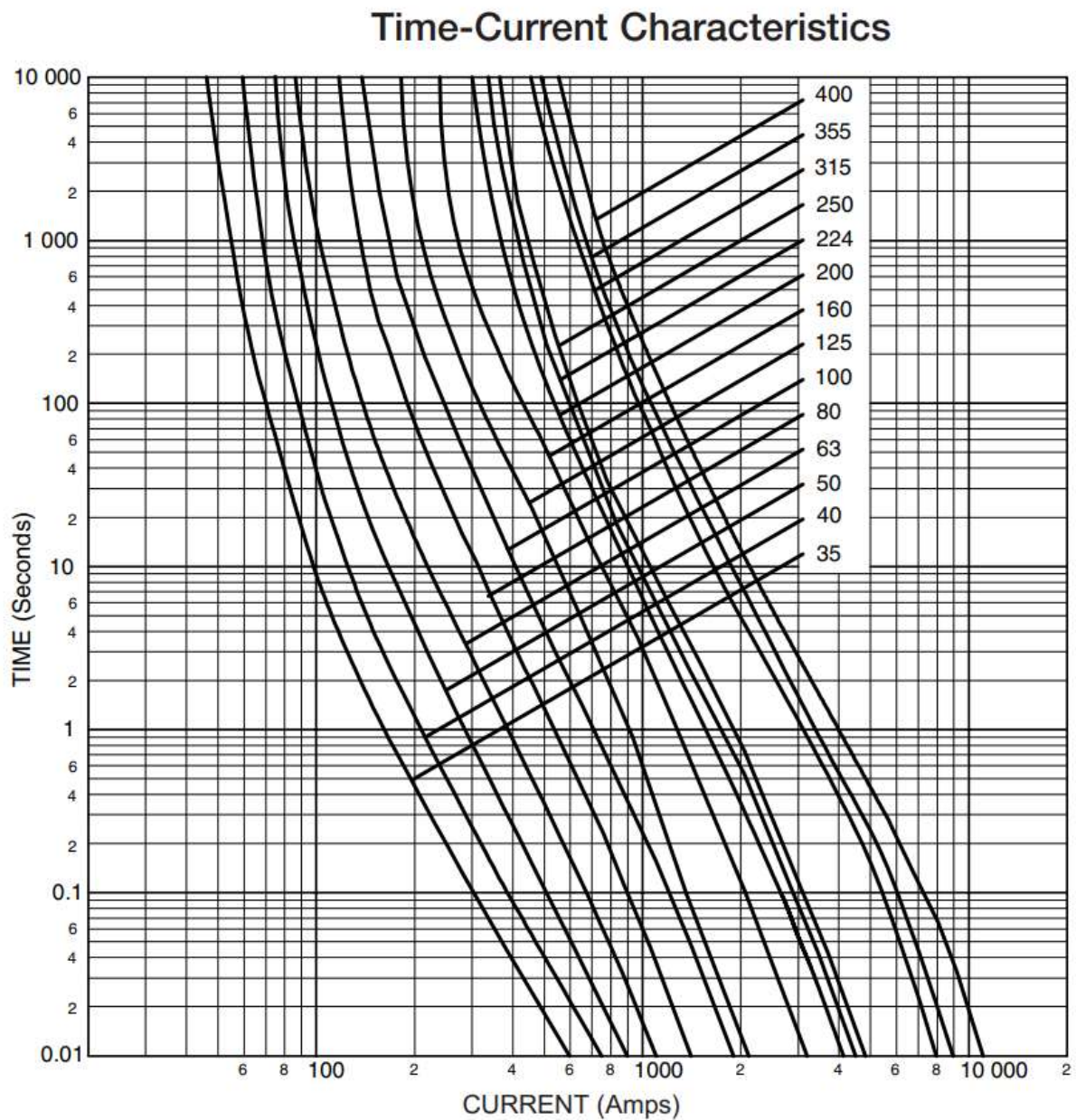


Figura 19: Curva característica corrente – tempo do fusível “Bussmann Class Gg/gL, 500Vac” entre os calibres 35 e 400 [12].

Tabela 8: Valores máximos das correntes de defeito que cada calibre de fusível atuará em menos de 5 segundos [10].

Icc mín. (A) (t < 5s)	Calibre Fus. (A)
65	16
85	20
110	25
150	32
190	40
250	50
320	63
425	80
580	100
715	125
950	160
1250	200
1650	250
2200	315
2840	400
3800	500

Pode-se observar que os valores da Tabela 8 e o gráfico da curva característica corrente-tempo não são coincidentes. Como é de se esperar, as diferentes marcas de fusíveis não possuem exatamente os mesmos valores das curvas características. Com este pressuposto, foi determinado, pela E-Redes, um padrão a ser seguido para o cálculo do dimensionamento da RBT.

Para obter o valor da queda de tensão é necessário ter os dados conforme a equação 2.15. para efetuar os devidos cálculos. Neste ficheiro de Excel é considerado um FP de 0,9 e o circuito numa temperatura de 70°C. O valor da reatância dos condutores é desprezado.

Inserindo os valores da potência e do tipo de cabo a utilizar são obtidos os valores das correntes e da secção do condutor. Os valores da resistividade são pré-definidos no ficheiro e seus valores variam conforme o tipo de material do cabo. Na tabela 9 apresentam-se os valores da resistividade em função do tipo de cabo.

Tabela 9: Resistividade dos tipos de cabos.

Tipo	ρ [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (20°C)]
CU	0,0178
AL	0,0303
XS	0,0178
LXS	0,0303
VAV	0,0178
LSVAV	0,0303
LVAV	0,0303
LSVV	0,0303

Para obter os valores das correntes de CC, é fundamental possuir os dados necessários para efetuar os cálculos, conforme a equação 2.15. Os parâmetros necessários são a tensão simples (para o caso de um CC fase-neutro), resistividade do condutor, comprimento do trecho e secção do cabo.

A rede de baixa tensão normalmente é explorada em rede radial. Este modo de exploração baseia-se a partir de um ponto de alimentação e por linhas que vão se ramificando, sem nunca se encontrarem num ponto comum. No dimensionamento da RBT é de extrema importância caracterizar o seu modo de exploração. A Tabela 10 representa o campo de inserção de dados onde, com combinações de 0 e 1 é definida a topologia da rede. De forma simples, indicar a topologia da rede é referenciar, por exemplo, de onde vem e/ou para onde segue a alimentação de um Armário de Distribuição.

A Tabela 11 representa o resultado final do dimensionamento da RBT proposto pelo projetista. Após realização destes cálculos, é verificado se há eventuais problemas de dimensionamento que possam colocar a rede em condições de sobrecarga, quedas de tensão elevadas, não proteção do circuito em caso de defeito, ausência de seletividade das proteções ou possíveis disparos intempestivos.

Da análise da Tabela 11, verifica-se que na coluna alerta não há indicação de possível sobrecarga em nenhum troço da rede ($I_s > I_N$).

A máxima queda de tensão verifica-se na saída 4 do PTD 1, sendo 2,58% da tensão nominal no lote 10. Como já referido no subcapítulo 2.2.2., o máximo admissível para a QDT na canalização da RBT é de 8%, sendo o recomendado 5% nas áreas urbanas. Sendo assim, o nível da tensão encontra-se dentro da regulamentação aplicável.

Em relação ao sistema de proteção contra CC, conclui-se, da análise da Tabela 11, que todos os fusíveis estão dimensionados de forma a garantir a proteção. No entanto, nalguns casos o projetista assumiu utilizar shunts ao invés de fusíveis de proteção, como por exemplo entre os armários de distribuição AD 3.1 – AD 3.2 e AD 4.1 – AD 4.2 (quando na coluna “ $I_N(A)$ ” não é indicado valor do calibre de proteção, entende-se como shunt). Do ponto de vista da proteção do circuito esta não é a melhor solução, estes troços não deveriam dispensar a utilização de fusíveis de proteção, pois a sua utilização interfere na seletividade do circuito. A não utilização de um correto fusível nestes troços pode causar um disparo desnecessário na rede a montante.

Após terem sido detetados as deficiências da rede proposta pelo projetista, optou-se por propor outra solução que permitisse ultrapassar os problemas mencionados anteriormente e, simultaneamente, diminuísse a QDT máxima no circuito.

Optou-se por realizar um estudo que garantisse uma seletividade da área de interferência de cada PTD. Com este pressuposto, a solução alternativa considera os armários AD 4.1 e AD 4.2 alimentados através do PTD 2.

Será realizada uma comparação entre as duas propostas para verificar qual delas apresenta melhores resultados.

A Figura 20 representa o esquema de implantação da RBT sugerida para a realização do estudo. Optou-se por alimentar o AD 4.1 e AD 4.2 a partir do PTD 2. O cabo entre o PTD 1 e o AD 4.1 fica para reserva futura, se necessário.

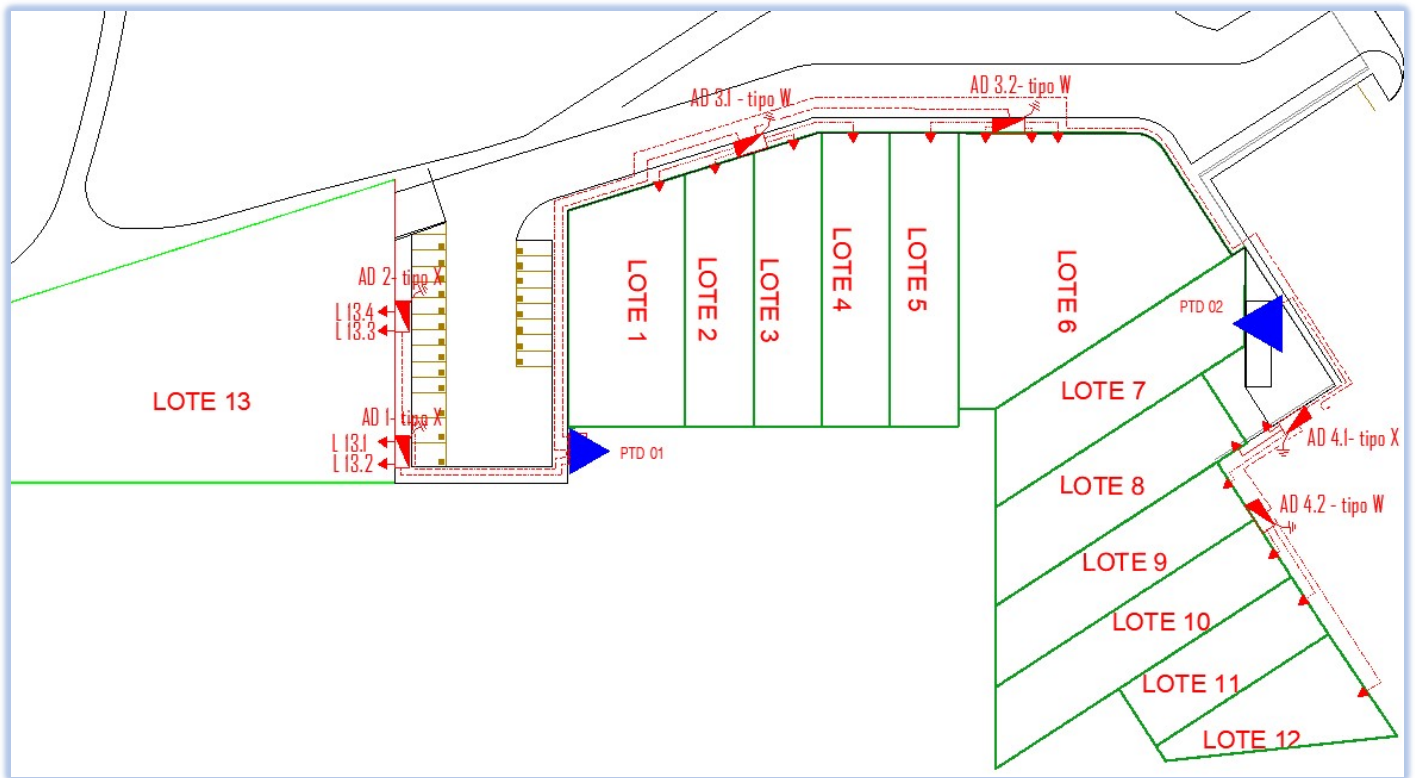


Figura 20: Implantação da rede de baixa tensão sugerida.

A Figura 21 representa o esquema unifilar do modo de exploração da RBT a ser estudado. Nota-se que foi considerado a alimentação do AD 4.1 pelo PTD 2, diferentemente do proposto no projeto inicial. Será explicado a seguir o motivo das mudanças de algumas proteções.

A Tabela 12 representa o resultado final do dimensionamento da RBT referente ao esquema unifilar da Figura 21.

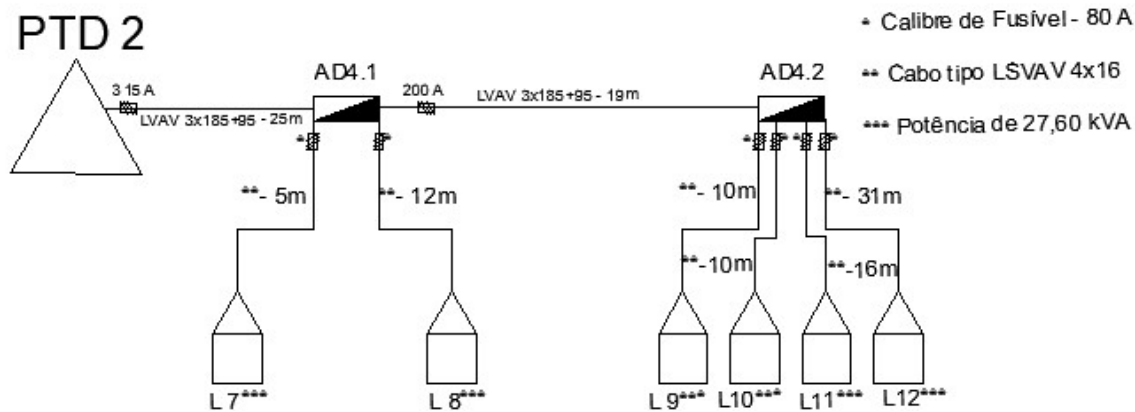
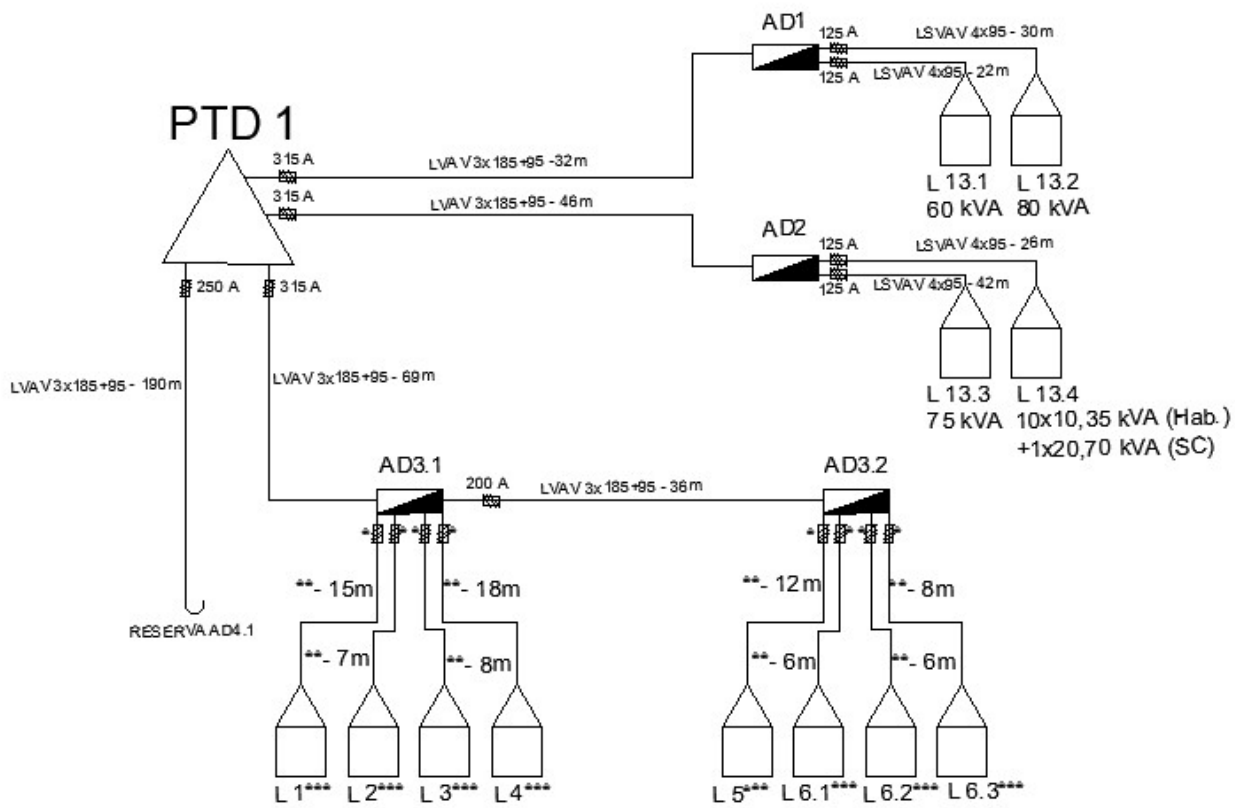


Figura 21: Esquema unifilar do modo de exploração sugerido.

A Figura 23 representa o esquema da RIP que inicialmente foi submetido para análise.

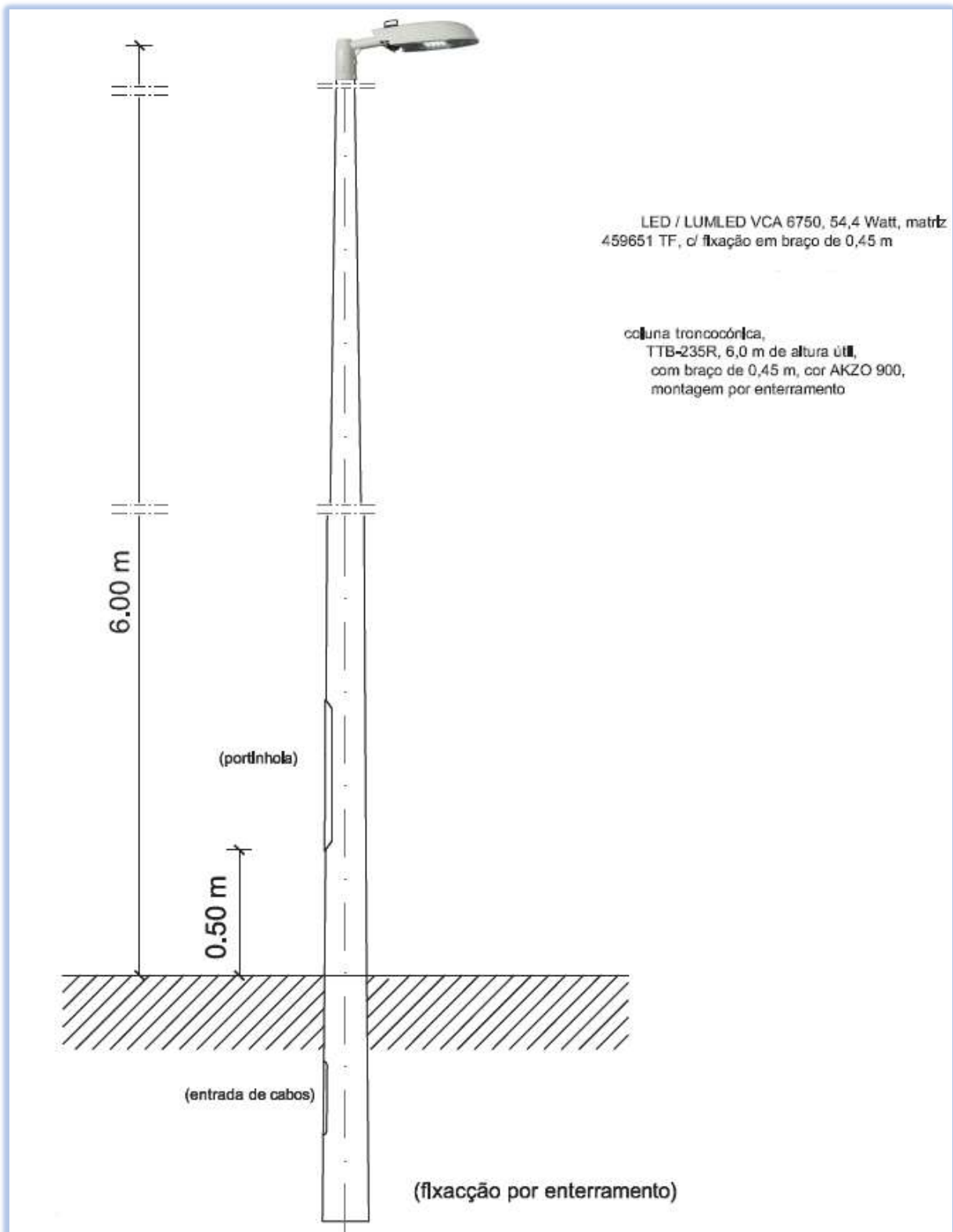


Figura 22: Pormenor da coluna e da luminária da rede de iluminação pública.

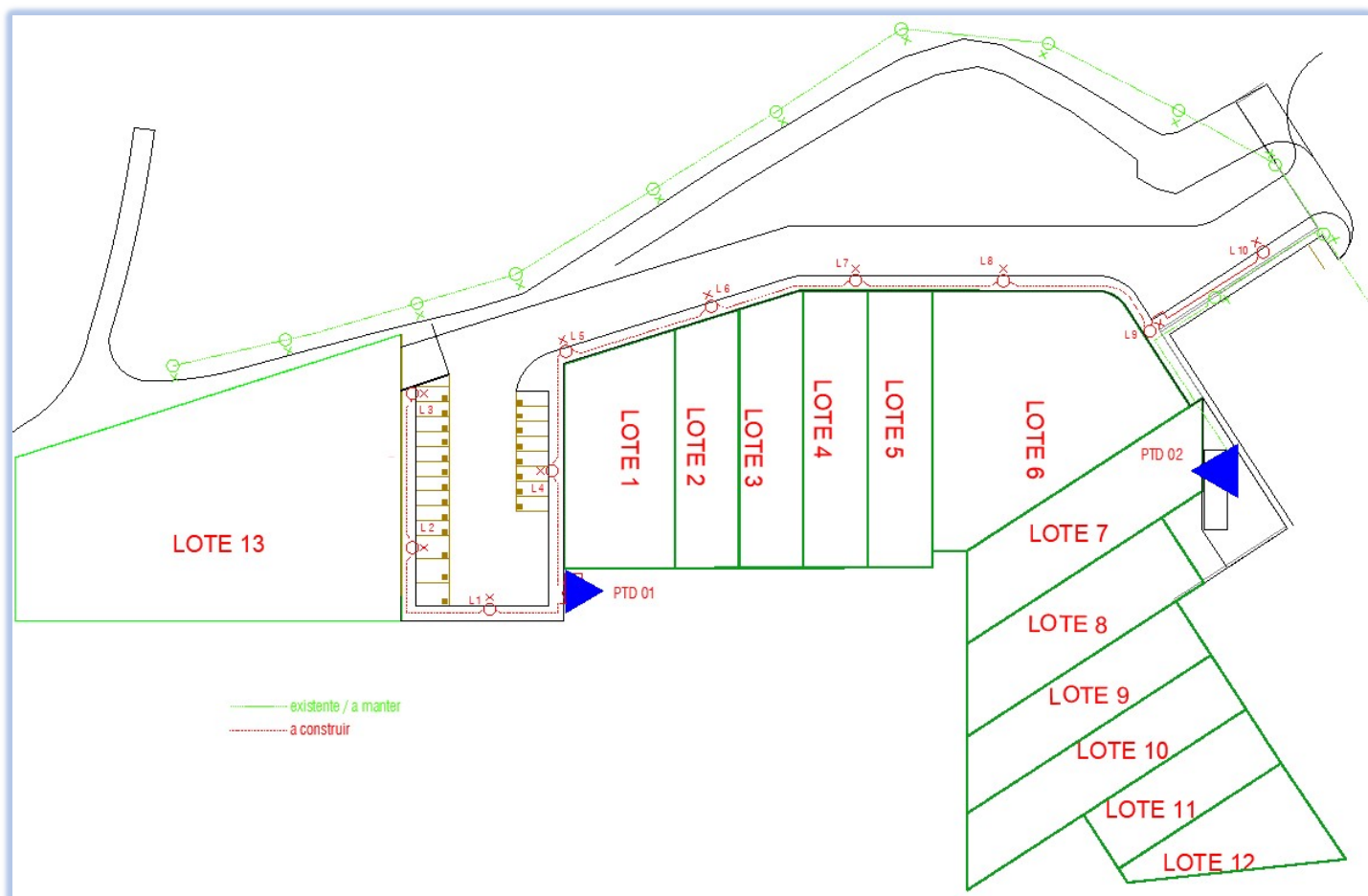


Figura 23: Esquema da rede de iluminação pública remetida inicialmente.

Percebe-se que a rede de Iluminação Pública a construir não interfere com a existente. Entretanto, é possível verificar que parte da iluminação pública do PTD 2 está numa zona de influência do PTD 1. Com base neste pressuposto, foi considerado ponderar uma sugestão para a implantação da RIP. A Figura 24 representa a proposta estabelecida para sugerir ao projetista, nota-se que foi considerado manter a zona de influência de cada PT. Sugeriu-se, a partir da luminária “L3”, alimentar a rede existente e interromper/abrir o circuito nas luminárias existentes próximas a “L10”. Desta maneira, parte da rede existente, agora, será alimentada pelo PTD 1, garantindo que a RBT e a RIP estejam numa mesma zona de influência.

A Tabela 13 representa o cálculo justificativo da RIP. Optou-se por escolher um fusível de 16 A caso futuramente seja necessário expandir a rede de iluminação pública. Como já foi visto, quanto maior a distância, menor será a corrente de CC, consequentemente menor tem que ser o calibre do fusível para garantir a proteção do circuito. As luminárias novas já usam a tecnologia LED, que tem um consumo de energia bastante inferior comparado com as luminárias mais antigas (Vapor de Sódio e Vapor Mercúrio por exemplo), assim sendo, a intensidade da corrente na RIP, normalmente, não atinge os 16 A.

A Figura 25 representa o esquema unifilar da RIP referente a proposta estabelecida

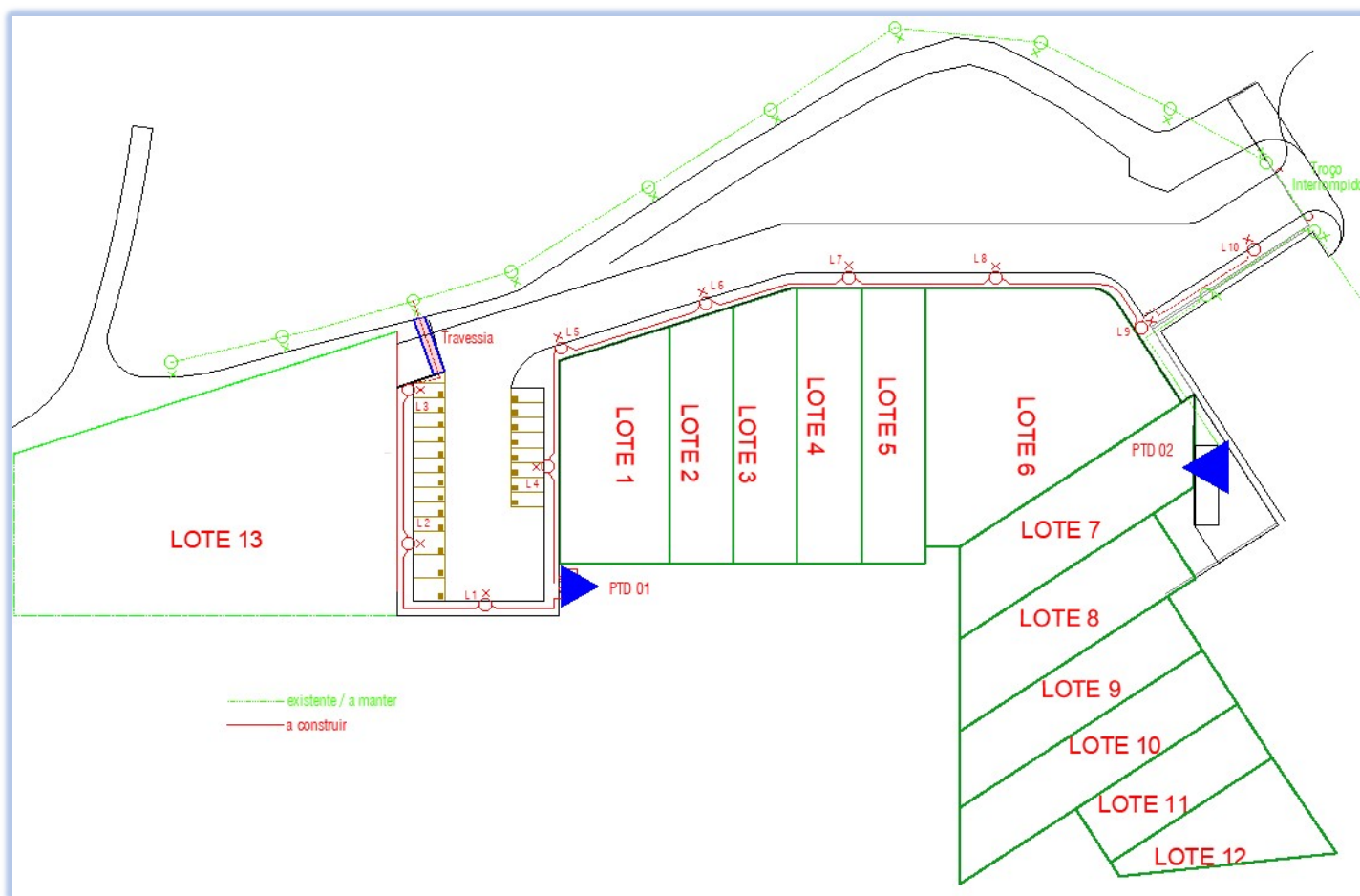


Figura 24: Esquema da rede de iluminação pública sugerida.

Tabela 13: Dimensionamento da rede de iluminação pública sugerida.

Cálculo de Rede de BT de Projecto de Serviço Público

Ramo	Troço	Fogos (Un)	Indust. (Un)	Qt inst. (Un)	Pot. (kVA)	Tipo (cabos)	S(fase) (mm ²)	Comp (m)	Is (A)	In (A)	Alerta !	Iz (A)	If (A)	1,45Iz (A)	q.d.t. (parcial) (%)	q.d.t. (total) (%)	Icc Real (A)	Fusíveis a utilizar			
																		I'n (A)	Icc min (A)	Lmáx. (m)	Dispensa
1	PTD 1 - L10			7	0,4	LSVAV 4x16	16	155	0,5	50		90	80	131	0,08	0,08	261	16	65	640	NÃO
2	PTD 1 - L3			13	1,2	LSVAV 4x16	16	62	1,7	80		90	128	131	0,10	0,10	653	16	65	640	NÃO
3	L3 - LY			8	0,8	LSVAV 4x16	16	165	1,2	32		90	51	131	0,18	0,27	178	--	--	--	SIM
4	L3 - LX			2	0,2	LSVAV 4x16	16	98	0,3	50		90	80	131	0,03	0,12	253	--	--	--	SIM

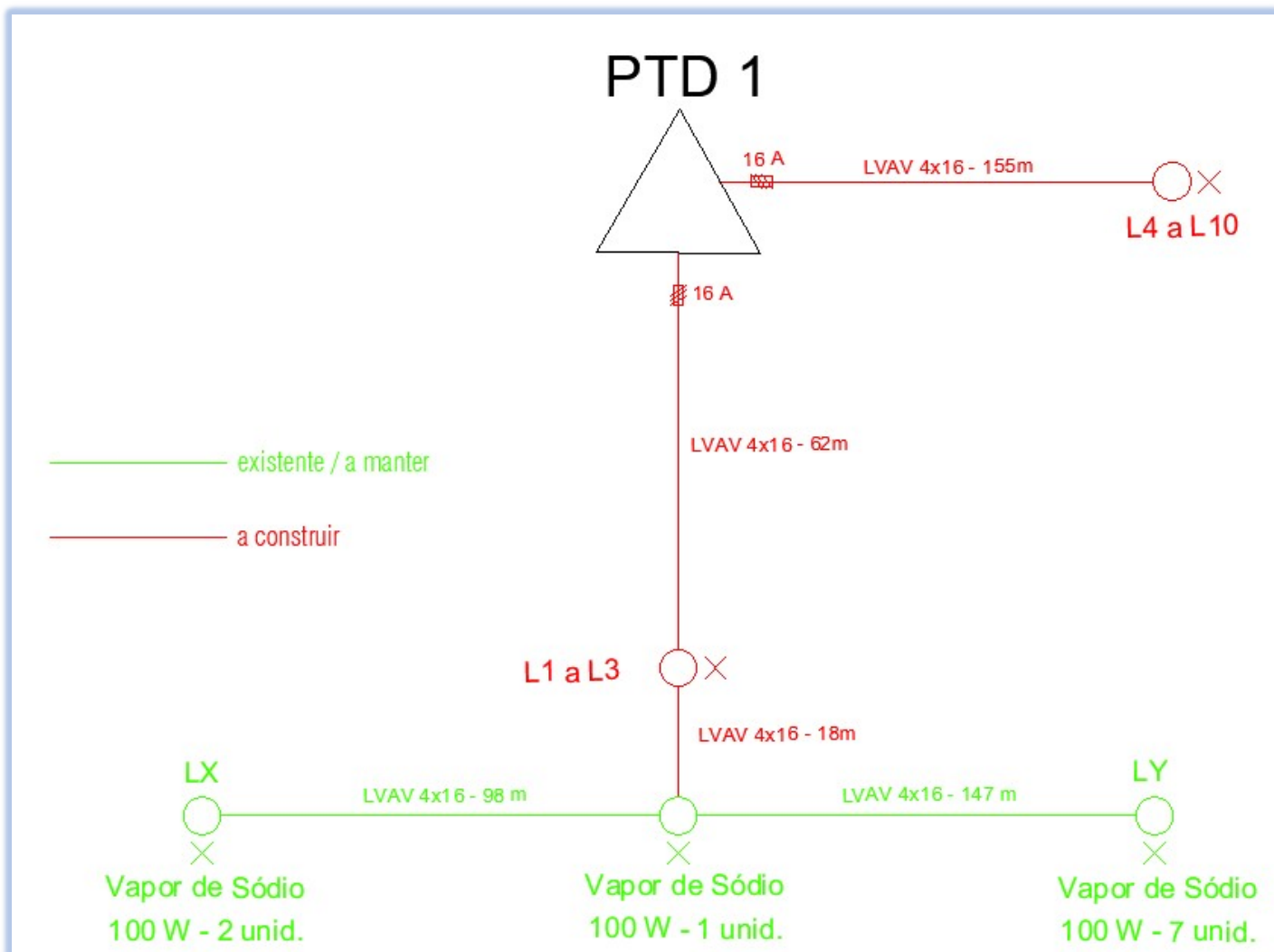


Figura 25: Esquema unifilar da rede de iluminação pública sugerida.

A análise dos projetos de serviço público tem como objetivo mitigar o máximo possível eventuais problemas que podem surgir com a implantação do projeto e procurar propor soluções que garantam o melhor funcionamento possível da rede elétrica. Deste modo, garantindo o bom funcionamento das infraestruturas elétricas, satisfação e segurança dos consumidores finais.

Neste projeto em questão, após interações com o projetista, foi dado o seu seguimento com as propostas de melhorias da rede BT e IP sugeridas.

4. Projetos de Média Tensão

A Rede de Média Tensão (RMT) tem normalmente início nas saídas das subestações que transformam alta tensão para média tensão. A MT no Algarve tem uma tensão de 15 kV. Na Figura 26 vê-se uma pequena ilustração do percurso da energia elétrica que normalmente é realizado desde o início da produção até o consumidor final. A RMT é uma rede de distribuição, em média tensão, que tem o objetivo de alimentar os Postos de Transformação.

O Posto de Transformação (PT) é uma instalação que tem como objetivo receber a linha de média tensão (15 kV no Algarve) e transformar, através de um transformador de potência, para baixa tensão (230 V tensão simples, 400 V tensão composta) para a distribuição de energia elétrica aos consumidores finais.

O PT é classificado em 2 tipos:

PTD – Posto de Transformação de Distribuição, aquele que pertence e é de inteira responsabilidade da E-Redes. Sendo a fronteira entre o distribuidor de energia e o cliente, a portinhola instalada no murete do imóvel.

PTC – Posto de Transformação do Cliente, que, a jusante do equipamento de proteção e seccionamento pertence e é de inteira responsabilidade do cliente, sendo este a fronteira entre o distribuidor e o cliente.

Há vários modelos de PT, e o modelo instalado varia consoante o caso e localização. Os modelos são os seguintes:

- PT em cabine alta;
- PT em cabine baixa;
- PT em cabine subterrânea;
- PT aéreo.

Atualmente os modelos mais usados são os de cabine baixa ou aéreo, sendo que o aéreo se usa em localizações mais afastadas das cidades.

Quando é necessário a instalação de um novo posto de transformação, há necessidade de um projeto de MT, e esses projetos são realizados pela E-Redes.

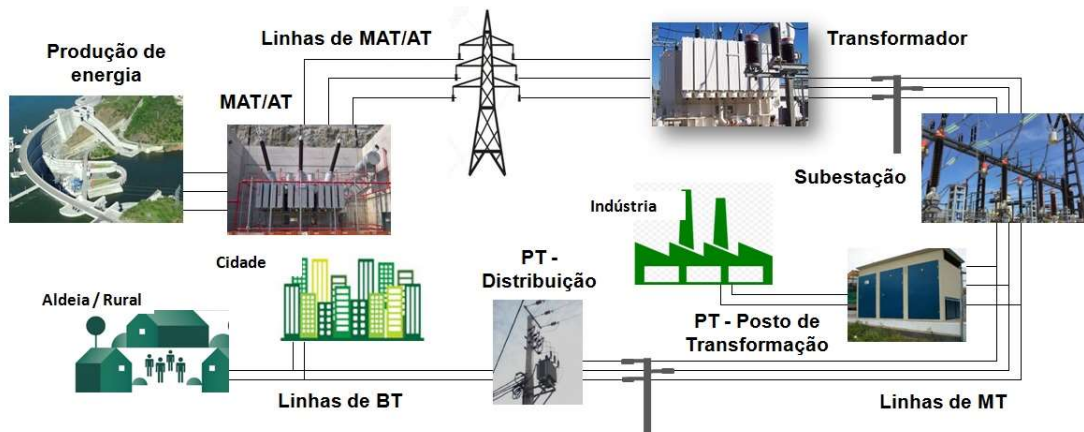


Figura 26: Demonstração do percurso da energia elétrica, desde a produção até o consumo [13].

Este capítulo terá um foco maior nas linhas de MT subterrâneas, pois até o momento só foram realizados projetos deste tipo no local de trabalho. Um projeto de MT é constituído pelos seguintes componentes:

Memória Descritiva e Justificativa - Deve conter informações breves e sintetizadas do objetivo do projeto e sua localização e uma breve descrição de como será feita a interceção na rede atual. Além disso, informações sobre o tipo de cabine, transformador e as condições de estabelecimento e normas.

Planta de Localização - Deve ser do tipo carta militar e estar numa escala de 1/25000.

Planta da Linha de Média tensão - Deve conter o traçado da Linha de média tensão a construir, existente e remover. Além disto, informações claras dos tipos de cabo, e orientações da localização para fácil compreensão.

Pormenor do PT - Nesta peça desenhada deve conter informações do tipo de cabine a utilizar, suas dimensões e principais características.

Esquemas Unifilares - Para compor o projeto é necessária uma peça desenhada com o esquema unifilar da média tensão e do Quadro Geral de Baixa Tensão. Quando necessário, também é preciso os esquemas unifilares da RBT e da RIP.

Planta da Rede de Distribuição em BT - No caso de ser um PTD, é necessária uma planta de implementação da rede de BT com a indicação dos traçados e pontos de entrega.

Planta da Rede de Iluminação Pública - No caso de ser um PTD, quando necessária, é preciso uma planta de implementação da rede de IP.

Pormenor de Valas Tipo - Nesta peça desenhada deve conter o perfil do tipo de vala para a MT e para a BT.

4.1. Estudo de Caso: Projeto de Média Tensão

Este caso refere-se à instalação de um Posto de Transformação do Cliente. Para manter a confidencialidade não serão indicados detalhes e informações que comprometam as pessoas envolvidas no projeto e o cliente.

Por necessidade da parte do cliente, foi requisitado o fornecimento de energia elétrica em Média Tensão para um PTC. Na Figura 27 ilustra-se a localização do ponto de entrega em MT para o PTC. Ao analisar a área de intervenção, percebeu-se que há uma LMT a passar no passeio próximo à nova instalação. Esta LMT é constituída por 3 cabos de 120 mm² do tipo LXHIOV. Atualmente, por norma, o cabo a utilizar tem secção de 240 mm² do tipo LXHIOZ1 (cbe – condutor e blindagem estanque), em casos específicos considera-se o uso deste cabo com a secção de 120 mm².

Em Portugal a Rede de Média Tensão é distribuída em 3 condutores, não possuindo a distribuição do neutro, apenas das fases. O neutro é obtido através da ligação dos enrolamentos dos transformadores de potência (MT – BT), ocorrendo a distribuição do neutro apenas em BT. Para isso, os transformadores usados, normalmente, são do tipo triângulo-estrela (Dy). Na Figura 28 é representado o esquemático de um Transformador de Potência (TP) Dy.

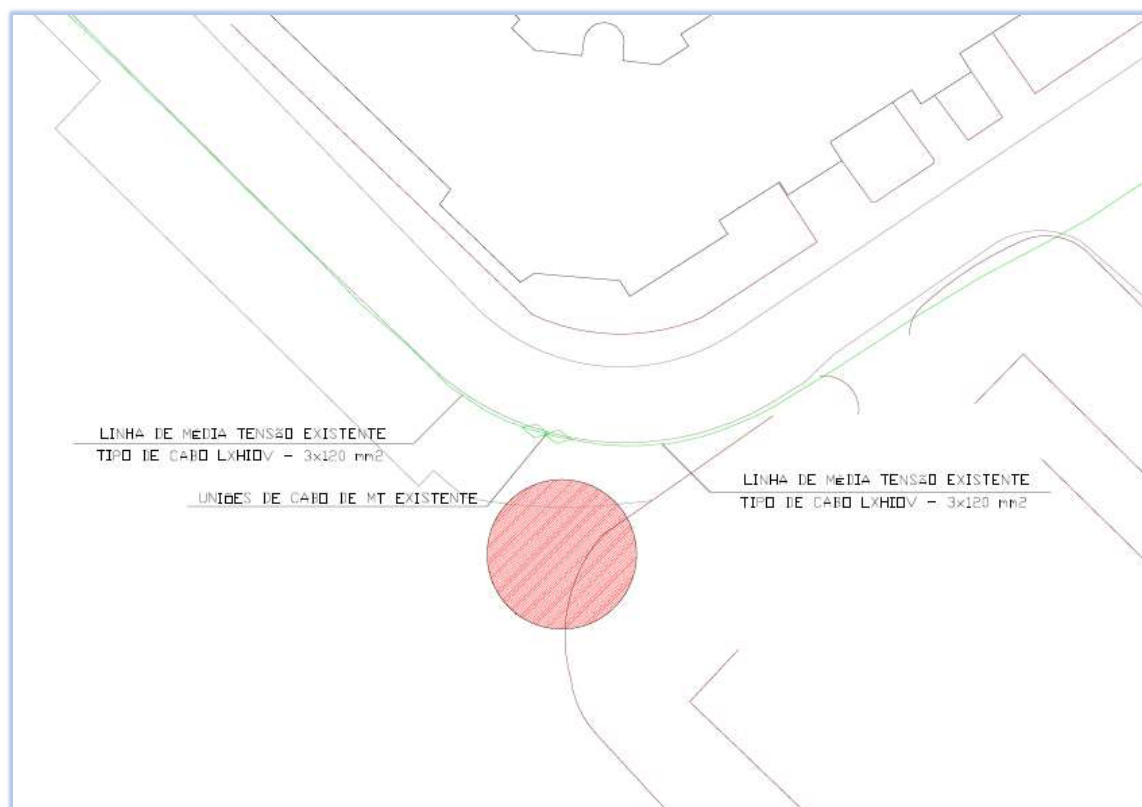


Figura 27: Planta com a localização do PTC.

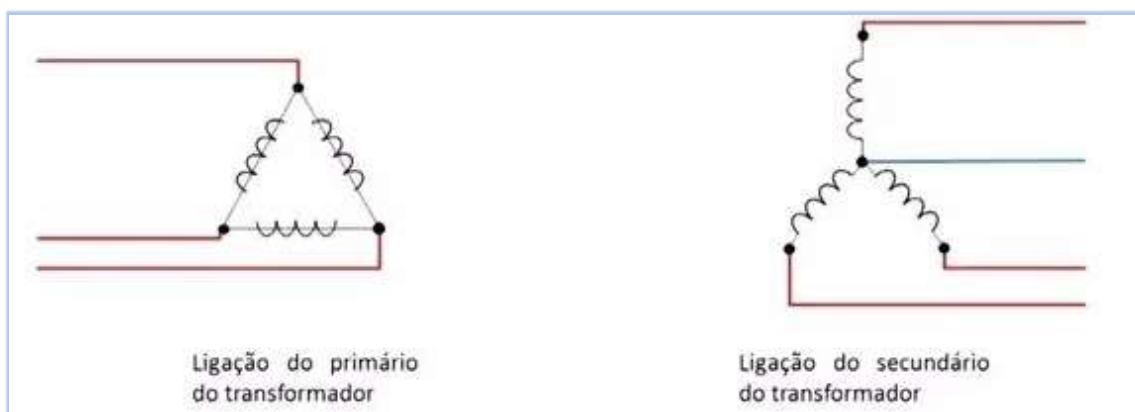


Figura 28: Representação de um transformador de potência do tipo triângulo-estrela (Dy) [14].

O modo de exploração da rede de distribuição pode afetar a qualidade de serviço entregue ao consumidor. Há diversos modos de esquemas da exploração da rede elétrica, sendo de destacar: anel aberto, anel fechado, radial e dupla derivação [15]. Os esquemas mais utilizados na distribuição em Portugal são o radial e o anel aberto. Na Figura 29 são representadas estas duas tipologias de rede.

As redes exploradas em anel aberto possuem duas linhas de alimentação, conforme a Figura 29, possibilitando a alimentação por dois caminhos diferentes. Um dos caminhos é utilizado para a alimentação em situação normal do circuito. Por outro lado, o outro caminho é utilizado em situações de defeito, obras ou qualquer outra situação que o torne necessário. É muito usual nas linhas subterrâneas e nas áreas urbanas. Por causar menos impacto aos consumidores quando há um defeito, prefere-se a exploração da RMT em anel aberto.

As redes exploradas no esquema radial (também designada como redes em antena), possuem apenas um ramal de alimentação. Neste esquema não é possível realimentar os consumidores de forma prática como na rede em anel. Este modo de exploração possui um baixo custo de instalação e, na RMT, é normalmente utilizado em áreas rurais e em linhas aéreas.

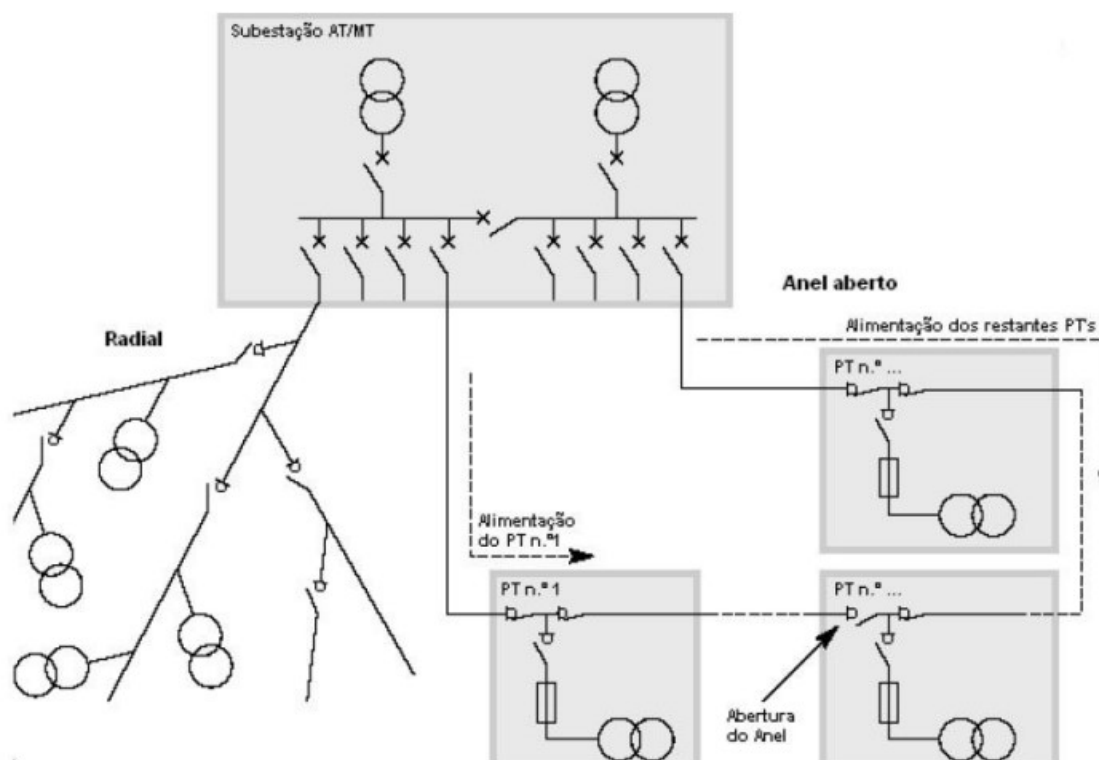


Figura 29: Representação da tipologia da rede radial e em anel [15].

Para a alimentação deste PTC foi considerado manter o tipo de exploração que a rede já possui, sendo ela em anel. Para isso é preciso interceptar a LMT a passar junto à localização do novo PTC. Na Figura 30 é representado o traçado da rede existente (verde), da rede a desmontar (amarelo) e da rede a construir (vermelho). A rede existente possui um conjunto de uniões próximo ao local do PTC, portanto, considerou-se desmontar tudo entre as uniões e executar a intercetação neste ponto. Optou-se por considerar o uso do cabo LXHIOZ1(cbe) de 120 mm² porque não teria nenhuma melhoria significativa utilizar apenas 30 metros com cabo de 240 mm² numa rede existente de mais de 1000 metros com cabo 120 mm².

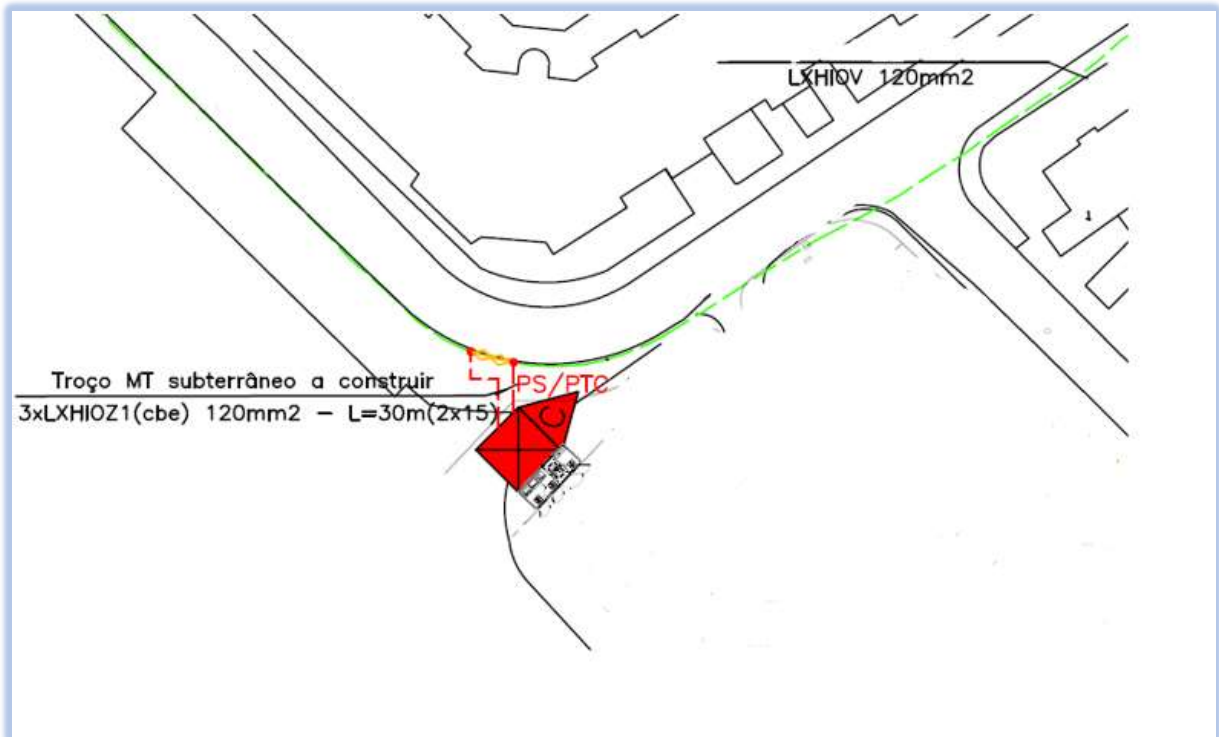


Figura 30: Traçado da rede existente, a desmontar e a construir para ligação do PTC.

A Figura 31 representa a vista superior de um PTC. À esquerda é representado o equipamento de proteção e seccionamento de MT, também designados por celas, que tem como função proteger a rede e respectivos equipamentos contra corrente de defeito e/ou sobrecargas.

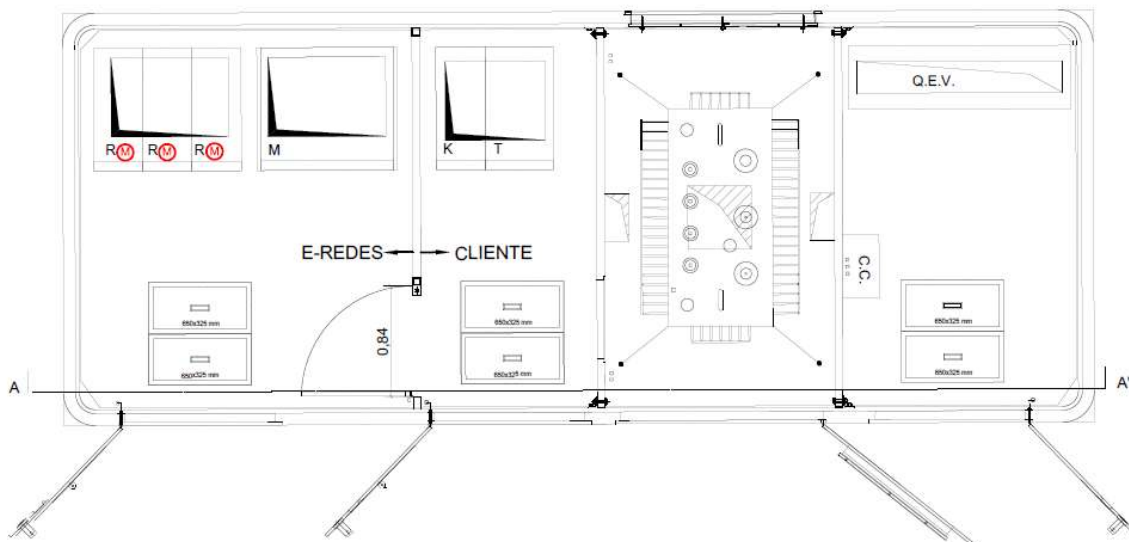


Figura 31: Vista superior de um PTC [16].

Este equipamento de proteção e seccionamento é um conjunto compacto do tipo BRA (Bloco de Rede em Anel) de corte em SF6 (Hexafluoreto de Enxofre, usado como isolante elétrico). Para PTs com transformadores de potência superiores a 400 kVA, são utilizados fusíveis de 50 A (MT) para a proteção. Numa rede equilibrada, para um transformador de 630 kVA em seu limite e uma tensão MT de 15 kV (composta), temos uma intensidade de corrente com cerca de 24,25 A em cada fase. A Tabela 14 representa as correntes máximas admissíveis deste cabo MT para várias situações possíveis. Nota-se que este fusível de 50 A é um valor entre a corrente máxima admissível pelo condutor e a corrente máxima de serviço do PT.

Tabela 14: Correntes máximas admissíveis do cabo de MT tipo LXHIOZ1(cbe) [41].

Secção do condutor (mm ²)	Enterrado o solo (1 circuito)		Enterrado no solo (2 circuitos)		Ar livre		Em tubos	
	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio
120 Al	266	325	226	279	307	336	262	288
240 Al	391	477	329	408	475	520	380	419

Há uma série de manobras para efetuar o desligamento ou a ligação, tendo também como função o desligamento da alimentação para o TP, mas mantendo a continuidade da rede MT em anel, caso seja necessário por exemplo efetuar uma substituição do TP. A área da E-Redes é de acesso exclusivo da E-Redes, onde também é instalado a cela de contagem de energia, representado nesse esquema com a letra “M”.

À direita, na área do cliente, além do equipamento de proteção e seccionamento do cliente, são representados o transformador de potência e o QGBT.

A Figura 32 apresenta o esquema unifilar de um PTC. Esta cela possui 3 compartimentos de proteção, como pode-se observar, a primeira tem função de receber a entrada de energia, a segunda é para dar continuidade à rede em anel e a terceira é para alimentar o cliente.

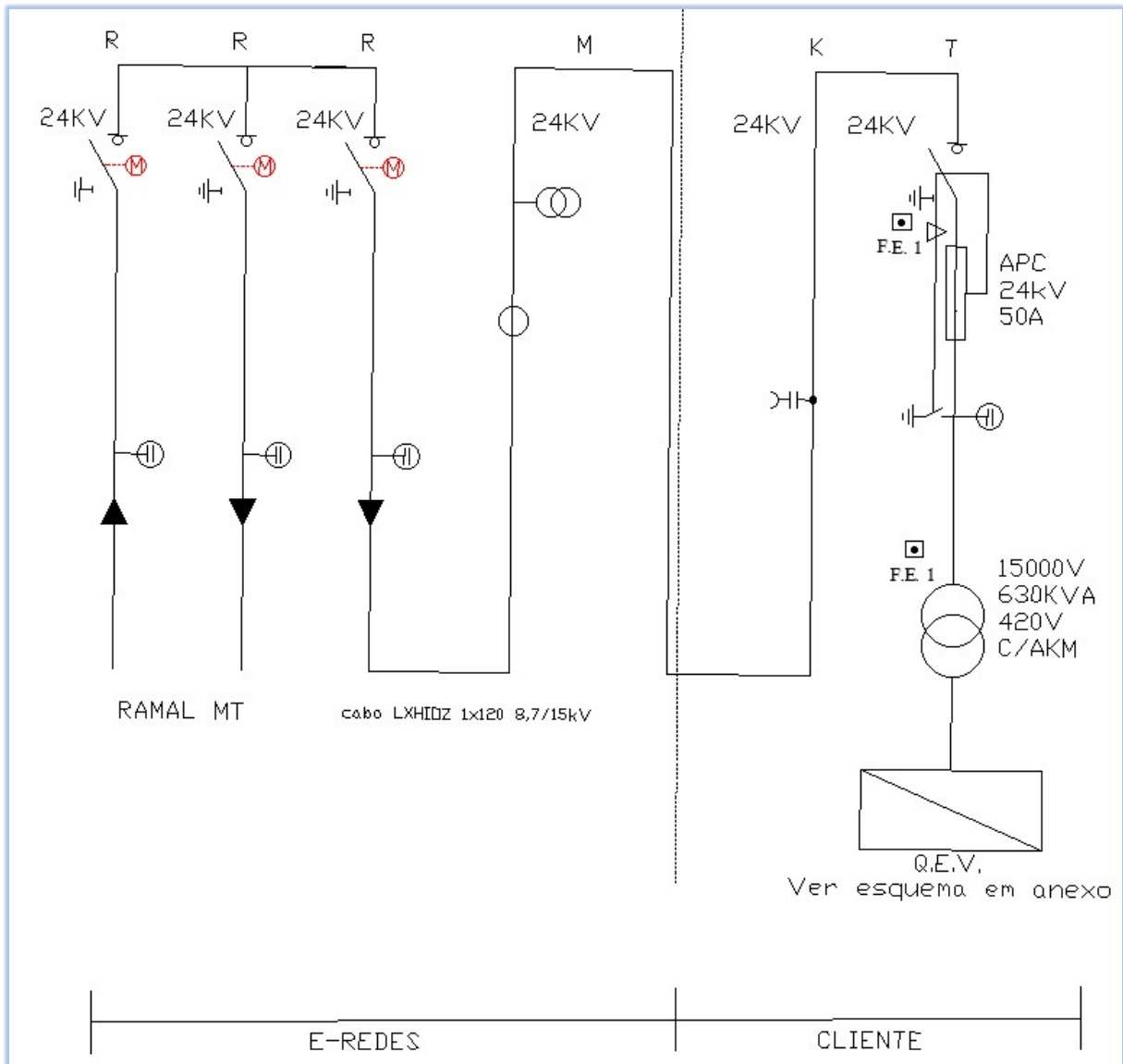


Figura 32: Esquema unifilar do PTC [16].

A Figura 33 ilustra, na prática, um equipamento de proteção e seccionamento em MT de um PT (conjunto compacto do tipo BRA de corte SF6).

Para efetuar o enterramento do cabo de MT é necessário seguir algumas regras técnicas estabelecidas pela E-Redes, sendo elas representadas na Figura 34. Salienta-se que em travessias em estradas é necessário utilizar 2 tubos de PEAD de 160 mm, um para a proteção mecânica dos condutores e outro como reserva para futura necessidade. As fitas de sinalização e o tipo de terra que estão sobre os cabos servem como proteção para quando for necessário abrir vala, sendo perceptível que há infraestruturas elétricas neste local.



Figura 33: Equipamento de proteção e seccionamento de um Posto de Transformação.

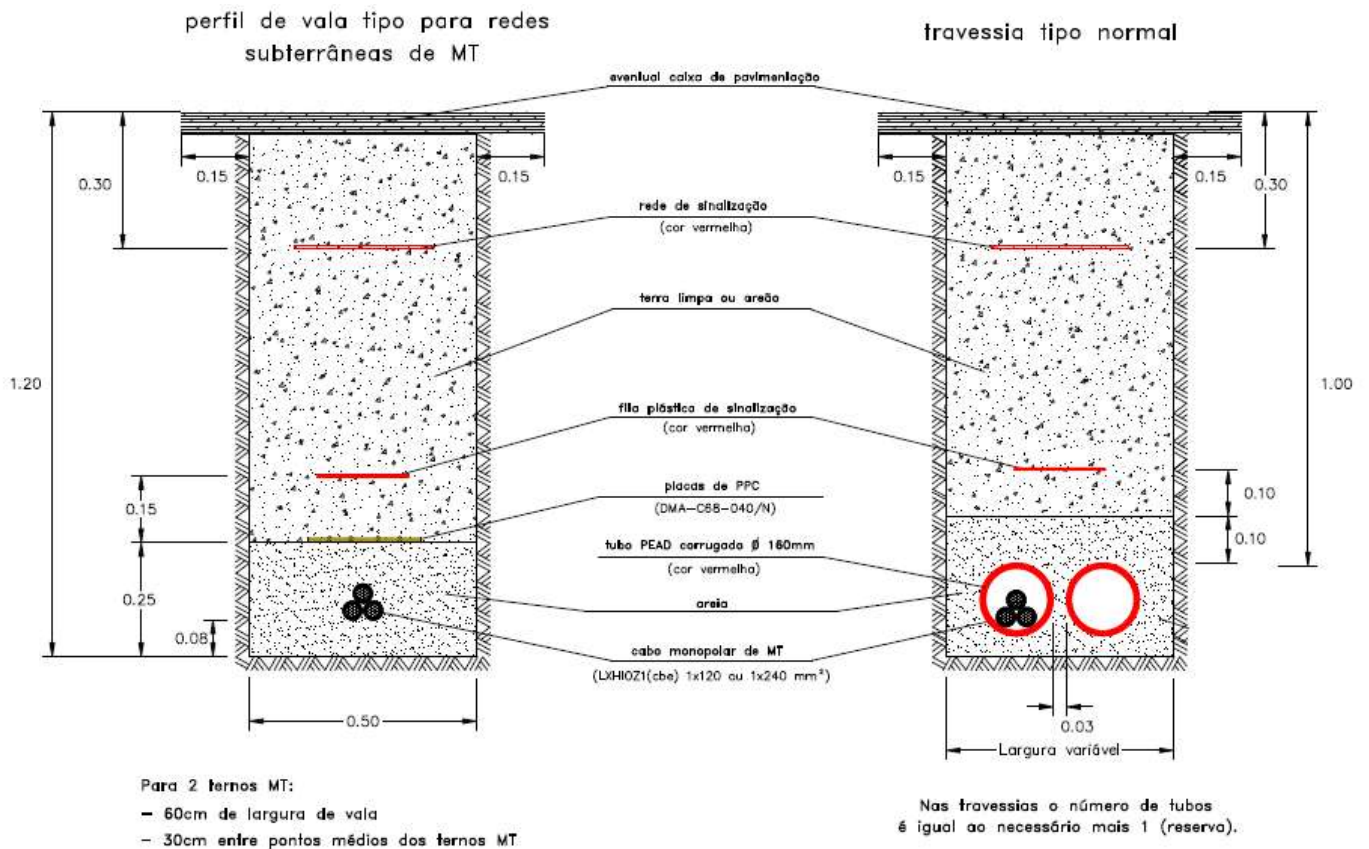


Figura 34: Pormenor da vala tipo para cabos de média tensão [16].

Com este estudo de caso pode-se perceber de uma forma geral as características da rede de média tensão, nomeadamente a rede subterrânea. A diferença mais significativa de um projeto de MT aéreo para o subterrâneo, é que há necessidade de realizar cálculos de esforços mecânicos dos apoios para a rede aérea.

5. Iluminação Pública

A iluminação assume um papel fundamental nos dias de hoje. A nível mundial, a iluminação consome cerca de 15% da eletricidade, seja ao nível de interior, exterior, decorativas, especial e de sinalização ou ao nível de Iluminação Pública (IP) [17].

Portugal enquadrou medidas e orientações na Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) e no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), sendo que estão sendo adotadas medidas de eficiência energética ao nível de Iluminação Pública [17].

A mais nova revolução da iluminação, pública e em geral, é a nova tecnologia LED (Díodo Emissor de Luz). Ela oferece um maior potencial para reduzir drasticamente os consumos, permitem mais condições de conforto visual, segurança de pessoas e bens e redução de necessidade de manutenção. O objetivo está sendo a substituição das antigas luminárias por novas de LED.

Atualmente, prevê que há 3.234.168 milhões de pontos de luz (iluminação pública) em Portugal, sendo que 1.013.107 milhões já são de LED. Isto resume-se em um consumo de 1,2 TWh [17].

A IP tem como função iluminar as vias, ruas, parques, praças e todas as zonas com tráfego humano ou que necessitem por algum outro motivo de necessidade.

À E-Redes, concessionária e operadora da rede de distribuição, atribui-se o dever de manter o bom funcionamento da rede, das instalações, da manutenção e conservação necessária, segurança e práticas de melhorias de funcionamento ao nível também da rede de iluminação pública.

Referentemente aos pedidos relacionados à IP, estes encontram-se divididos em três categorias, sendo eles, ampliação da rede IP, requalificação da RIP e ampliação da RBT com IP.

Uma rua bem iluminada, tende com que as pessoas se sintam mais seguras contra ações criminosas e sintam-se um bem-estar geral (evitação de estresse, ofuscamento, dores de cabeça, etc) [18]. Ressalta-se que uma boa iluminação não é sinônimo de muita iluminação, tanto a falta quanto o excesso de luz podem causar adversidades ou riscos, como por exemplo problemas de visão, cansaço e acidentes. Com este pressuposto, todos os projetos de

iluminação públicas devem seguir os parâmetros estipulados na Norma Europeia de Iluminação Pública (EN 13201) [19].

5.1 Luminotecnia

Luminotecnia é o estudo da aplicação de iluminação artificial tanto em espaços exteriores como interiores. Estes estudos são estabelecidos como ponto de partida a noção fundamental de fluxo luminoso (radiação total emitida pela fonte de luz), o qual se define a partir da curva que relaciona a sensibilidade da vista humana com o comprimento de onda das radiações eletromagnéticas que se transmitem sob a forma de luz.

5.1.1 Luz e Radiação Eletromagnética

A radiação eletromagnética é uma forma de energia composta pela junção do campo elétrico com campo magnético que se propagam simultaneamente no espaço (vácuo). A radiação eletromagnética contém então uma reunião de fenómenos que podem ser definidos pelo seu comprimento de onda.

A luz pode ser estabelecida como a radiação eletromagnética com um comprimento de onda capaz de produzir uma perceção no olho humano. A luz então consiste em um comprimento de onda da radiação eletromagnética que é perceptível ao olho humano. O espectro visível encontra-se entre os comprimentos de onda de aproximadamente 380 a 780 nanómetros [nm] [20]. A Figura 35 representa o espectro eletromagnético, indicando o intervalo que é perceptível ao olho humano.

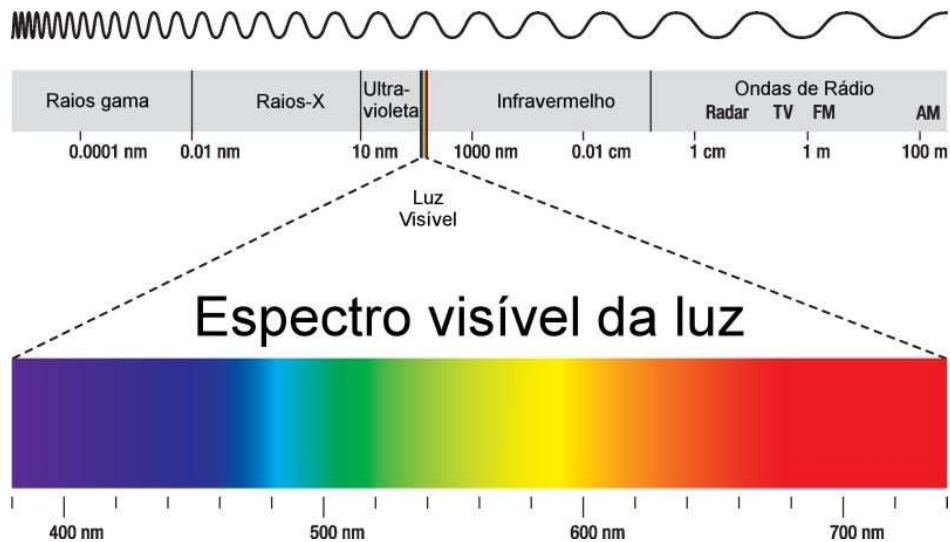


Figura 35: Indicação do espectro eletromagnético perceptível a olho humano [20].

O comprimento de onda, λ , é definido pela seguinte equação [21]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5.1)$$

onde,

- c , é a velocidade de propagação da luz (é uma constante igual a 300.000 km/s);
- f , é a frequência.

5.1.2 Fluxo Luminoso

O Fluxo Luminoso, Φ , é a quantidade total de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa, e sua unidade de medida é o lúmen (lm). O lúmen pode ser definido como a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1 m² feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio (ângulo sólido de um esterradiano), por uma fonte puntiforme de intensidade luminosa igual a 1 cd (Candela) em todas as direções e posicionada no centro.

5.1.3 Intensidade Luminosa

A Intensidade Luminosa (I) é a concentração de luz emitida numa dada direção e sua unidade de medida é a candela (cd). Pode ser definida pelo fluxo luminoso emitido por uma fonte de iluminação numa determinada direção por unidade de ângulo sólido.

Um ângulo sólido (ω) define-se como o quociente entre o elemento de área na superfície da esfera e o seu raio ao quadrado, conforme a equação 5.2 [21]. A unidade do ângulo sólido é o esferoradiano (sr). A Figura 36 é uma representação de uma esfera com raio r no centro coincidindo com o vértice do cone. Tem-se a superfície do cone com uma área A que é proporcional ao ângulo sólido.

Uma fonte de luz não emite habitualmente um fluxo luminoso constante em todas as direções, porém considerando um cone suficientemente estreito e com o seu vértice situado na fonte de luz, pode-se considerar que o fluxo luminoso emitido neste cone é uniforme, conforme representado pela Figura 37.

$$\omega = \frac{A}{r^2} \quad (5.2)$$

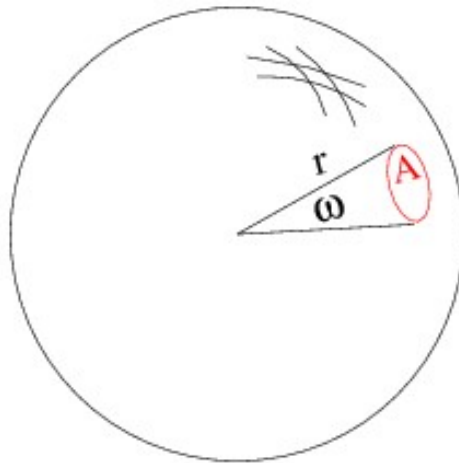


Figura 36: Representação de uma esfera com raio r no centro coincidindo com o vértice do cone.

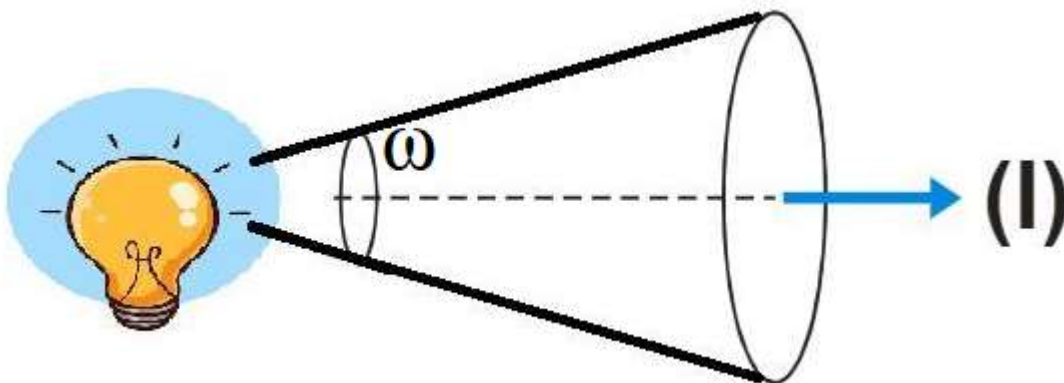


Figura 37: Representação da intensidade luminosa [22].

A intensidade luminosa pode ser expressa pela razão da concentração de fluxo luminoso pelo ângulo sólido:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (5.3)$$

De uma forma resumida, a intensidade luminosa é o quanto de luz é emitido em um feixe de ângulo (ω), quanto mais concentrado é este feixe, menor é o ângulo e mais intensa é a luz.

5.1.4 Curva de Distribuição Luminosa

A Curva de Distribuição Luminosa refere-se a uma representação, que geralmente é um diagrama polar, em que é considerado no centro deste gráfico uma fonte luminosa reduzida em um ponto e representando a intensidade luminosa em todas as direções por vetores.

Na Figura 38 é representada uma breve explicação de como são obtidas as curvas longitudinais e transversais da intensidade luminosa de uma fonte de luz exemplo. Nota-se que na vista longitudinal temos um raio de visão de 90° a 270° e na transversal um raio de 0° a 180°.

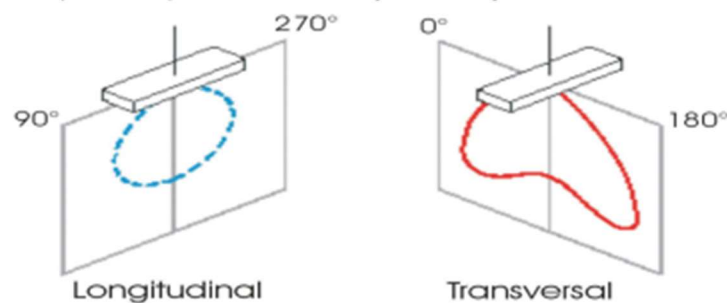


Figura 38: Curva de distribuição luminosa, vista longitudinal e transversal [23].

5.1.5 Eficiência Luminosa

A Eficiência Luminosa ou Rendimento Luminoso, η , é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela fonte de luz e a potência consumida (W) da lâmpada. A Equação 5.4 representa a relação mencionada para se obter a Eficiência Luminosa que tem como unidade de medida lumens/W:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (5.4)$$

Verifica-se na Equação 5.4 que quanto maior for o fluxo luminoso e menor for a potência, maior será o rendimento. Então, quanto maior a eficiência, menor será o consumo ao se comparar com uma lâmpada que possui um rendimento menor e que se pretendem terem as mesmas condições de iluminação.

5.1.6 Iluminância

A Iluminância, E , é a relação entre o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície por unidade de área (m^2). A unidade de medida é o lux (lx), ou lúmen/ m^2 . Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de uma unidade de área, sobre a qual atinge verticalmente um fluxo luminoso de uma unidade. A Equação 5.5 representa a expressão para a iluminância.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (5.5)$$

A Figura 39 representa visualmente o significado de iluminância. Utiliza-se esta grandeza, normalmente, como parâmetro para a iluminação. Na Norma Europeia de Iluminação Pública EN 13201 [19], por exemplo, determina que para uma rua principal com velocidade menor ou igual a 50 km/h, para veículos motorizados, lentos, ciclistas e peões, deve-se dispor de uma iluminância média de 15 a 20 lux.

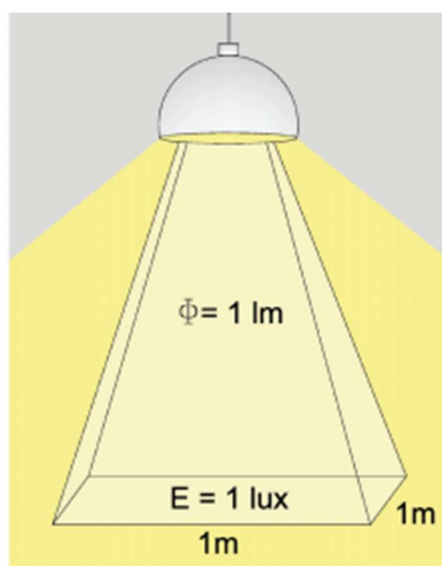


Figura 39: Representação da Iluminância [23].

5.1.7 Luminância

A Luminância [L] é a intensidade luminosa refletida, numa dada direção, sobre uma área, cuja unidade de medida é cd/m^2 . É através da luminância que é possível visualizar os objetos. Caso não haja uma reflexão da intensidade luminosa que incide sobre um determinado objeto, não será possível, a olho humano, vê-lo.

A Equação 5.6 é a expressão que define a luminância [23]:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\alpha)} \quad (5.6)$$

A Figura 40 é uma representação visual da definição de Luminância. Nota-se que a luminância depende também do ângulo de reflexão. Quanto mais próximo de zero for o ângulo de reflexão, maior será a luminância.



Figura 40: Representação da Iluminância [23].

5.1.8 Uniformidade

A Uniformidade Geral, U_0 , e a Uniformidade Longitudinal, U_1 , são fatores importantes para o conforto e a visão. Quanto maior for a uniformidade para uma determinada superfície, melhor será a distribuição de iluminância.

A uniformidade geral é a relação entre o valor da iluminância mínima e o valor de iluminância média de uma determinada superfície, conforme a equação 5.7 [24]:

$$U_0 = \frac{E_{\text{mín}}}{E_{\text{méd}}} \quad (5.7)$$

A uniformidade longitudinal é o quociente entre o valor da iluminância mínima e o valor de iluminância máxima longitudinal de uma determinada superfície, conforme a equação 5.8 [24]:

$$U_l = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad (5.8)$$

5.1.9 Fator de Depreciação

O sistema de iluminação possui, ao longo do tempo, uma depreciação no seu nível de iluminância. O fator de Depreciação é a relação entre o fluxo luminoso no fim de sua vida útil e o fluxo luminoso no início, na sua instalação. Esta depreciação ocorre por causa de dois principais fatores:

- Redução do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas ao longo da sua vida útil;
- Sujidade que se fixa sobre as lâmpadas, luminárias e envolventes;

5.2 Norma Europeia de Iluminação Pública EN 13201

Ao realizar um projeto de iluminação pública, deve-se ter em consideração o cumprimento rigoroso dos critérios estabelecidos pela legislação aplicável, que neste caso é a Norma Europeia de Iluminação Pública EN 13201 [19].

Esta norma está segmentada em quatro partes, sendo elas:

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

5.2.1 EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação

Esta parte da norma oferece orientações sobre a seleção de classes de iluminação conforme o tipo de via a que se destina a iluminação. Distinguem-se três categorias de vias:

interurbanas, urbana e rural. Estas categorias estão divididas em diferentes tipos de vias, conforme apresentado na Tabela 15.

Cada situação de iluminação pode ser classificada dentro de um grupo com determinadas características, de acordo com a Tabela 16, que caracteriza um conjunto apropriado de situações de iluminação.

Tabela 15: Categoria da via vs. tipo de via [19].

Categoria da via	Tabela	Tipo de via
Interurbana	1	Autoestrada Estrada nacional Estrada Secundária
Urbana	2	Autoestrada urbana Circunvalação Estrada periférica Estrada de entrada em zona habitada ou não habitada
	3	Avenida Via secundária Via de serviço
	4	Via comercial Via pedonal Pista de ciclismo Passeio Rotunda
Rural	5	Via de acesso a localidade Rua principal Via transversal Loteamento Rotunda

Tabela 16: Grupo de situações de iluminação [25].

Velocidade típica do usuário principal [km/h]	Tipos de usuário na mesma área relevante			Conjunto de situações de iluminação	
	Usuário principal	Outro usuário permitido	Usuário excluído		
> 60	Tráfego motorizado		Veículos lentos Ciclistas Pedestres	A1	
			Veículos lentos	Ciclistas Pedestres	A2
			Veículos lentos Ciclistas Pedestres		A3
> 30 e <= 60	Tráfego motorizado Veículos lentos	Ciclistas Pedestres		B1	
	Tráfego motorizado Veículos lentos Ciclistas	Pedestres		B2	
	Ciclistas	Pedestres	Tráfego motorizado Veículos lentos	C1	
> 5 e <= 30	Tráfego Motorizado Pedestres		Veículos lentos Ciclistas	D1	
			Veículos lentos Ciclistas	D2	
	Tráfego motorizado Ciclistas	Veículos lentos Pedestres		D3	
	Tráfego motorizado Veículos lentos Ciclistas Pedestres			D4	
Velocidade de caminhada	Pedestres		Tráfego motorizado Veículos lentos Ciclistas	E1	
		Tráfego motorizado Veículos lentos Ciclistas		E2	

As Tabelas 17 e 18 referem-se aos valores de luminância média recomendada, para as vias interurbanas onde as velocidades máximas permitidas são entre 70 e 130 km/h.

As Tabelas 19 e 20 apresentam os valores de iluminância média aconselhada para as vias urbanas, para as quais as posições de observação são múltiplas e não permitem exprimir valores de luminância significativos, com uma velocidade máxima permitida de 50 km/h.

Por fim, a Tabela 21 apresenta o nível de luminância média para localidades em zonas rurais.

Tabela 17: Vias Interurbanas - Nível de luminância média (cd/m²) [19].

Quadro	Tipo de Via	Características	Luminância média (cd/m ²)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Illum.	Situações
1	AUTOESTRADA INTERURBANA	Complexidade: normal Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: >= 3 km				A1
	Vias separadas Velocidade <= 130 km/h Apenas veículos motorizados	15000 <= Densidade tráfego <=25000	1	1,5	ME3	
		Densidade tráfego >=25000	1,5	2	ME2 ME1	
3	ESTRADA NACIONAL INTERURBANA	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: não Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: <= 3 km				A2
	Via única Velocidade <= 90 km/h Veículos motorizados Veículos motorizados lentos Ciclistas	Densidade de tráfego <= 7000	1	1,5	ME3	
		Densidade de tráfego <= 25000	1,5	2	ME2	
		Densidade de tráfego >= 25000	1,5	2	ME2 ME1	
4	ESTRADA SECUNDÁRIA INTERURBANA	Complexidade: normal Densidade de tráfego: normal Distância entre acessos: <= 3 por km				B2
	Velocidade <= 90 km/h Veículos motorizados Veículos motorizados lentos Ciclistas		0,75		ME4	
				1	ME3	

Tabela 18: Vias Urbanas - Nível de luminância média [19].

Quadro	Tipo de Via	Características	Luminância média (cd/m ²)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Ilum.	Situações
2	CIRCUNVALAÇÃO AUTOESTRADA URBANA	Complexidade: normal Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: >= 3 km				A1
	Vias separadas Velocidade <= 110 km/h Apenas veículos motorizados	15000 <= Densidade tráfego <=25000	-	1,5	CE2	
		Densidade tráfego >=25000	-	2	CE2	
5	ESTRADA DE ENTRADA EM CIDADE	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: não Tráfego de ciclistas: existente Cruzamentos >= 3 por km Densidade de tráfego: elevada				B1
	Via única Velocidade <= 70 km/h Zona sem habitações Zona industrial Veículos motorizados Ciclistas Peões		1	1,5	ME3 ME2	
6	ESTRADA DE ENTRADA EM LOCALIDADE	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: normal Cruzamentos >= 3 por km Densidade de tráfego: elevada				B2
	Velocidade <= 70 km/h Zona habitada Veículos motorizados Veículos motorizados lentos Ciclistas Peões		-	1,5	ME2	

Tabela 19: Vias Urbanas - Nível de iluminância média (lux) [19].

Quadro	Tipo de Via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Illum.	Situações
7	VIA URBANA IMPORTANTE (PRAÇA, AVENIDA)	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: normal Cruzamento >= 3 por km Densidade de tráfego: elevada				B2
	Velocidade <=50 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		-	20	CE2	
8	VIA URBANA SECUNDÁRIA (RUA, AVENIDA)	Complexidade: normal a elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: normal Cruzamento <= 3 por km Densidade de tráfego: normal				B2
	Velocidade <=50 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		10	15	CE4, CE3	
9	SERVIÇO RODOVIÁRIO (RUA)	Complexidade: normal ou elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas ou peões: normal/elevado Risco de agressão: normal ou elevado Reconhecimento da face: necessário				D1 D2 D3 D4
	Velocidade <=30 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas		10	15	CE4, CE3	

Tabela 20: Vias Urbanas - Nível de iluminância média (lux) [19].

Quadro	Tipo de Via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Illum.	Situações
10	VIA ZONA COMERCIAL	Risco de agressão: elevado Reconhecimento da face: necessário Dificuldade de circulação: elevada Densidade de peões: normal ou elevada				D2
	Velocidade <=30 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		-	20	CE2	
11	VIA PEDONAL ISOLADA DA ESTRADA	Risco de agressão: elevado Reconhecimento da face: necessário Densidade de peões: normal ou elevada			S3 a S2 S2 a S1 CE2	E1
	Apenas peões		7,5 a 10	15 a 20		
12	VIA DE PEÕES PISTA PARA CICLISTAS ADJACENTE A UMA ESTRADA	Risco de agressão: normal Reconhecimento da face: necessário Densidade de peões: normal a elevada			S3 a S2 S2 a S1	E2 C1
			7,5 a 10	15		
13	PRAÇAS, ROTUNDAS	Múltiplas intercepções Densidade de tráfego: elevada Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim ou não Reconhecimento da face: necessário Risco de agressão: normal	Via de acesso mais iluminada	Praça ou rot. Respectiva		
	Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		20	30	CE1	
			15	20	CE2	
			10	15	CE3	
			7,5	10	CE4	

Tabela 21: Vias Rurais - Nível de iluminância média (lux) [19].

Quadro	Tipo de Via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Ilum.	Situações
14	VIA DE ACESSO A LOCALIDADE	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: sim Tráfego ciclista: normal Cruzamento >=3 por km				B1
	Velocidade <=70 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		15	20	CE3	
15	VIA DE TRAVESSIA RUA PRINCIPAL	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: sim Tráfego ciclista: normal Cruzamento >=3 por km				B2
	Velocidade <=50 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		-	15 a 20	CE3	
16	VIA TRANSVERSAL	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: sim Tráfego ciclista: normal Cruzamento >=3 por km				D2
	Velocidade <=50 km/h Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		7,5 a 10	10	CE5 CE4	
17	LOTEAMENTO	Risco de agressão: normal Reconhecimento da face: necessário Dificuldade de tráfego: normal				D2
	Velocidade <=30 km/h Veículos motorizados Ciclistas Peões		10	15	CE4 CE2	
13	PRAÇAS, ROTUNDAS	Múltiplas intercepções Densidade de tráfego: elevada Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim ou não Reconhecimento da face: necessário Risco de agressão: normal	Via de acesso mais iluminada	Praça ou rot. Respectiva		
	Veículos motorizados Veículos lentos Ciclistas Peões		20 15 10 7,5	30 20 15 10	CE1 CE2 CE3 CE4	

5.2.2 EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados

Pode-se definir uma classe de iluminação por um conjunto de requisitos fotométricos que visam as necessidades visuais de determinados utilizadores da estrada em certos tipos de áreas rodoviárias e de ambientes.

O objetivo da introdução de classes de iluminação é facilitar o desenvolvimento e uso de produtos e serviços de iluminação viárias nos países membros do CEN (Comitê Europeu de Normalização) [26].

As classes de iluminação e suas respectivas características são as seguintes:

- Classes ME – aplicam-se a vias de trânsito, onde se verifique a circulação de veículos motorizados, no qual é permitido velocidade média e alta;
- Classes CE – é semelhante às classes ME, mas aplicável em áreas conflituosas, como ruas de comércio, cruzamentos rodoviários, rotundas e zonas com congestionamento de trânsito. Estas classes aplicam-se também em situações em que a via permite circulação de pedestres e ciclistas;
- Classes S e A – aplicam-se em área pedonais para peões e ciclistas, ciclovias, faixa de trânsito para veículos de emergência e outras vias que se encontrem desagregados de uma via normal de circulação (áreas de estacionamento por exemplo);
- Classes ES – são classes adicionais e específicas aplicáveis em situações em que seja necessário a identificação de pessoas e objetos, em zonas onde há um risco mais elevado de criminalidade;
- Classes EV – são também classes adicionais e específicas, aplicáveis em situações que sejam necessárias visualizar superfícies verticais (zonas de portagem por exemplo).

Os requisitos das classes de iluminação refletem a categoria do utilizador em questão ou o tipo de via. Desta maneira, as classes ME definem-se em função da luminância da superfície da via, enquanto, as classes CE, S e A baseiam-se na iluminância da via. As classes ES são definidas em função da iluminância semicilíndrica, e as classes EV na iluminação do plano vertical.

5.2.3 EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos

Nesta parte da Norma situam-se os métodos de cálculo que permitem obter as características desejadas para cumprimentos das normas. São então definidas as metodologias e cálculos matemáticos para se obter os parâmetros fotométricos da iluminação pública, tendo em consideração a norma EN 13201-2 [27].

5.2.4 EN 13201-4: Método de medida das performances fotométricas

Na EN 13201-4 são especificados os procedimentos que deve ter em consideração quando se vai efetuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública.

Estes procedimentos devem ser considerados apenas com o objetivo de medição. Quando as medições são realizadas para efeitos de comparação com os valores calculados, elas devem ser rigorosamente realizadas, de forma a ser feita uma comparação válida. No entanto, quando o objetivo das medições é monitorar o estado da instalação, é possível que a medição a efetuar não seja tão abrangente e compreenda localizações mais espaçadas.

As convenções para a posição de observação e locais de medição são os adotados na norma EN-13201-3. As condições que poderão levar a algum tipo de imprecisão nas medições estão identificadas e as precauções que permitam uma diminuição do erro estão previstas e devidamente referenciadas. Está também disponível o formato a adotar aquando da apresentação de resultados [27].

6. Projeto de Iluminação Exterior do Campus da Penha

As atividades de estágio foram complementadas com a realização de um projeto de iluminação do campus da Penha da Universidade do Algarve, que pretende otimizar a eficiência energética e qualidade de iluminação exterior do campus. Pretendeu-se propor soluções que respeitem as normas europeias em vigor e que incluam os conceitos de telegestão, os quais permitem uma diminuição significativa dos consumos de energia elétrica e melhor qualidade de iluminação dos ambientes de acordo com as normas em vigor.

O projeto de iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve teve-se em consideração dividi-lo em três partes, sendo elas:

- 1ª: Rede de Iluminação Exterior a considerar toda a RIP existente e todas as luminárias a funcionar;
- 2ª: Rede de Iluminação Exterior a considerar a RIP real, com algumas das luminárias desligadas/sem funcionar, verificado no momento do levantamento da rede;
- 3ª: Rede de Iluminação Exterior proposta.

No estudo luminotécnico foram levadas em consideração algumas áreas para serem realizados os cálculos com o auxílio do software DIALux evo, que pode ser verificado na Figura 41. Cada área desta deve ter em consideração as classes de iluminação e situações apresentadas nas Tabelas 17,18, 19, 20 e 21.

Para as zonas que possuem apenas caminho pedonal, foi considerado utilizar os parâmetros do quadro 11 “Via Pedonal Isolada da Estrada”. Para as zonas que possuem utilização conjunta por veículos motorizados, ciclistas e peões, foi considerado seguir os parâmetros do quadro 10 “Via Zona Comercial” para velocidades iguais ou inferiores a 30 km/h. A característica luminotécnica da classe de iluminação escolhida para cada caso foi de acordo com o manual de iluminação pública da EDP [28].

Na Tabela 22 são discriminadas as áreas de cálculo e suas respectivas características.

A Figura 41 representa a divisão das áreas de cálculos levadas em consideração, conforme também indicado na Tabela 22.

Tabela 22: Áreas de Cálculos e seus parâmetros de iluminação a serem seguidos [28].

Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média mínima (lux)	U ₀ mínima	Iluminância mínima (lux)
Parque de Estacionamento	CE2	20	0,4	-
Lateral ISE	S2	10	-	2
Lateral ESEC	S2	10	-	2
Fundos Quadra de Futebol	CE2	20	0,4	-
Fundos Edifício U	CE2	20	0,4	-
Fundos Biblioteca	CE2	20	0,4	-
Frente Serviços Técnicos	CE2	20	0,4	-
ESEC Frente	CE2	20	0,4	-
Entrada-ISE-ESGHT-Fundos	CE2	20	0,4	-
Em Torno Civil	CE2	20	0,4	-
Caminho Pedonal Espelho D'Água	S2	10	-	2
Beco Entrada Lateral ESEC	CE2	20	0,4	-

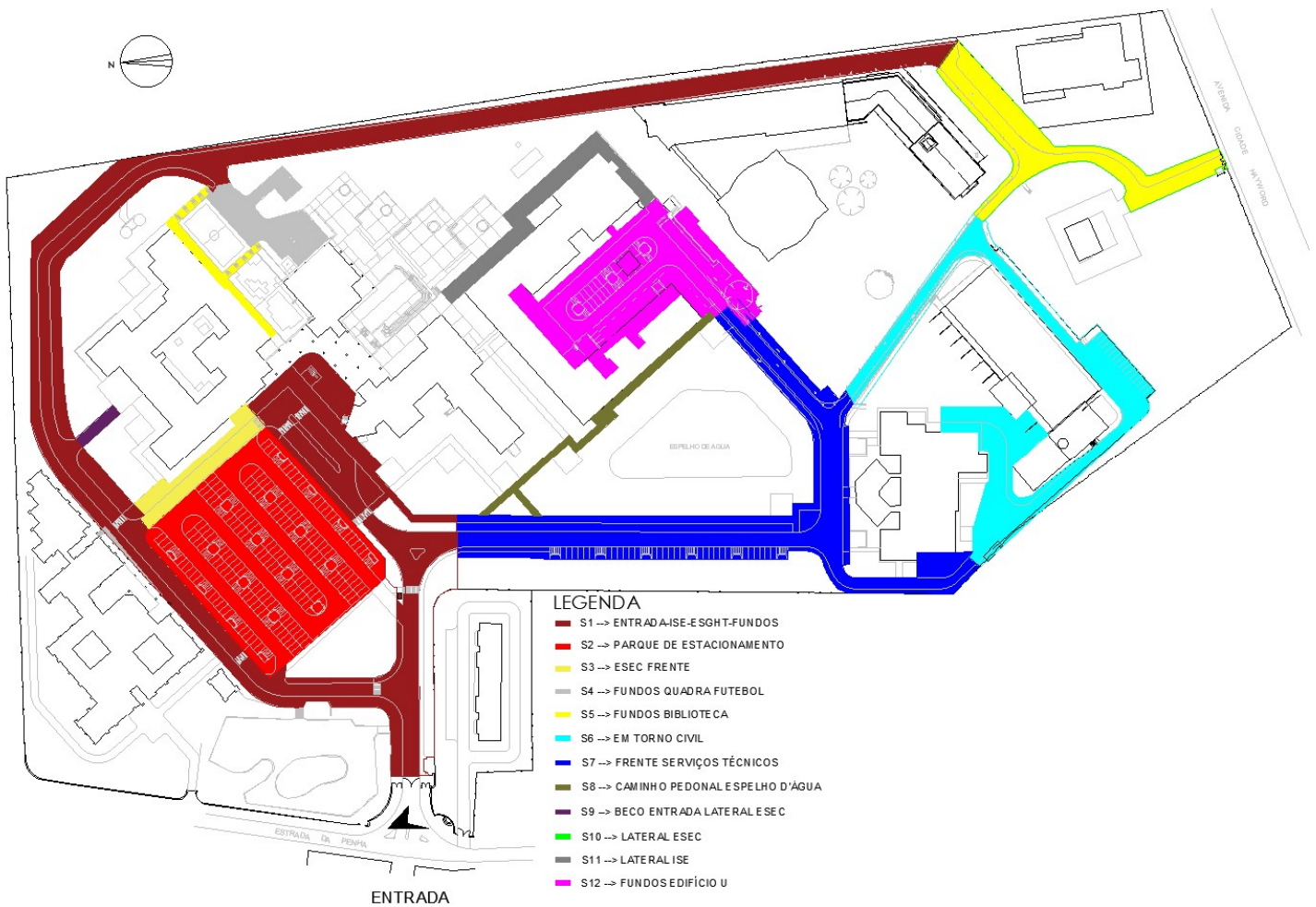


Figura 41: Zonas de cálculos.

6.1 Rede de Iluminação Exterior existente com todas as luminárias a funcionar

Neste primeiro caso foi considerado, para efeitos de cálculos, que todos os candeeiros existentes estão a funcionar em condições normais. O objetivo de realizar um cálculo que não condiz com o funcionamento atual, é verificar se a estrutura da rede de iluminação existente, considerando o tipo de luminárias que estão a ser utilizadas, garantem uma iluminação dentro das normas aplicáveis.

O Apêndice A e a Figura 42 referem-se à peça desenhada da iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve que foi a base do estudo luminotécnico deste subcapítulo.

O Apêndice B apresenta o relatório, extraído do DIALux, do cálculo luminotécnico para este caso.

Têm-se dois tipos de luminárias a serem utilizadas para a iluminação exterior no campus da penha, sendo elas:

- SYLVANIA SHP-T 150W BASIC PLUS E40 – Vapor Sódio [29];
- OSRAM Vialox nav-t 1000 – 1000W E40 – Vapor Sódio de Alta Pressão [30].

Estas lâmpadas, atualmente, podem ser consideradas obsoletas. Isto porque com os incentivos que vários países estão a realizar, a tecnologia para iluminação que predomina nos dias de hoje é a lâmpada de LED, deixando de ser utilizadas lâmpadas como Vapor Sódio, Vapor Mercúrio, Vapor Sódio de Alta Pressão, entre outras.

Não foi possível obter pelos catálogos do DIALux e nem na internet o ficheiro IES das duas lâmpadas mencionadas acima. A extensão IES possibilita exportar o modelo e as características da lâmpada para o estudo luminotécnico no DIALux. Logo, foi realizada uma pesquisa nos catálogos do software de luminotecnica com a finalidade de encontrar luminárias que mais se aproximam caracteristicamente das utilizadas no campus.

Tendo isto em consideração, as luminárias escolhidas para a realização do cálculo luminotécnico foram as seguintes:

- we-ef EFL540 [S60] IP66:HST-X4 150W/E40 [31];
- we-fe FLA780 [A60] IP66:HST 1000W/E40 [32].

Na Tabela 23 pode ser observado o resultado do cálculo luminotécnico de todas as áreas de cálculo presentes na Tabela 22. Neste resultado estão presentes as seguintes propriedades:

- \bar{E} – Iluminância média;
- $E_{\text{mín}}$ – Iluminância mínima;
- $E_{\text{máx}}$ – Iluminância máxima;
- g_1 – Uniformidade Geral [U_0];
- g_2 – Uniformidade Longitudinal [U_1].

Para as zonas com classe de iluminação CE2, deverão ser garantidos os parâmetros mínimos da iluminância média e da uniformidade geral. Para as zonas com classe de iluminação S2, deverão ser assegurados os parâmetros mínimos da iluminância média e da iluminância mínima. Ambas as situações conforme indicado na Tabela 22.

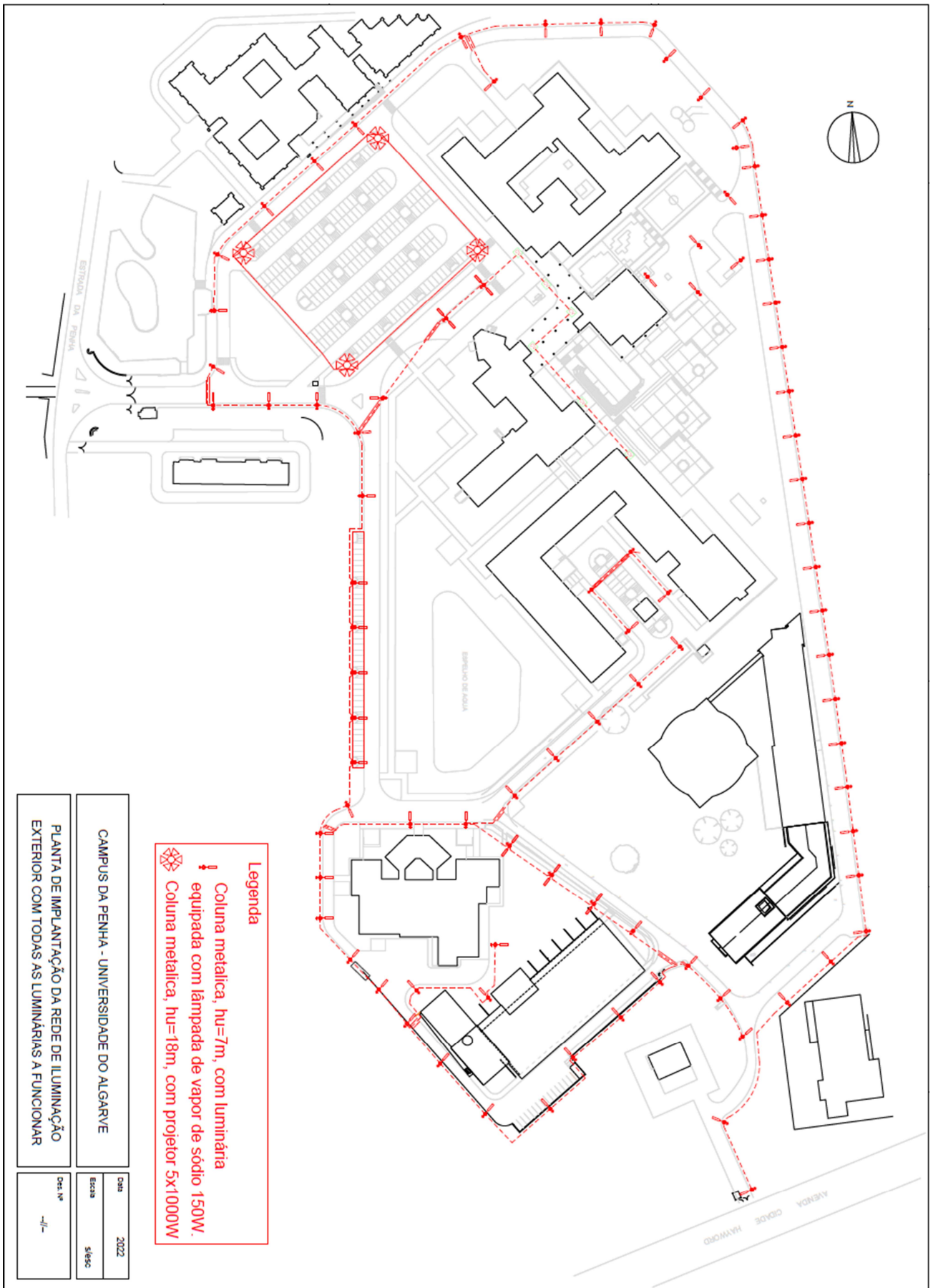


Figura 42: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.

Tabela 23: Resultado do estudo luminotécnico da situação da RIP existente com todas as luminárias a funcionar.

Objectos de cálculo						
Superfícies de cálculo						
Propriedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	43.0 lx	0.28 lx	245 lx	0.007	0.001	S1
PARQUE DE ESTACIONAMENTO Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	83.9 lx	20.9 lx	350 lx	0.25	0.060	S2
ESEC FRENTE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	111 lx	68.0 lx	212 lx	0.61	0.32	S3
FUNDOS QUADRA FUTEBOL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	2.53 lx	0.27 lx	9.34 lx	0.11	0.029	S4
FUNDOS BIBLIOTECA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	2.31 lx	0.028 lx	9.06 lx	0.012	0.003	S5
EM TORNO CIVIL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	3.12 lx	0.23 lx	8.95 lx	0.074	0.026	S6
FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	3.26 lx	0.20 lx	46.6 lx	0.061	0.004	S7
CAMINHO PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.22 lx	0.004 lx	1.47 lx	0.018	0.003	S8
BECO ENTRADA LATERAL ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	9.21 lx	5.01 lx	14.5 lx	0.54	0.35	S9
Lateral ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.61 lx	0.024 lx	12.0 lx	0.039	0.002	S10
LATERAL ISE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.029 lx	0.009 lx	0.25 lx	0.31	0.036	S11
FUNDOS EDIFÍCIO U Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	2.06 lx	0.012 lx	8.41 lx	0.006	0.001	S12

Na Tabela 24 pode-se ver que nas condições de iluminação referentes ao primeiro caso, apenas uma das áreas (ESEC Frente) cumpre com os parâmetros mínimos citados na Tabela 22.

A Figura 43 representa o Mapa de Calor da Iluminância das áreas de cálculo do Campus da Penha, a considerar todas as luminárias a funcionar. Nota-se que, em geral, não há uma uniformidade de iluminação no conjunto das áreas de cálculo.

Tabela 24: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.

Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificação do parâmetro mínimo (lux)	U0	Verificação do parâmetro mínimo
Parque de Estacionamento	CE2	83,9	>20 ✓	0,25	<0,4 ✗
Fundos Quadra de Futebol	CE2	2,53	<20 ✗	0,11	<0,4 ✗
Fundos Edifício U	CE2	2,06	<20 ✗	0,006	<0,4 ✗
Fundos Biblioteca	CE2	2,31	<20 ✗	0,012	<0,4 ✗
Frente Serviços Técnicos	CE2	3,26	<20 ✗	0,061	<0,4 ✗
ESEC Frente	CE2	111	>20 ✓	0,61	>0,4 ✓
Entrada-ISE-ESGHT-Fundos	CE2	43	>20 ✓	0,007	<0,4 ✗
Em Torno Civil	CE2	3,12	<20 ✗	0,074	<0,4 ✗
Beco Entrada Lateral ESEC	CE2	9,21	<20 ✗	0,54	>0,4 ✓
Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificação do parâmetro mínimo (lux)	Iluminância mínima (lux)	Verificação do parâmetro mínimo
Lateral ISE	S2	0,029	<10 ✗	0,009	<2 ✗
Lateral ESEC	S2	0,61	<10 ✗	0,024	<2 ✗
Caminho Pedonal Espelho D'Água	S2	0,22	<10 ✗	0,004	<2 ✗



Figura 43: Mapa de Calor da rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha existente com todas as luminárias a funcionar.

Na Figura 44 é representada a zona de cálculo dos “FUNDOS BIBLIOTECA”, onde pode-se observar uma área representada com uma coloração mais escura, a qual indica que há menos iluminação. Esta falta/pouca iluminação afeta o fator de uniformidade e a Iluminância média. Casos como este ocorrem em várias partes do Campus, conforme visto anteriormente na Figura 43.

Para solucionar estas deficiências de iluminação pode-se, além da substituição das luminárias, acrescentar candeieiros e/reposicioná-los de forma a otimizar o espaço entre as luminárias. A solução varia conforme a deficiência de iluminação e a dimensão da área afetada.

No entanto, será apresentada uma proposta com o objetivo de melhorar a iluminação em todas estas áreas.

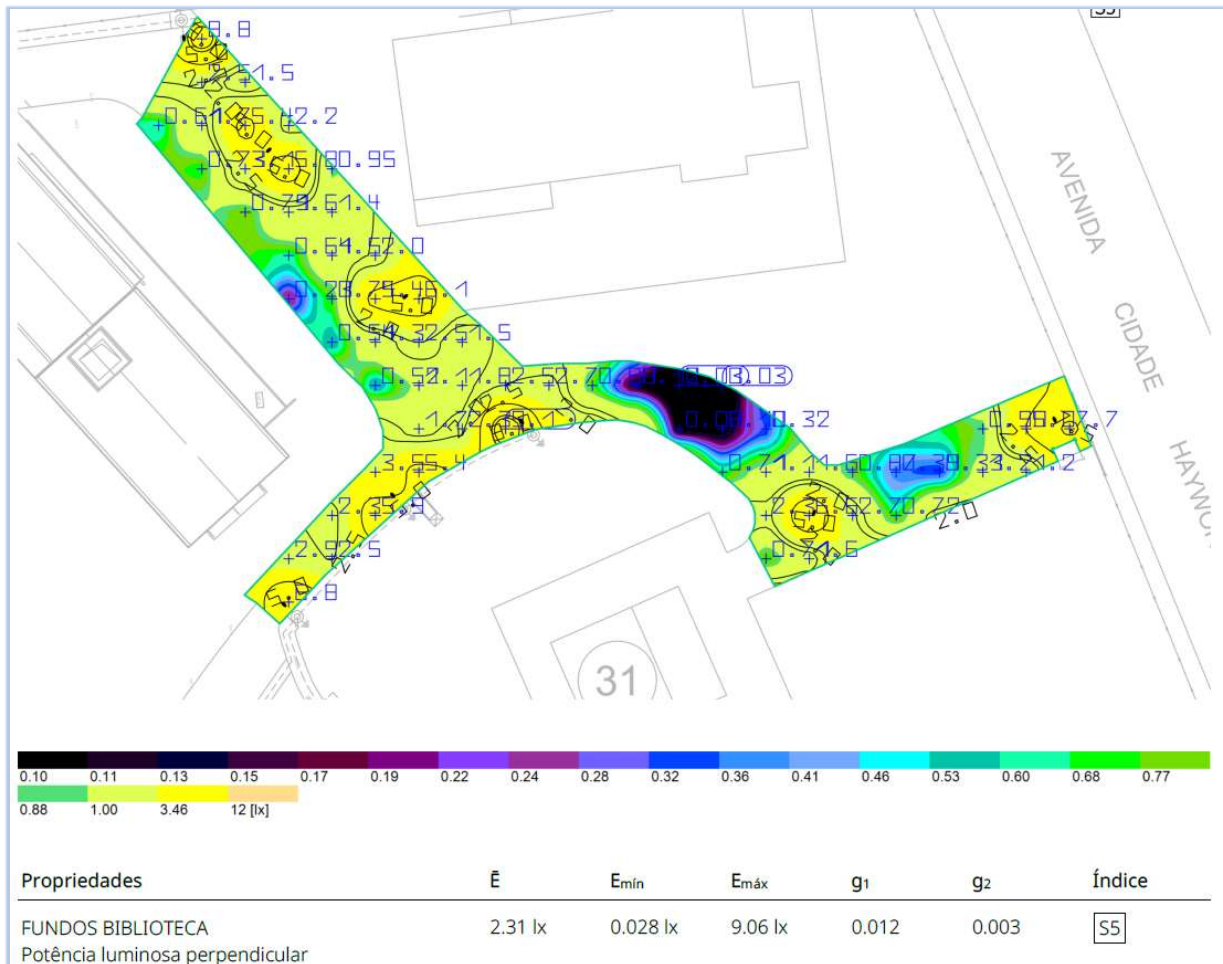


Figura 44: Mapa de Calor da Iluminância nos Fundos Biblioteca.

Na Figura 45 pode-se observar que a área representada possui uma coloração maioritariamente mais escura, a qual indica falta/deficiência de iluminação. Esta deficiência de iluminação numa área pedonal pode apresentar, por exemplo, uma insegurança para os peões. Casos como este ocorrem em outras partes do Campus, conforme visto anteriormente na Figura 42.

Para solucionar estas deficiências de iluminação deve-se acrescentar candeeiros nestas áreas. A quantidade e tipo de luminárias varia conforme a deficiência de iluminação e a dimensão da área afetada.

No entanto, será apresentado uma proposta com o objetivo de melhorar a iluminação em todas estas áreas.

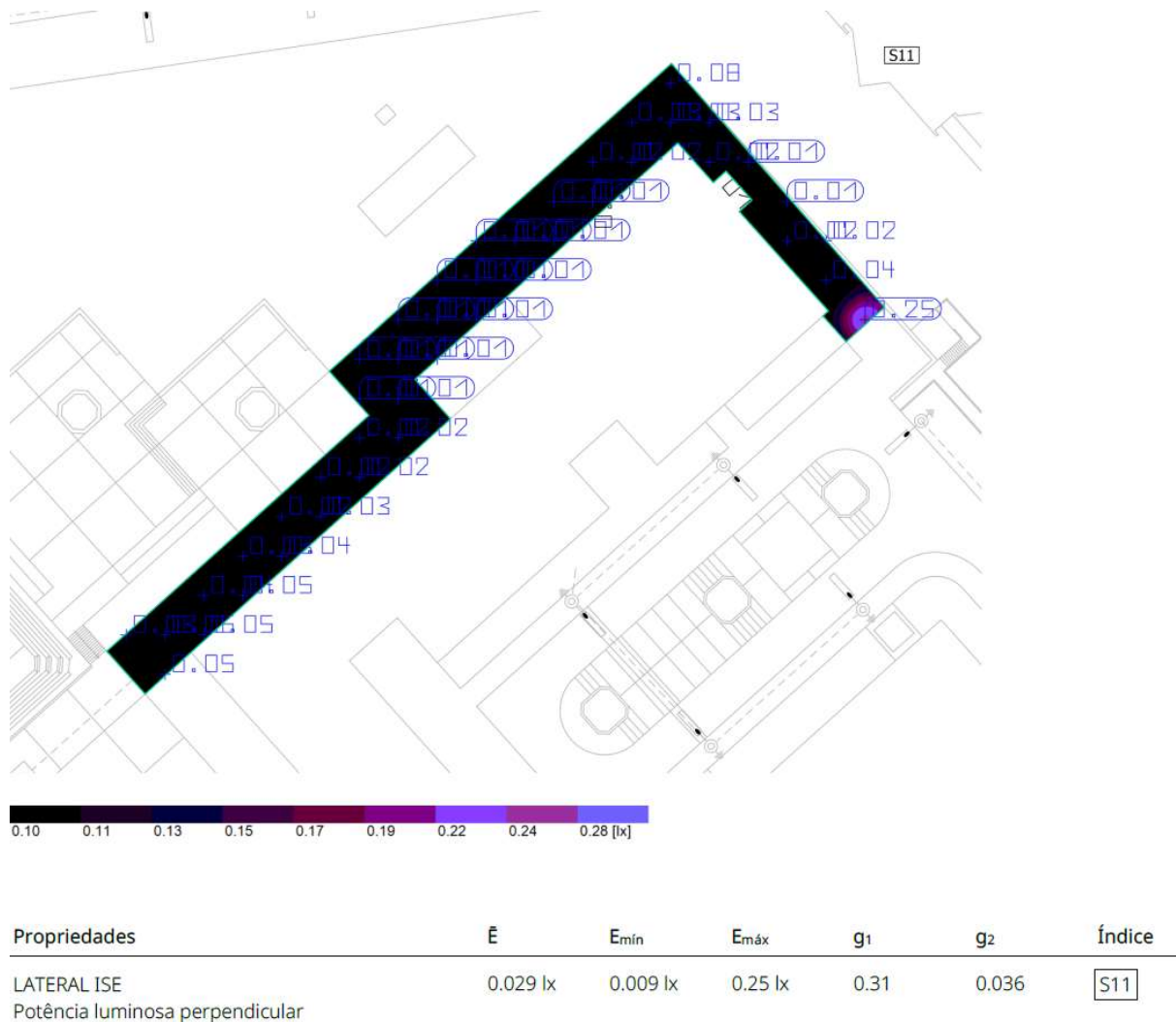


Figura 45: Mapa de Calor da Iluminância na Lateral do ISE

Conclui-se que mesmo se todas as luminárias estiverem a funcionar em suas condições normais, não teríamos uma iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve dentro dos parâmetros mínimos recomendados para uma iluminação pública.

6.2 Rede de Iluminação Exterior a considerar a RIP real

Neste segundo caso foi considerado, para efeitos de cálculos, a iluminação real que se encontra as zonas estabelecidas na Tabela 22. Foi realizado um levantamento para verificar os candeeiros que estão a funcionar e os que estão apagados por algum motivo. Sendo assim, na simulação em DIALux foram considerados esses candeeiros sem iluminação. O objetivo de realizar este cálculo é verificar como se encontra a iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve.

O Apêndice C e a Figura 46 referem-se à peça desenhada da iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve que foi a base do estudo luminotécnico deste subcapítulo.

O Apêndice D apresenta o relatório, extraído do DIALux, do cálculo luminotécnico para este caso.

As luminárias a utilizar na simulação do cálculo luminotécnico para este segundo caso foram as mesmas aplicadas no caso anterior do subcapítulo 6.1.

Na Tabela 25 verifica-se o resultado do cálculo luminotécnico de todas as áreas de cálculo presentes na Tabela 22.

Da mesma forma que o caso anterior, para as zonas com classe de iluminação CE2, deverão ser garantidos os parâmetros mínimos da iluminância média e da uniformidade geral. Já para as zonas com classe de iluminação S2, terão de ser assegurados os parâmetros mínimos da iluminância média e da luminância mínima. Ambas as situações conforme indicado na Tabela 22.

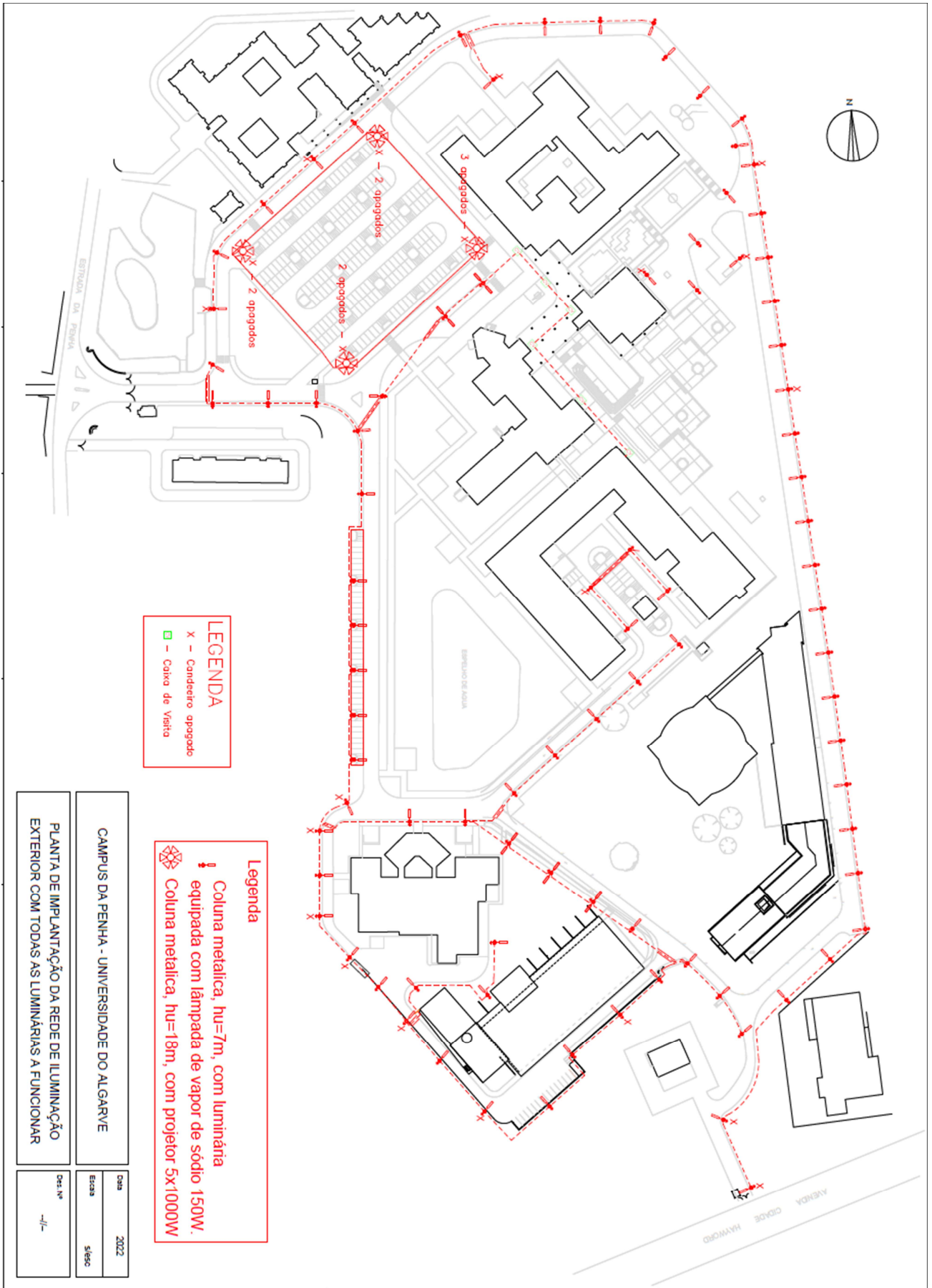


Figura 46: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha - Situação Atual.

Tabela 25: Resultado do estudo luminotécnico da situação da RIP atual.

Objectos de cálculo

Superfícies de cálculo

Propriedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	27.8 lx	0.14 lx	165 lx	0.005	0.001	S1
PARQUE DE ESTACIONAMENTO Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	33.9 lx	1.51 lx	174 lx	0.045	0.009	S2
ESEC FRENTE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	55.7 lx	23.3 lx	104 lx	0.42	0.22	S3
FUNDOS QUADRA FUTEBOL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	1.42 lx	0.055 lx	7.11 lx	0.039	0.008	S4
FUNDOS BIBLIOTECA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	1.74 lx	0.001 lx	9.04 lx	0.001	0.000	S5
EM TORNO CIVIL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	2.53 lx	0.027 lx	8.94 lx	0.011	0.003	S6
FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	2.76 lx	0.063 lx	45.7 lx	0.023	0.001	S7
CAMINHO PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.21 lx	0.005 lx	1.41 lx	0.024	0.004	S8
BECO ENTRADA LATERAL ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	3.39 lx	1.82 lx	5.48 lx	0.54	0.33	S9
Lateral ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.46 lx	0.015 lx	9.11 lx	0.033	0.002	S10
LATERAL ISE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	0.021 lx	0.005 lx	0.25 lx	0.24	0.020	S11
FUNDOS EDIFÍCIO U Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	1.71 lx	0.008 lx	8.41 lx	0.005	0.001	S12

Na Tabela 26 pode-se ver que nas condições de iluminação referente à situação atual da iluminação, apenas uma das áreas (ESEC Frente) cumpre com os parâmetros mínimos citados na Tabela 22. Observa-se que nalguns casos os parâmetros de iluminância média, uniformidade geral e iluminância mínima possuem um decréscimo em seu valor. A consequência desta diminuição é uma deterioração na iluminação.

A Figura 47 representa o Mapa de Calor da Iluminância das áreas de cálculos do Campus da Penha, a considerar a situação atual da iluminação. Nota-se que de forma semelhante ao caso anterior, em geral, não há uma uniformidade de iluminação no conjunto das áreas de cálculo.

Tabela 26: Verificação dos parâmetros mínimos referente a situação atual da iluminação.

Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificado	U0	Verificado
Parque de Estacionamento	CE2	33,9	>20 ✓	0,045	<0,4 ✗
Fundos Quadra de Futebol	CE2	1,42	<20 ✗	0,039	<0,4 ✗
Fundos Edifício U	CE2	1,71	<20 ✗	0,005	<0,4 ✗
Fundos Biblioteca	CE2	1,74	<20 ✗	0,001	<0,4 ✗
Frente Serviços Técnicos	CE2	2,76	<20 ✗	0,023	<0,4 ✗
ESEC Frente	CE2	55,7	>20 ✓	0,42	>0,4 ✓
Entrada-ISE-ESGHT-Fundos	CE2	27,8	>20 ✓	0,005	<0,4 ✗
Em Torno Civil	CE2	2,53	<20 ✗	0,011	<0,4 ✗
Beco Entrada Lateral ESEC	CE2	3,39	<20 ✗	0,054	<0,4 ✗
Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificado	Iluminância mínima (lux)	Verificado
Lateral ISE	S2	0,021	<10 ✗	0,005	<2 ✗
Lateral ESEC	S2	0,46	<10 ✗	0,015	<2 ✗
Caminho Pedonal Espelho D'Água	S2	0,21	<10 ✗	0,005	<2 ✗

Na Figura 48 pode-se observar uma falta de uniformidade entre os pontos mais próximos das luminárias e o centro do Parque de Estacionamento. Esta falta de uniformidade numa área de tráfego de veículos e pedestres em simultâneo, pode ocasionar sérias consequências para pessoas e bens. Casos como este ocorrem em várias partes do Campus, conforme visto anteriormente na Figura 47.

Para solucionar estas deficiências de iluminação pode-se, além da substituição das luminárias, acrescentar candeeiros e/reposicioná-los de forma a otimizar o espaço entre as luminárias. A solução varia conforme a deficiência de iluminação e a dimensão da área afetada.

No entanto, uma proposta será apresentada com o objetivo de melhoria para a iluminação em todas estas áreas.

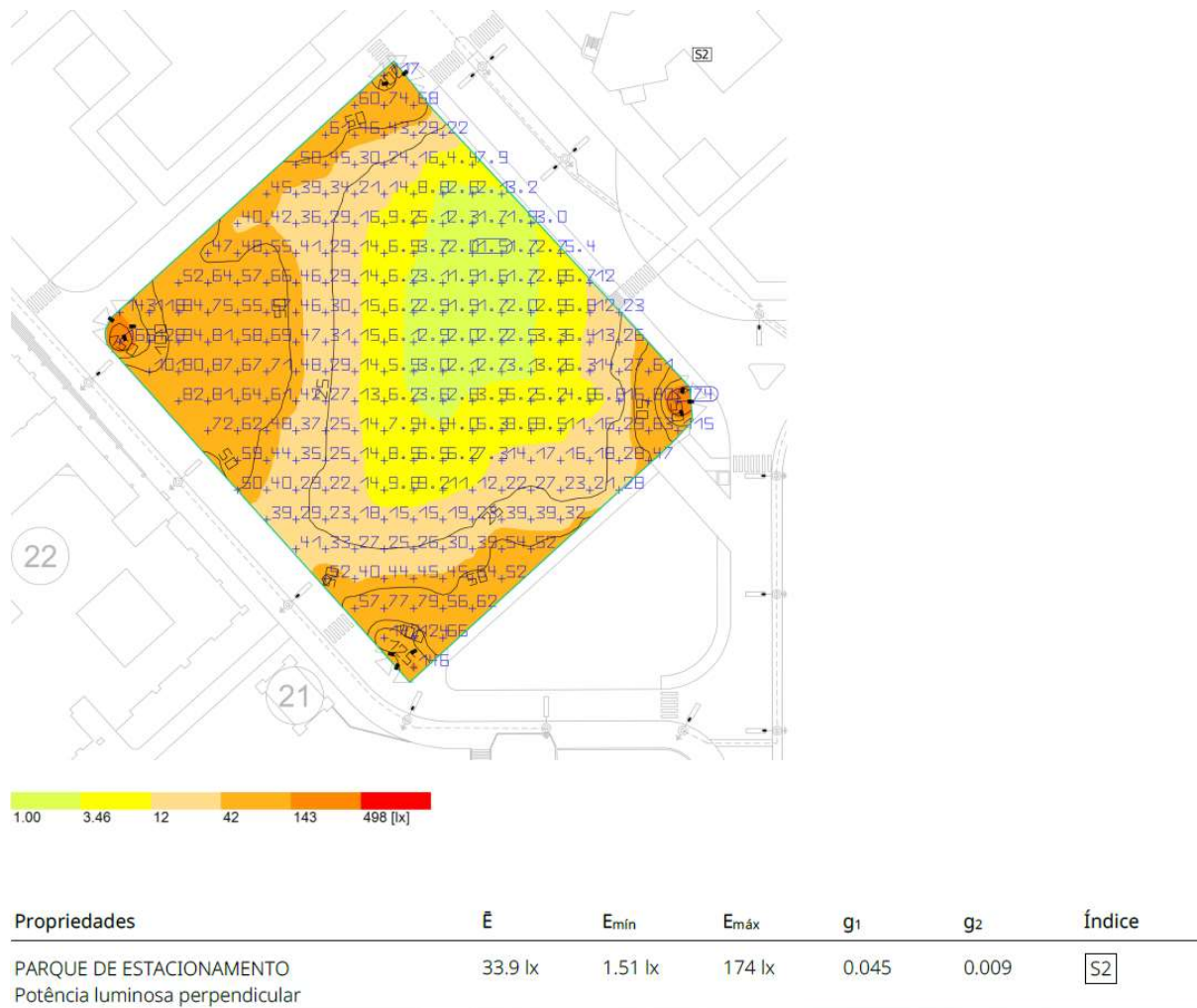


Figura 48: Mapa de Calor da Iluminância no Parque de Estacionamento.

As Figuras 49 e 50 representam áreas de caminhos pedonais que possuem a falta/pouca iluminação. Como já apresentado anteriormente, esta falta/pouca iluminação numa área pedonal pode apresentar, por exemplo, uma insegurança para os peões. Casos como estes ocorrem em outras partes do Campus, conforme visto anteriormente na Figura 47.

Para solucionar estas deficiências na iluminação deve-se acrescentar candeeiros nestas áreas. A quantidade e tipo de luminárias varia conforme a deficiência de iluminação e a dimensão da área afetada.

Nas Figuras 51 e 52 estão representadas fotografias das áreas noturnas do caminho pedonal espelho d'água e Lateral ESEC, respetivamente. Nota-se que é perceptível a semelhança entre a simulação representadas nas Figuras 49 e 50 e as fotografias da situação atual representadas nas Figuras 51 e 52.

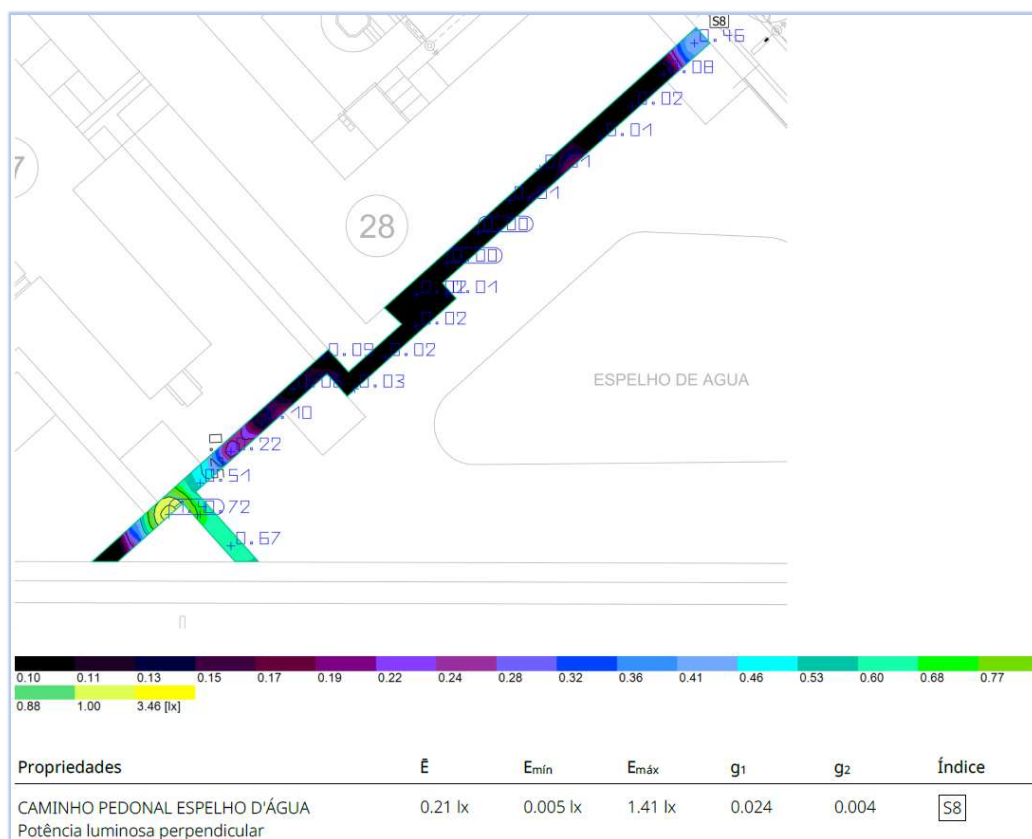


Figura 49: Mapa de Calor da Iluminância no Caminho Pedonal Espelho D'água - Situação Atual.

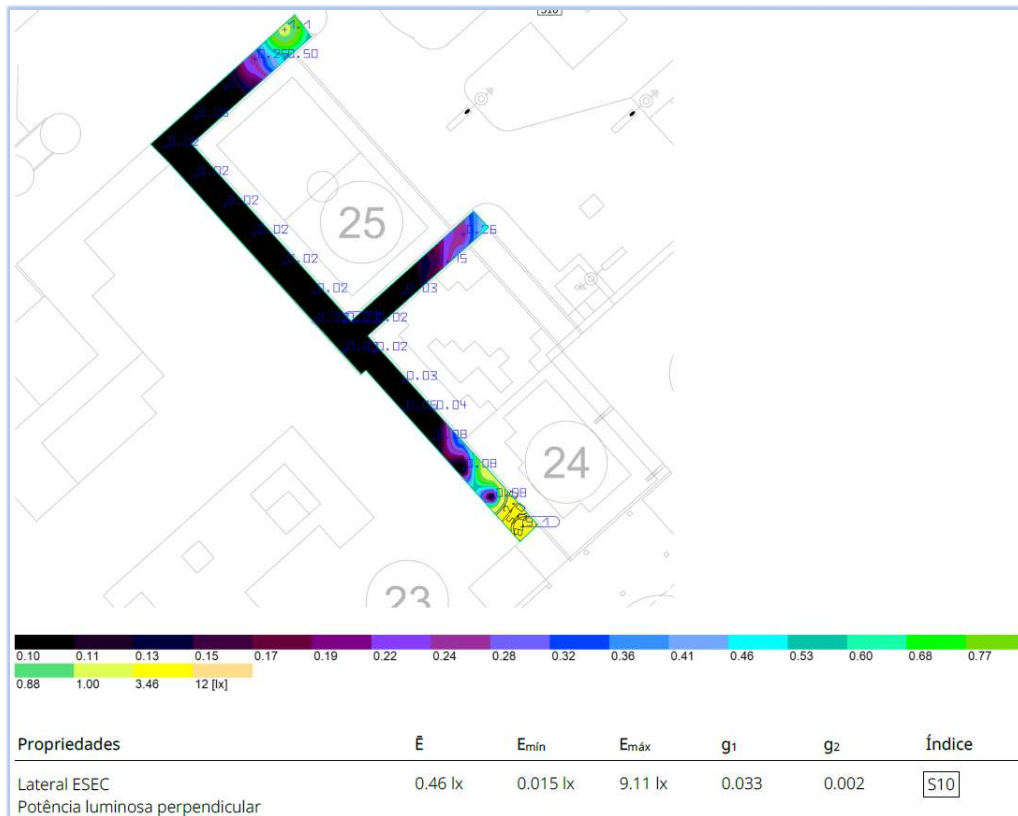


Figura 50: Mapa de Calor da Iluminância na Lateral ESEC - Situação Atual.



Figura 51: Iluminação noturna do Caminho pedonal Espelho d'água.



Figura 52: Iluminação noturna do Caminho pedonal Lateral ESEC.

Através da comparação entre o caso a considerar todas as luminárias a funcionar (Tabela 24) e a situação atual (Tabela 26), percebe-se que todos os parâmetros tiveram uma redução no seu valor, conseqüentemente oferecendo uma diminuição da qualidade da iluminação do campus e mantendo fora dos parâmetros mínimos recomendados para uma iluminação pública.

Notou-se uma grande deficiência na iluminação em grande parte das áreas do Campus da Penha da Universidade do Algarve. Para solucionar estes problemas, no subcapítulo 6.3, será apresentado uma proposta para a melhoria da iluminação exterior do Campus.

6.3 Rede de Iluminação Exterior Proposta

Neste terceiro caso foi considerado, para efeitos de cálculos, a rede de iluminação proposta para as zonas estabelecidas na Tabela 22. Foram realizadas visitas ao local a fim de

verificar zonas que notoriamente necessitam de uma melhoria na iluminação. Sendo assim, na simulação em DIALux foi considerado esta nova tipologia da rede proposta. O objetivo de realizar este cálculo é verificar se a sugestão para a iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve irá seguir a recomendação da norma 13201 [19].

O Apêndice E e a Figura 53 referem-se à peça desenhada da proposta da iluminação exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve que foi a base do estudo luminotécnico deste subcapítulo.

No Apêndice F contém o relatório, extraído do DIALux, do cálculo luminotécnico para este caso.

Para obter os níveis de iluminação exigidos foram realizadas algumas simulações no DIALux. Após uma sequência de testes com vários modelos de candeeiros, considerou-se a utilização das seguintes luminárias LED para a iluminação exterior do campus da Penha:

- Scheréder IZYLUM 3 5304 70 LH351C 757 – 105W [33];
- Scheréder IZYLUM 3 5304 70 LH351C 757 – 61,5W [33];
- Scheréder TAG 2 5139 128 OSLON SQUARE GIANT NW 740 – 414 W [34].

Na Tabela 27 pode ser observado o resultado do cálculo luminotécnico de todas as áreas de cálculo presentes na Tabela 22.

Para as zonas com classe de iluminação CE2, deverão ser garantidos os parâmetros mínimos da iluminância média e da uniformidade geral. Para as zonas com classe de iluminação S2, deverão ser assegurados os parâmetros mínimos da iluminância média e da luminância mínima. Ambas as situações conforme indicado na Tabela 22.

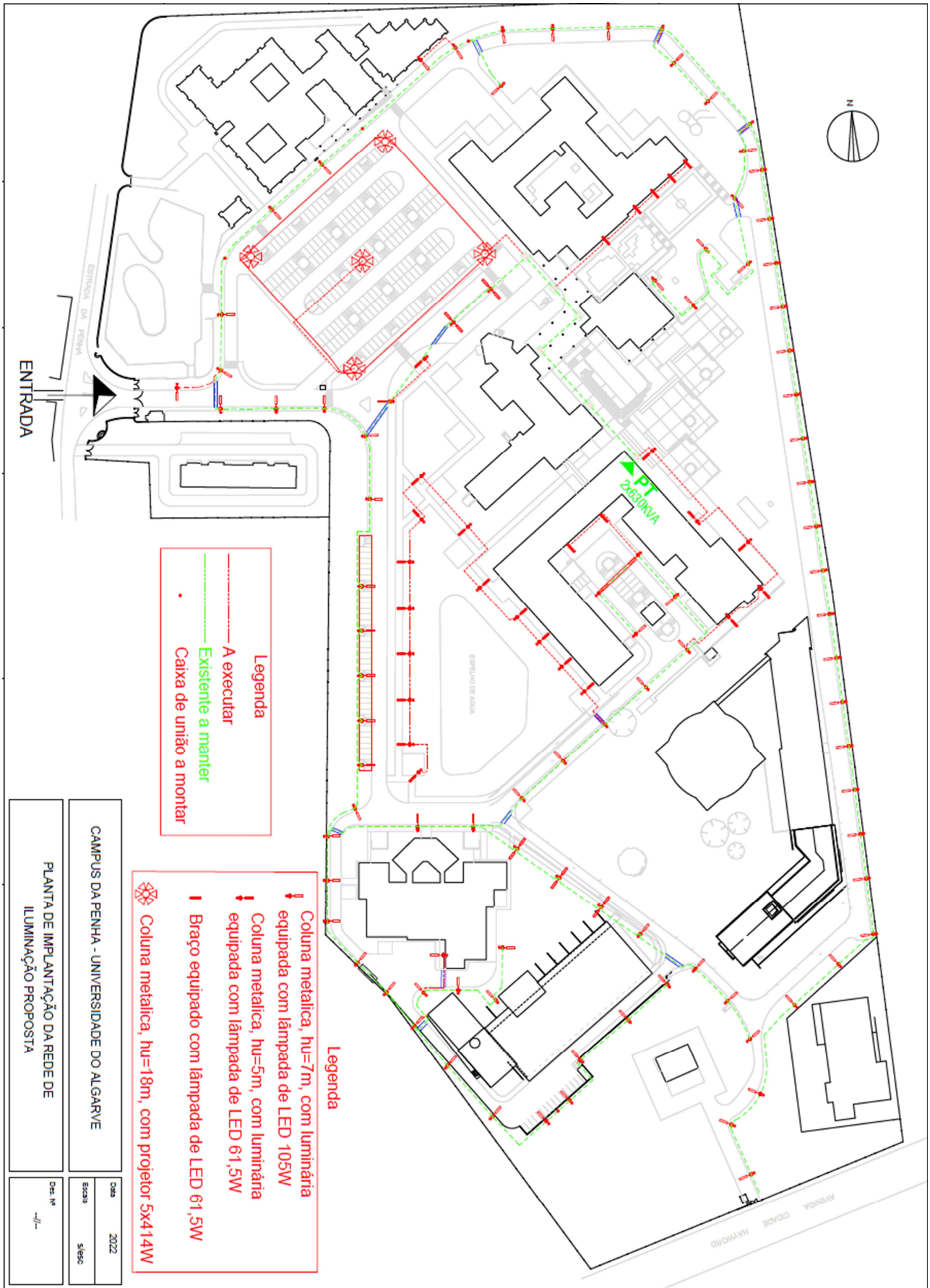


Figura 53: Planta de Implantação da Rede de Iluminação Exterior do Campus da Penha - Rede Proposta.

Tabela 27: Resultado do estudo luminotécnico da Rede Proposta.

Superfícies de cálculo

Propriedades	\bar{E}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2	Índice
ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	48.5 lx	19.6 lx	145 lx	0.40	0.14	S1
PARQUE DE ESTACIONAMENTO Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	64.8 lx	29.5 lx	142 lx	0.46	0.21	S2
ESEC FRENTE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	64.8 lx	31.6 lx	138 lx	0.49	0.23	S3
FUNDOS QUADRA FUTEBOL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	29.9 lx	12.3 lx	64.0 lx	0.41	0.19	S4
FUNDOS BIBLIOTECA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	29.6 lx	12.2 lx	50.8 lx	0.41	0.24	S5
FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	29.0 lx	11.6 lx	60.1 lx	0.40	0.19	S6
O PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	36.3 lx	4.09 lx	78.3 lx	0.11	0.052	S7
BECO ENTRADA LATERAL ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	35.6 lx	19.2 lx	54.7 lx	0.54	0.35	S8
LATERAL ESEC Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	36.1 lx	3.77 lx	72.3 lx	0.10	0.052	S9
LATERAL ISE Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	16.9 lx	2.64 lx	61.7 lx	0.16	0.043	S10
EM TORNO CIVIL Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	34.4 lx	13.7 lx	75.0 lx	0.40	0.18	S11
FUNDOS EDIFÍCIO U Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	27.2 lx	11.9 lx	57.0 lx	0.44	0.21	S12

Tabela 28: Verificação dos parâmetros mínimos referente a Rede Proposta.

Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificado	U0	Verificado
Parque de Estacionamento	CE2	64,8	>20 ✓	0,46	>0,4 ✓
Fundos Quadra de Futebol	CE2	29,9	>20 ✓	0,41	>0,4 ✓
Fundos Edifício U	CE2	27,2	>20 ✓	0,44	>0,4 ✓
Fundos Biblioteca	CE2	29,6	>20 ✓	0,41	>0,4 ✓
Frente Serviços Técnicos	CE2	29	>20 ✓	0,40	>0,4 ✓
ESEC Frente	CE2	64,8	>20 ✓	0,49	>0,4 ✓
Entrada-ISE-ESGHT-Fundos	CE2	48,5	>20 ✓	0,40	>0,4 ✓
Em Torno Civil	CE2	34,4	>20 ✓	0,40	>0,4 ✓
Beco Entrada Lateral ESEC	CE2	35,6	>20 ✓	0,54	>0,4 ✓
Áreas de Cálculo	Classe de Iluminação	Iluminância média (lux)	Verificado	Iluminância mínima (lux)	Verificado
Lateral ISE	S2	16,9	>10 ✓	2,64	>2 ✓
Lateral ESEC	S2	36,1	>10 ✓	3,77	>2 ✓
Caminho Pedonal Espelho D'Água	S2	36,3	>10 ✓	4,09	>2 ✓

Ao realizar uma comparação, percebe-se na Tabela 28 e na Figura 54 uma uniformidade de iluminância significativamente superior aos casos da iluminação atual e a considerar todas as luminárias a funcionar. Para obter o nível exigido de iluminância e uniformidade foi necessário realizar alguns testes para escolher o tipo de luminária certa, reconfigurar o posicionamento de algumas luminárias, e acrescentar outras onde havia uma deficiência maior.

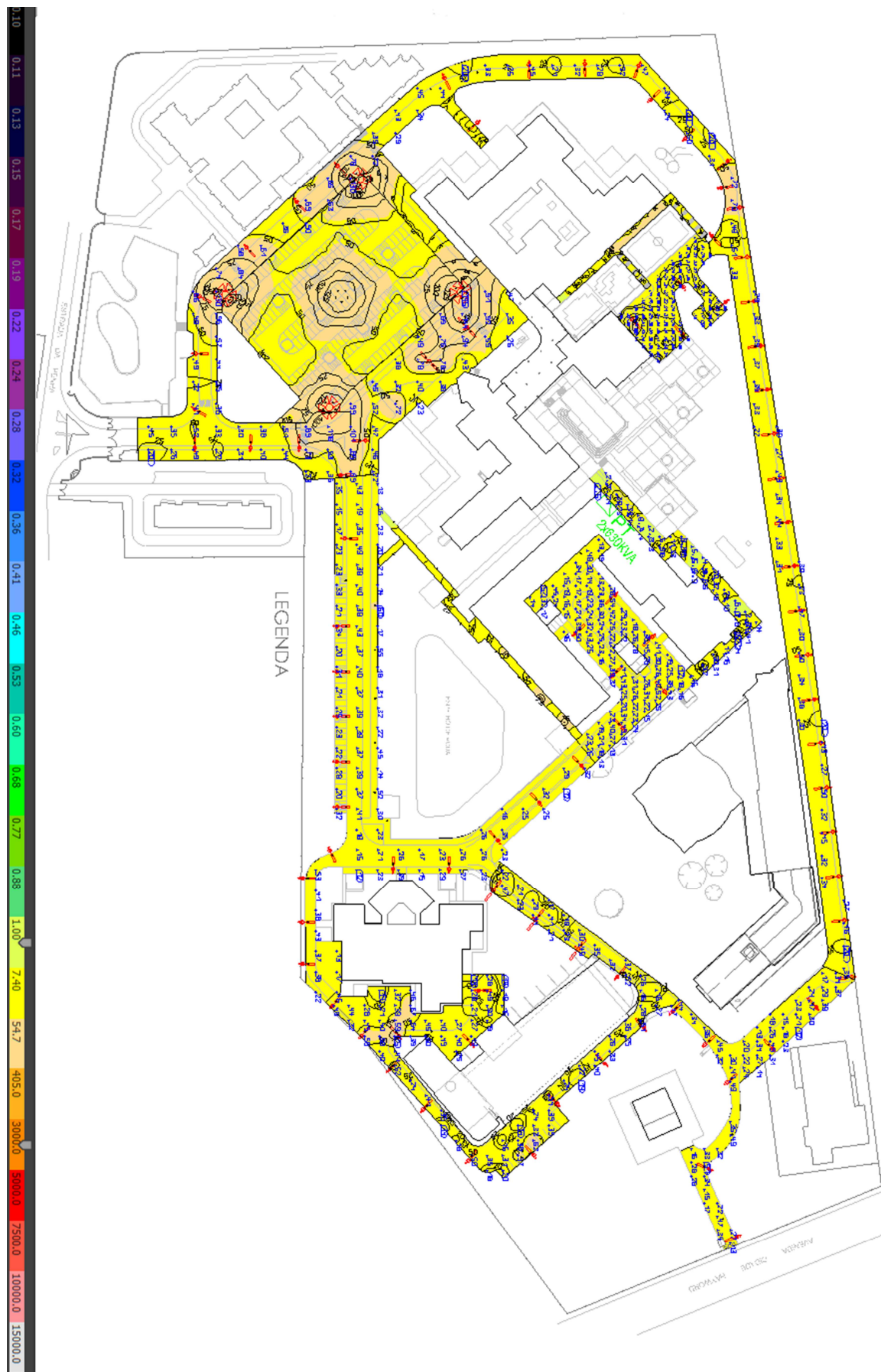


Figura 54: Mapa de Calor da rede de Iluminação Exterior proposta para o Campus da Penha.

A Figura 55 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo da “ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), que a baixa uniformidade foi causada, principalmente, pelas luminárias do parque de estacionamento que possuem um nível de fluxo luminoso e potências muito elevados. A fim de melhorar a uniformidade desta zona, além das substituições das luminárias, foram realizadas as seguintes alterações:

- Acrescentou-se mais um candeeiro próximo a entrada da Universidade;
- Retiraram-se as luminárias próximas aos candeeiros do parque de estacionamento, conforme indicado na Figura 56;
- Modificou-se a parte da rede de iluminação para uma melhor distribuição da iluminação, conforme pode ser visto na comparação da Figura 57;

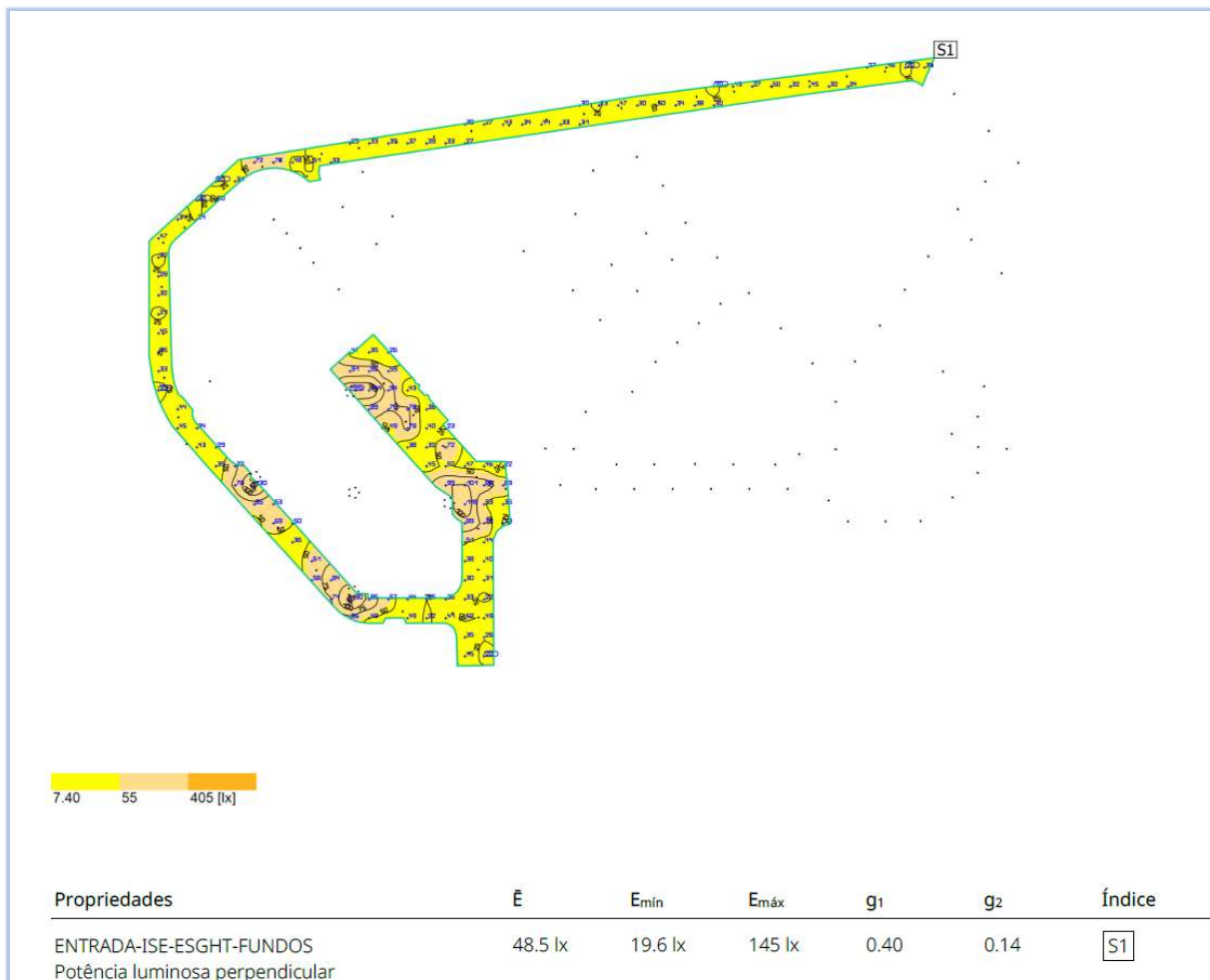


Figura 55: Mapa de Calor da Iluminância na ENTRADA-ISE-ESGHT-FUNDOS - Rede Proposta.

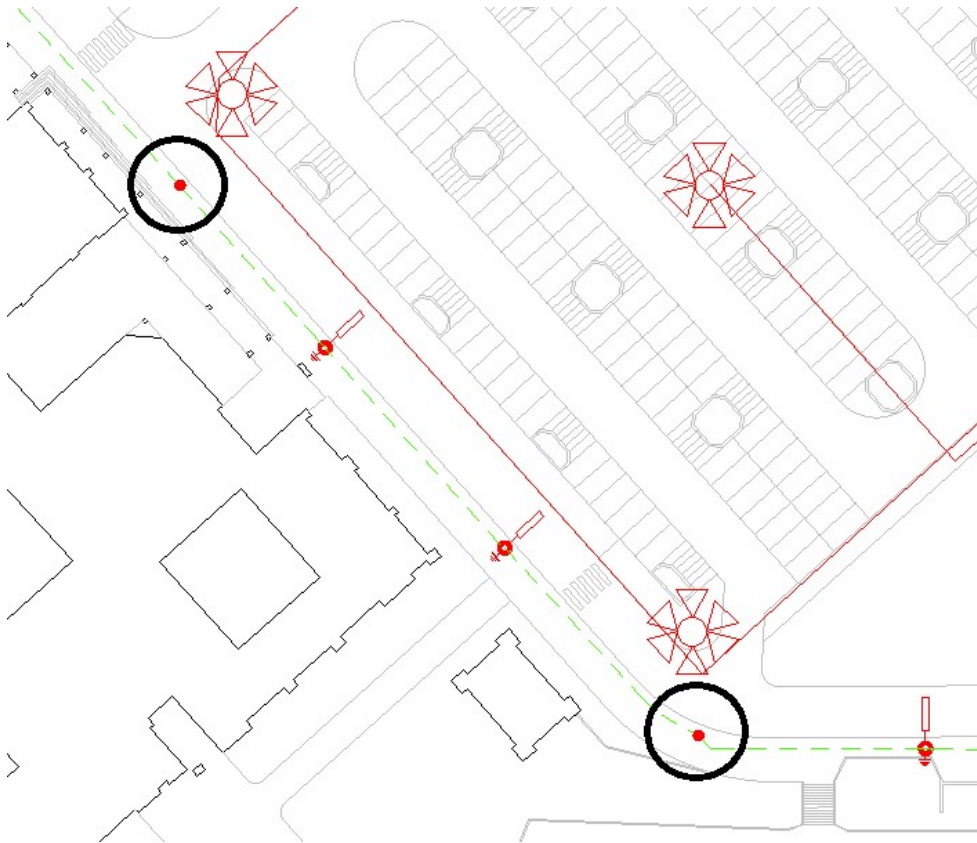


Figura 56: Indicação de dois Candeeiros a desmontar.



Figura 57: Comparação entre a rede proposta (esquerda) e a situação atual com todas as luminárias a funcionar (direita).

A Figura 58 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo do “PARQUE DE ESTACIONAMENTO”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), que a baixa uniformidade é causada, principalmente, pela falta de distribuição do fluxo luminoso pela área do parque de estacionamento. A fim de melhorar a uniformidade desta zona, foram realizadas as seguintes alterações:

- Substituição das luminárias por umas com o fluxo luminoso e potências menores;
- Acréscimo de um candeeiro com 5 luminárias no centro do estacionamento, a fim de garantir uma melhor distribuição do fluxo luminoso;

Estas modificações causaram um aumento da iluminância mínima, uma diminuição da iluminância máxima, e conseqüentemente ocasionando uma diminuição da iluminância média e um aumento da uniformidade geral.

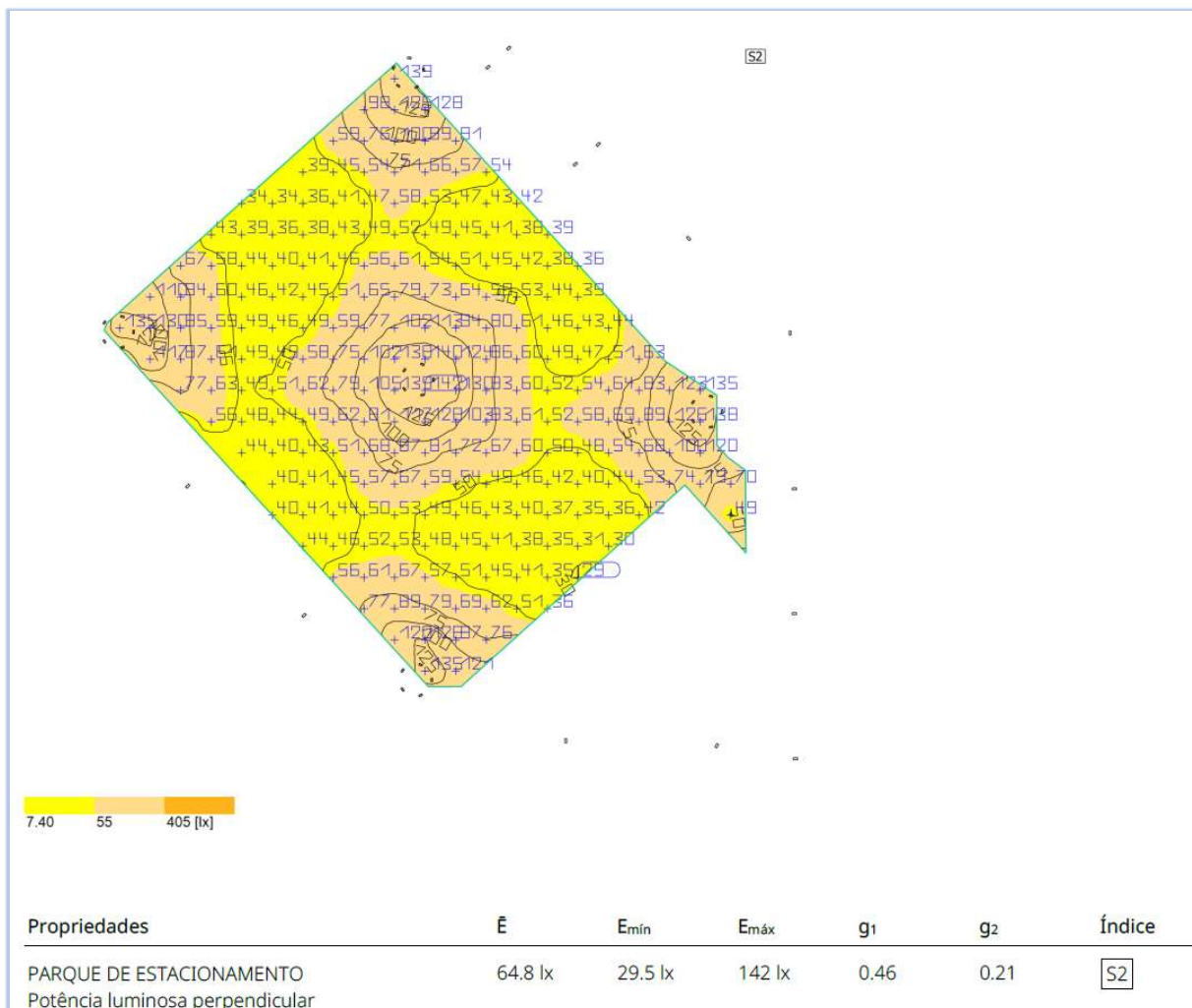


Figura 58: Mapa de Calor da Iluminância do PARQUE DE ESTACIONAMENTO - Rede Proposta.

A Figura 59 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo dos “FUNDOS QUADRA FUTEBOL”. Notou-se nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), que a baixa uniformidade e iluminância são causadas, principalmente, porque as luminárias a serem utilizadas possuem um fluxo luminoso relativamente baixo comparado com as novas tecnologias. A luminária proposta possui dez vezes mais fluxo luminoso e cerca de 50% a menos de potência ativa.

Com isto, a substituição para as luminárias com maior fluxo luminoso resolveu o problema da baixa uniformidade geral e da iluminância média.

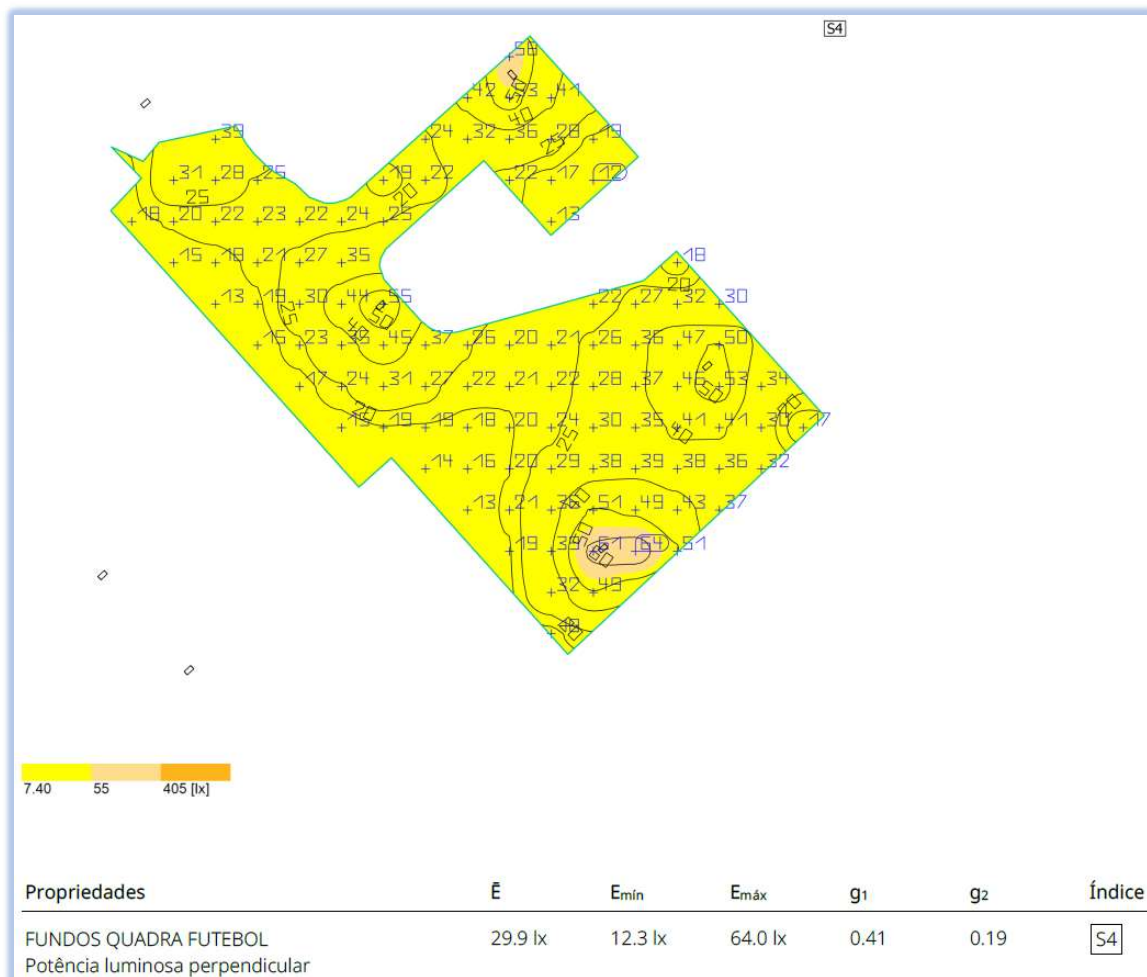


Figura 59: Mapa de Calor da Iluminância dos FUNDOS QUADRA FUTEBOL - Rede Proposta.

A Figura 60 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo dos “FUNDOS BIBLIOTECA”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), há zonas com índice de iluminância muito baixo, causado, principalmente, por uma ausência de candeeiros mais próximos a estas áreas. A fim de melhorar a iluminação destas zonas, foram realizadas, além das substituições das luminárias, as seguintes alterações:

- Instalação de um novo candeeiro e reposicionamento da posição atual de um candeeiro, conforme indicado na Figura 61;

Estas modificações proporcionaram uma iluminância média e uniformidade geral dentro dos parâmetros exigidos.

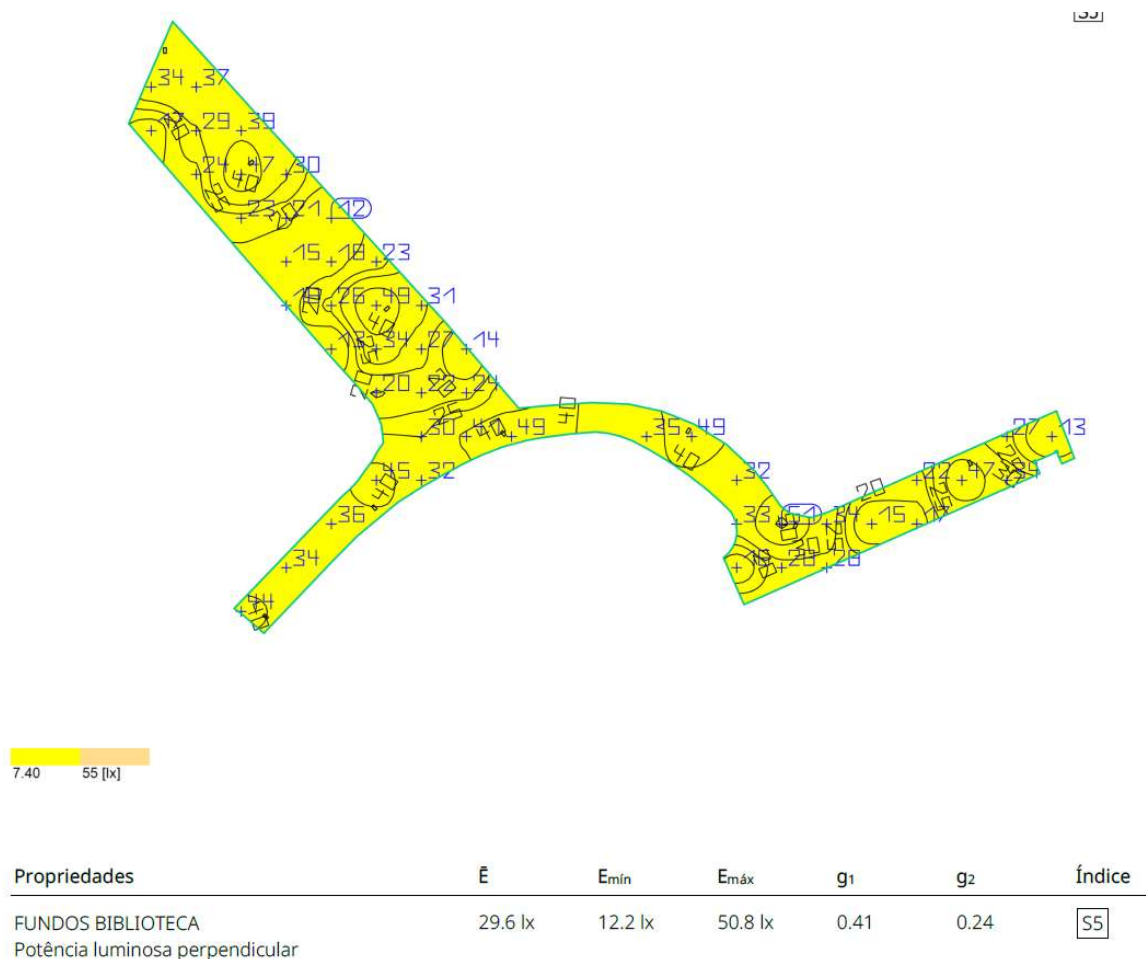


Figura 60: Mapa de Calor da Iluminância dos FUNDOS BIBLIOTECA - Rede Proposta.



Figura 61: Indicação das modificações para a rede proposta da zona dos FUNDOS BIBLIOTECA.

A Figura 62 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo do “EM TORNO CIVIL”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), há zonas com índice de iluminância muito baixo, causado, principalmente, por ausência de candeeiros mais próximos a estas áreas. A fim de melhorar a iluminação destas zonas, foram realizadas, além das substituições das luminárias, as seguintes alterações:

- Instalação de dois novos candeeiros (Figura 63) com o objetivo de suprir o baixo índice de iluminância nesta zona;
- Substituição de um candeeiro por dois (Figura 64), aumentando o nível de iluminância nesta área;

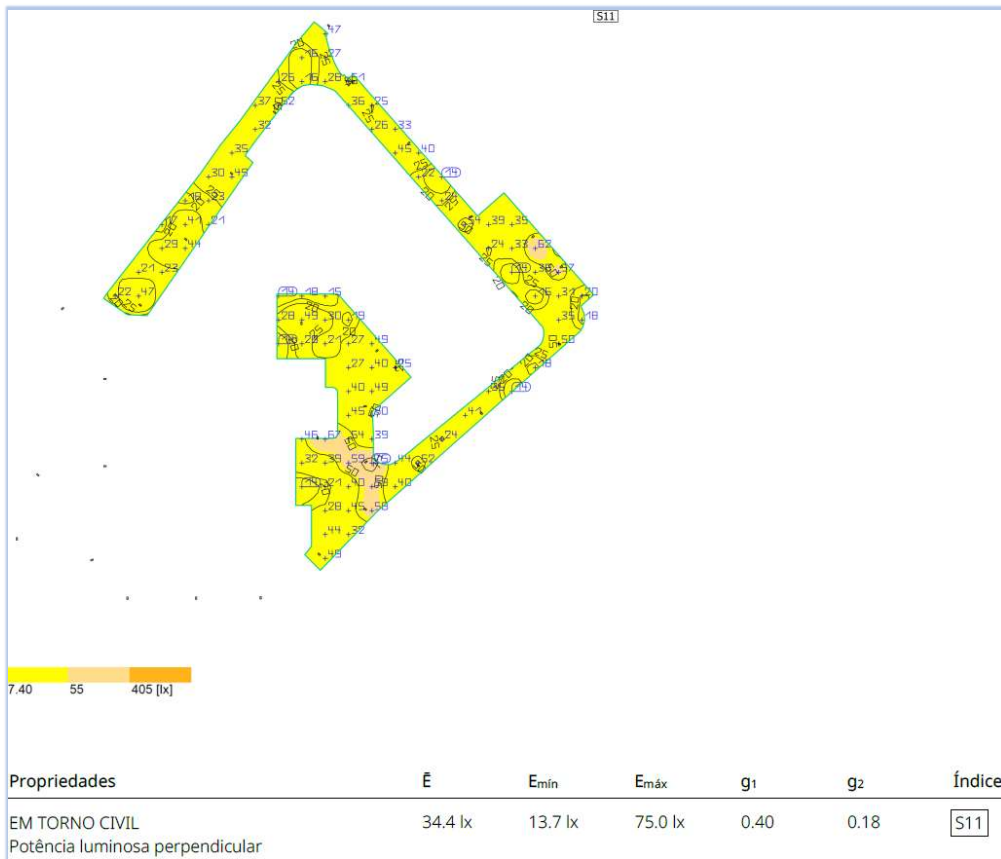


Figura 62: Mapa de Calor da Iluminância do "EM TORNO CIVIL" - Rede Proposta.



Figura 63: Primeira indicação das modificações para a rede proposta da zona "EM TORNO CIVIL".

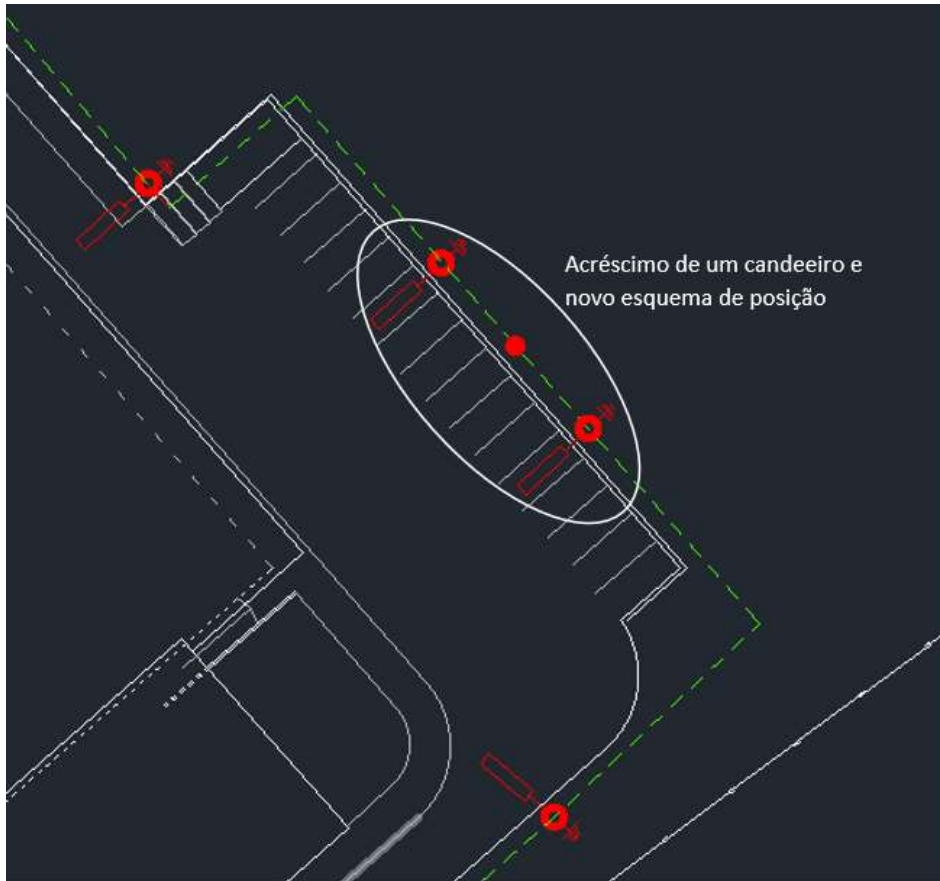


Figura 64: Segunda indicação das modificações para a rede proposta da zona "EM TORNO CIVIL".

A Figura 65 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo do "FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS". Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), há zonas com índice de iluminância muito baixo, causado, principalmente, por ausência de candeeiros mais próximos a estas áreas. A fim de melhorar a iluminação destas zonas, além das alterações das luminárias, considerou-se acrescentar luminárias de 61,5 W com colunas de 4 metros na zona pedonal com deficiência de iluminação, conforme indicado na Figura 66.



Figura 65: Mapa de Calor da Iluminância do "FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS" - Rede Proposta.

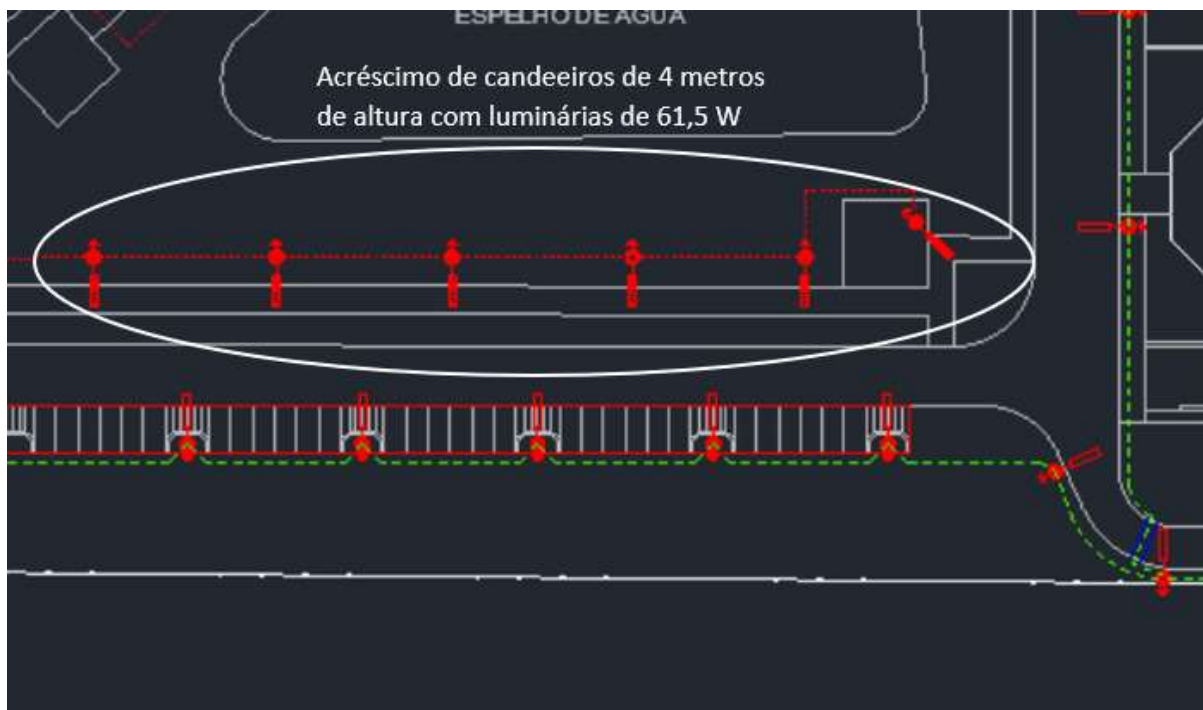


Figura 66: Indicação das modificações para a rede proposta da zona "FRENTE SERVIÇOS TÉCNICOS".

A Figura 67 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo do “FUNDOS EDIFÍCIO U”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), há zonas com índice de iluminância muito baixo, causado, principalmente, por ausência de candeeiros mais próximos a estas áreas. A fim de melhorar a iluminação destas zonas, além das substituições das luminárias, considerou-se acrescentar dois candeeiros de 61,5 W com colunas de 4 metros na zona junta ao edifício com deficiência de iluminação, conforme indicado na Figura 68.

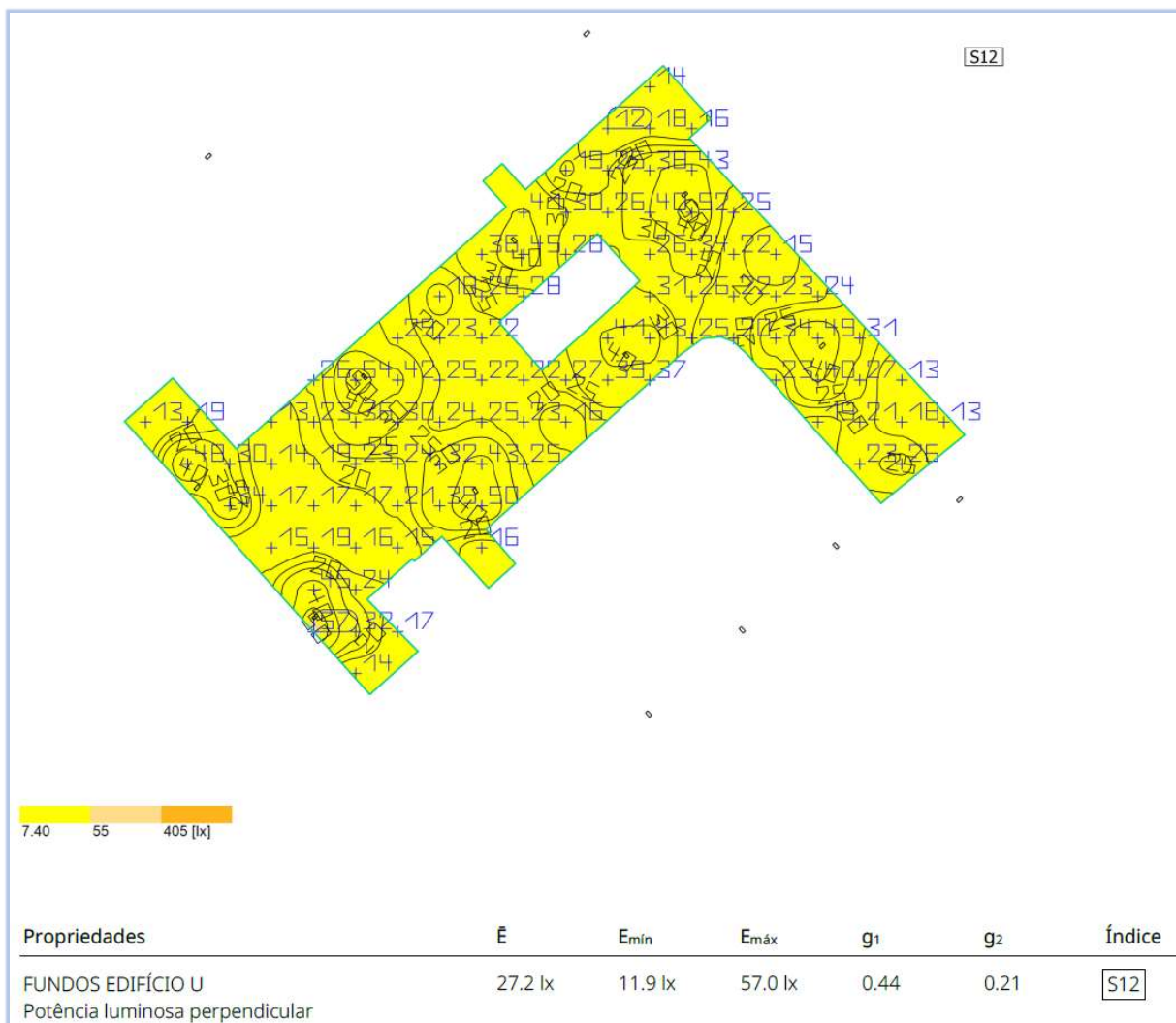


Figura 67: Mapa de Calor da Iluminância do "FUNDOS EDIFÍCIO U" - Rede Proposta.

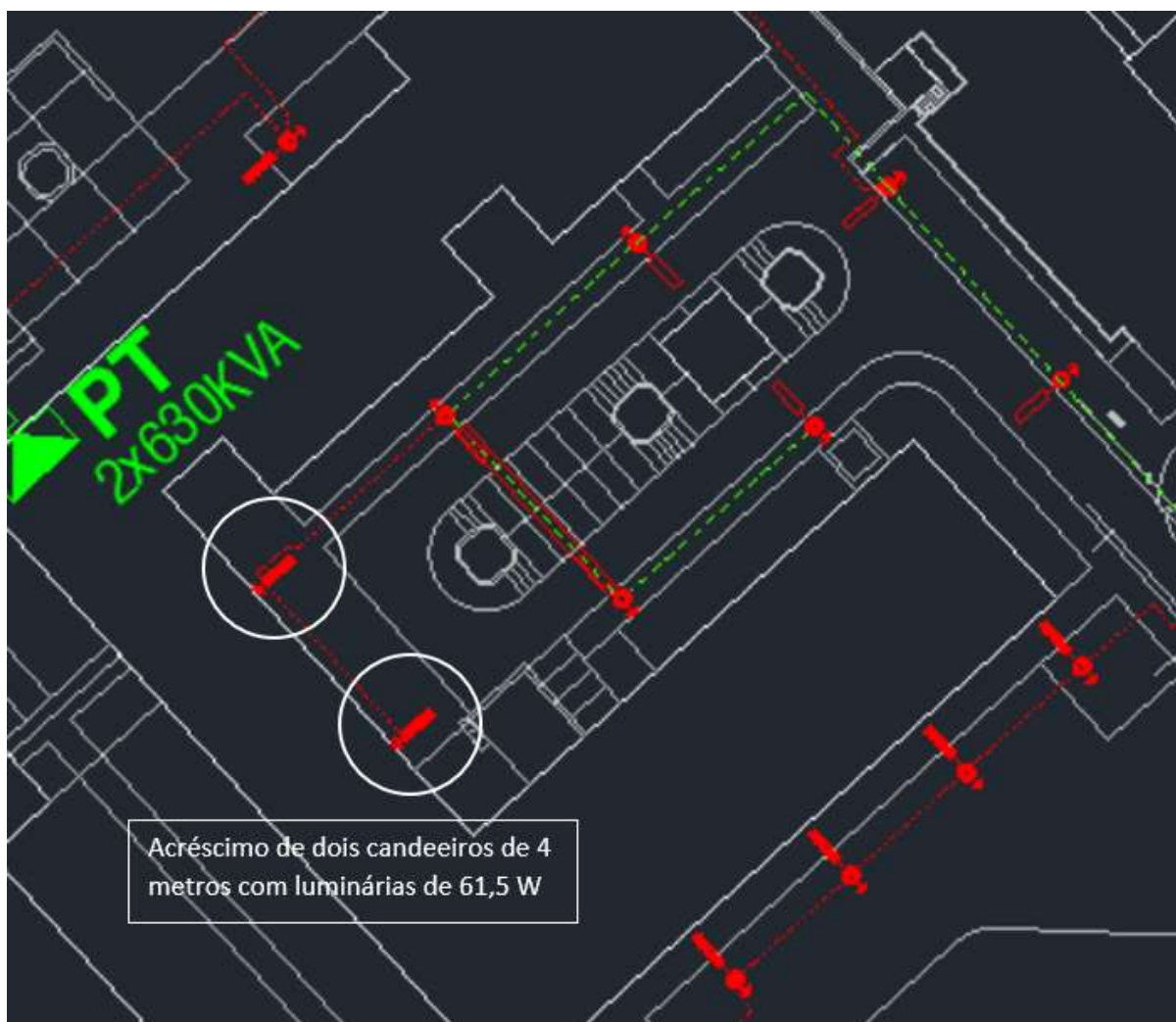


Figura 68: Indicação das modificações para a rede proposta da zona "FUNDOS EDIFÍCIO U".

As Figuras 69, 70 e 71 referem-se ao mapa de calor das zonas de cálculo do "CAMINHO PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA", "LATERAL ESEC" e "LATERAL ISE", respetivamente. Notou-se que na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal, nestas três áreas de acessos pedonais possuem níveis de iluminância muito próximos de zero, conforme pode ser visto na Figura 43. Para solucionar o problema da deficiência na iluminação dessas zonas, considerou-se a instalação de candeeiros de 4 metros de altura com luminárias de 61,5 W ao longo de todas as três áreas, conforme pode ser visto na Figura 53, ou, mais detalhadamente, no Apêndice E.

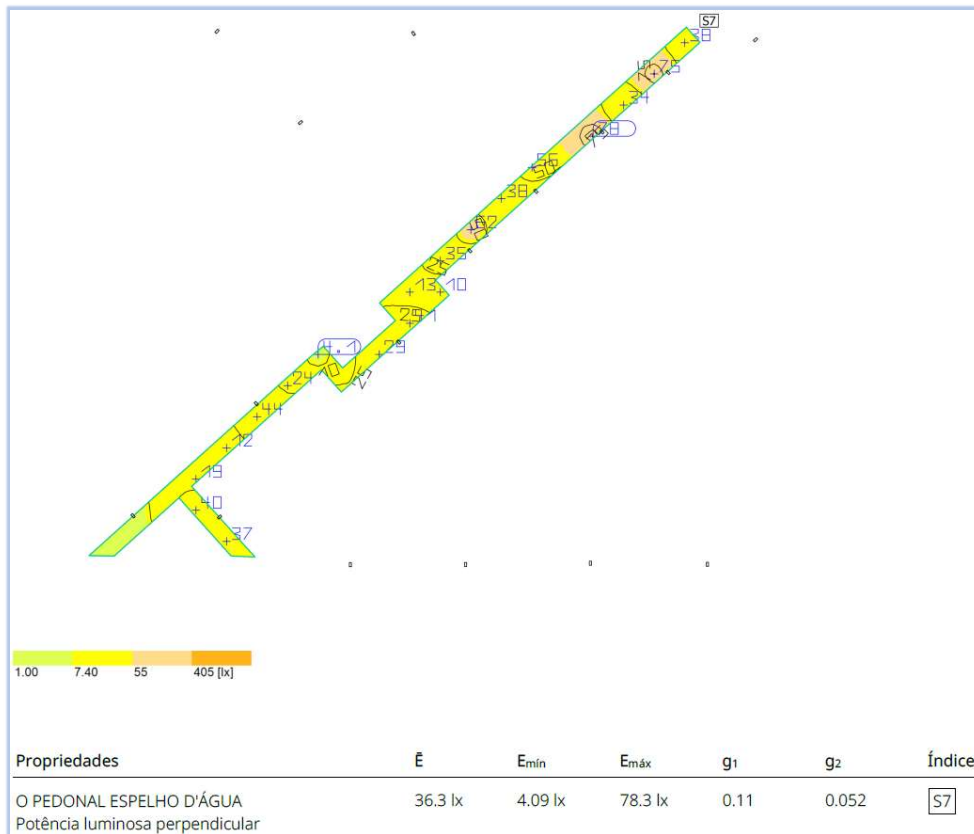


Figura 69: Mapa de Calor da Iluminância do "CAMINHO PEDONAL ESPELHO D'ÁGUA" - Rede Proposta.

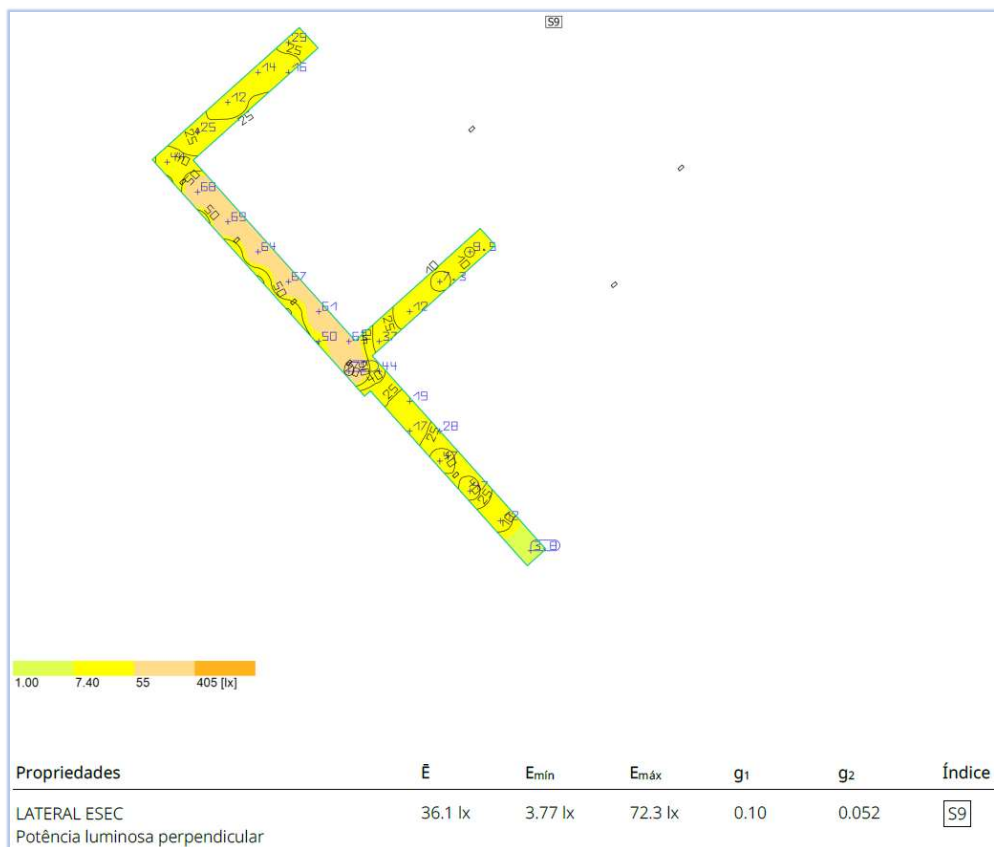


Figura 70: Mapa de Calor da Iluminância do "LATERAL ESEC" - Rede Proposta.

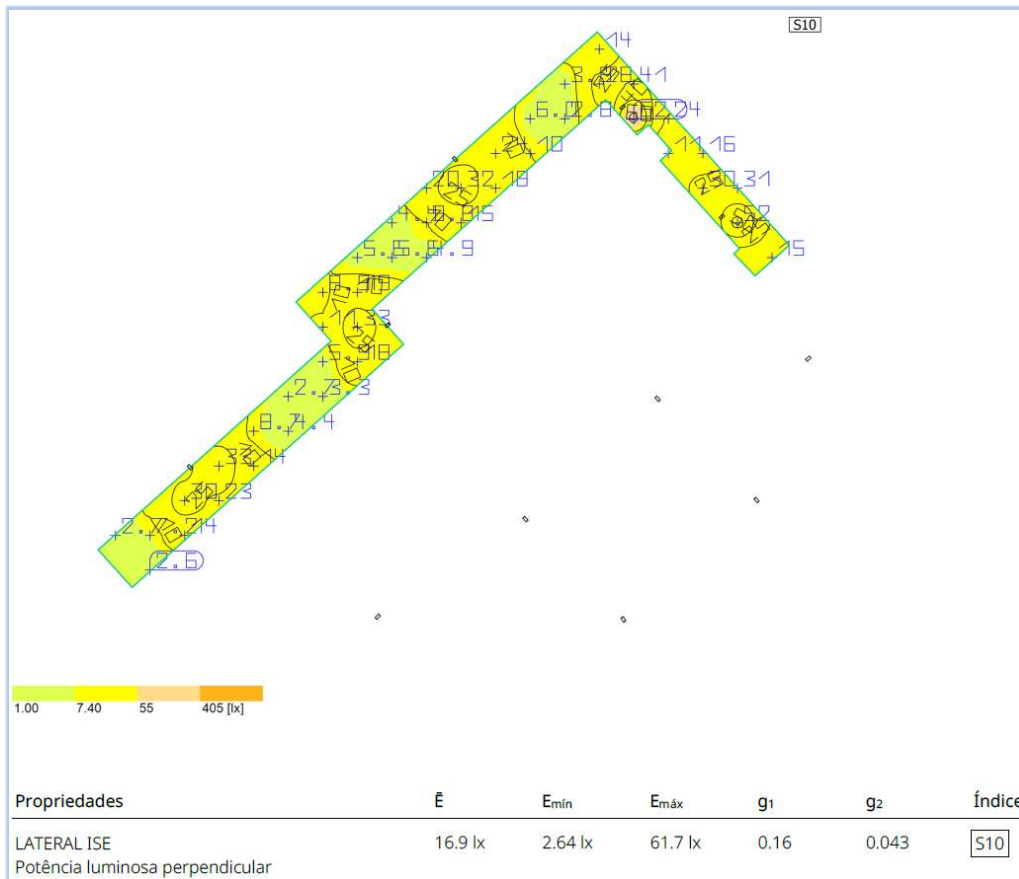


Figura 71: Mapa de Calor da Iluminância do "LATERAL ISE" - Rede Proposta.

A Figura 72 refere-se ao mapa de calor da zona de cálculo do “BECO ENTRADA LATERAL ESEC”. Notou-se que nesta área, na situação em que todas as luminárias estão a funcionar de forma normal (Figura 43), o mínimo exigido para a iluminância média não é obtido. Esta baixa iluminância é causada, principalmente, porque a luminária a ser utilizada possui um fluxo luminoso relativamente baixo comparado com as novas tecnologias. Somente a substituição da luminária foi suficiente para satisfazer os mínimos exigidos.

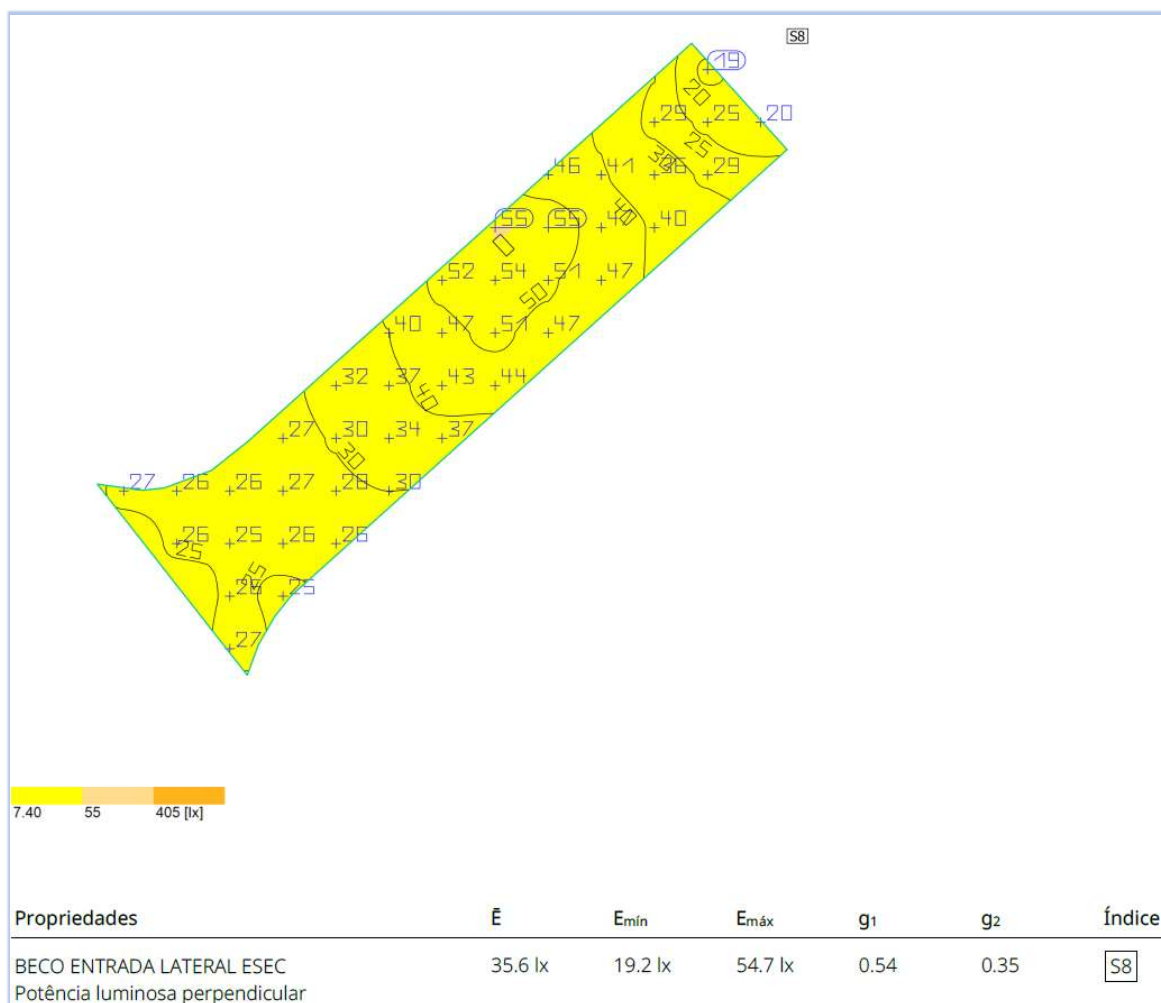


Figura 72: Mapa de Calor da Iluminância do "BECO ENTRADA LATERAL ESEC" - Rede Proposta.

Nota-se que todos os parâmetros calculados presentes na Tabela 28 estão dentro dos mínimos recomendados para uma iluminação pública.

Nesta proposta para a requalificação da rede de iluminação exterior, foi tida em consideração a substituição de todas as luminárias existentes por luminárias com tecnologia LED. Além disto, está previsto a ampliação da RIP em zonas que não possuíam iluminação ou que não garantiam os parâmetros mínimos recomendados, conforme visto anteriormente.

Ao realizar uma comparação entre a rede proposta e a rede atual ou a considerar todas as luminárias a funcionar, percebe-se uma melhoria significativa para a iluminação.

6.4 Telegestão

A solução de telegestão é composta por um conjunto de hardware e software acoplados às luminárias com a função de controlar de forma remota as lâmpadas, realizar telemetria, entre outras aplicações voltadas para o controlo e monitoramento.

A telegestão na iluminação pública garante que o operador da rede receba, de forma quase instantânea, informações de desempenho e de falhas, como por exemplo uma luminária apagada. Esta rapidez de informações obtidas, facilita para oferecer um melhor serviço da iluminação por parte do operador da rede, pois possibilita, por exemplo, resoluções de avarias com mais agilidade.

Atualmente, a maioria das novas luminárias de IP instaladas em Portugal estão preparadas para receber a telegestão ou já estão em funcionamento.

Com este sistema é possível estabelecer vários perfis de iluminação e alterá-los conforme necessário, podendo, a luminária, funcionar normalmente por uma determinada hora e de forma mais económica em outra situação.

A redução do fluxo luminoso pode ser realizada pela redução da tensão com auxílio de sensores e/ou drives que estejam configurados para tal finalidade. O objetivo de realizar a redução do fluxo luminoso é diminuir o custo da energia elétrica.

A fim de propor a redução do custo com a energia elétrica a considerar a utilização das luminárias de LED no Campus da Penha, será estudado um modelo de administração por telegestão do fluxo luminoso durante a utilização da iluminação exterior do Campus.

O perfil de utilização das luminárias durante a utilização, considerando uma média de 12h por dia (valor médio de horas noturnas em Faro [35]), será conforme representado na Tabela 29. Nota-se que o intervalo de tempo 0h - 01h refere-se à primeira hora de funcionamento da iluminação, e assim sucessivamente. Considerou-se um valor médio para o kWh de 0,145€.

Tabela 29: Custo e energia consumida com a proposta de telegestão.

Proposta do Perfil de Utilização para a Telegestão com a Iluminação LED				
Intervalo do Tempo de Utilização	% de Funcionamento da Potência Máxima	Energia Consumida por Dia (kWh)	Custo Diário de Energia Elétrica (€)	Custo Mensal de Energia Elétrica (€)
0h - 01h	80%	17,7564	2,574678	77,24034
01h - 05h	100%	88,782	12,87339	386,2017
05h - 11h	50%	66,5865	9,6550425	289,651275
11h - 12h	80%	17,7564	2,574678	77,24034
Total		190,8813	27,6777885	830,333655

A proposta apresentada na Tabela 29 consiste em considerar uma utilização de 80% da potência máxima de todas as luminárias do campus na primeira hora de funcionamento da iluminação exterior, pois ainda haverá iluminação do sol durante o pôr do sol. O mesmo se justifica para a última hora de funcionamento, onde haverá iluminação do nascer do sol.

Sabe-se que o Campus da Penha fecha durante a madrugada. Com esse pressuposto, considerou-se utilizar apenas 50% da capacidade máxima das luminárias, pois não há utilização de peões e veículos nos caminhos pedonais e viários. Considera-se uma média de 3 horas de funcionamento noturno da Universidade. Nesse intervalo de hora foi considerado utilizar as luminárias a funcionar normalmente (100% da capacidade).

No próximo subcapítulo será realizado uma comparação económica e energética entre a otimização da eficiência energética com a telegestão utilizando a iluminação a LED, apenas a utilização da iluminação a LED e o caso atual.

6.5 Comparação da Proposta com a Situação Atual

Neste subcapítulo será abordado os parâmetros para uma comparação entre a proposta e a situação atual da RIP do projeto em questão.

Na tabela 30 está representado a comparação de alguns parâmetros a fim de verificar os prós e contras da proposta apresentada. Para a rede existente foram consideradas todas as luminárias a funcionar em condições normais. Para a rede proposta foi considerada a utilização normal de todas as luminárias LED durante o seu funcionamento, e para a rede proposta com telegestão foram considerados os parâmetros abordados na Tabela 29. Para calcular o custo total mensal da energia elétrica da Iluminação Exterior, considerou um tempo de utilização diário de 12 horas, um valor médio para o kWh de 0,145€. O valor do custo total mensal é uma

aproximação, tendo em consideração um valor por kWh suposto/médio utilizado atualmente nas tarifas de energia elétrica e uma aproximação média da quantidade de horas de utilização.

Na Tabela 31 está representado o Mapa de Medições e Orçamento dos principais materiais a utilizar neste projeto.

Na Tabela 32 apresenta-se a avaliação económica tendo em consideração o custo mensal da proposta com telegestão e apenas os principais materiais a utilizar na obra. Nota-se que além destes custos, deve-se ter em consideração custos com mão de obra, abertura de valas e outros materiais.

Tabela 30: Parâmetros de comparação entre a rede IP proposta (com e sem telegestão) e a existente.

Comparação da Rede de Iluminação Pública			
Parâmetros	Existente	Proposto	Proposto com Telegestão
Consumo Energético Diário (kWh)	409,20	266,346	190,8813
Consumo Energético Mensal (kWh)	12276	7990	5726
Custo total mensal de energia elétrica [€]	1780,02	1158,605	830,333655

Tabela 31: Mapa de Medições e Orçamento da Proposta da RIP [36]–[40].

Mapa de Medições e Orçamentos				
Materiais	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor total
Cabo LSVAV 4x16	910	Metros	2,93 €	2 666,30 €
Luminária IZYLUM 3 5304 70 LH351C 757 – 105W	97	Unidade	430,00 €	41 710,00 €
Luminária IZYLUM 3 5304 70 LH351C 757 – 61,5W + Coluna 4 metros	27	Unidade	637,75 €	17 219,25 €
Luminária TAG 2 5139 128 OSLO SQUARE GIANT NW 740 – 414 W	25	Unidade	1 561,62 €	39 040,50 €
Coluna 7 metros	4	Unidade	426,93 €	1 707,72 €
Coluna 18 metros	1	Unidade	1000	1 000,00 €
Total				103 343,77 €

Tabela 32: Avaliação económica da proposta para a nova RIP.

Avaliação Económica					
Custo Mensal Atual	Custo Mensal Proposto	Custo Mensal Proposto com Telegestão	Diferença Entre o Atual e o Proposto com Telegestão	Custo dos Materiais	Tempo de Retorno Bruto [anos]
1 780,02 €	1 158,61 €	830,33 €	949,69 €	103 343,77 €	9,07

Ao analisar a Tabela 32, nota-se que o período de retorno do investimento é cerca de 9 anos. Nota-se que o investimento é economicamente viável de médio a longo prazo.

O tempo de retorno de investimento pode ser ainda menor se considerar uma telegestão com mais pormenores, como por exemplo:

- Considerar uma programação diferenciada nos fins de semana e feriados, pois o horário de funcionamento é diferente, tendo a oportunidade de reduzir o consumo de energia elétrica com a iluminação;
- Considerar uma programação diferente durante as férias, podendo economizar de forma significativas nestes intervalos de dias;
- Utilizar sensores de presença, com a finalidade de aumentar e diminuir o fluxo luminoso consoante a presença ou não de uma pessoa ou veículo, de forma que não reflita com a perda de qualidade da iluminação para o usuário.

Mais se indica que no quesito iluminação observa-se uma melhora significativa na proposta apresentada. A proposta proporciona uma iluminação com uma uniformidade em níveis superiores ao recomendado, um rendimento (lm/W) melhor, uma temperatura de iluminação menor (proporcionando uma luz visivelmente mais branca, tornando o ambiente “num tom mais moderno”) e uma otimização da iluminação. Como mencionado no início do Capítulo 5, uma zona bem iluminada tende com que as pessoas se sintam mais seguras e num bem-estar em geral. Proporcionar uma boa iluminação, pode propiciar um bem-estar dos alunos, funcionários e outros dentro da Universidade.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

As análises dos Pedidos de Condições Técnicas de Ligação à Rede pôde proporcionar um conhecimento na área da distribuição de energia elétrica em BT. Os desafios encontrados, como por exemplo redes elétricas antigas, foram primordiais para colocar em prática conhecimentos técnicos a fim de proporcionar uma rede elétrica segura e com uma boa qualidade de energia elétrica entregue ao consumidor final.

Semelhante à função das análises dos PCLRs, as análises dos Projetos de Serviço Público também proporcionou desenvolver o conhecimento nas redes de baixa tensão. Além da RBT, adquiriu-se habilidades técnicas para avaliar projetos para execução da rede de iluminação pública.

A realização de projetos de média tensão proporcionou a aquisição de conhecimento além da RBT. Executar um projeto de MT carece de pesquisa e compreensão para obter conhecimentos das legislações, uso de software específicos como por exemplo o AutoCad, e funcionamento da RMT.

A execução do projeto de Iluminação Exterior do campus da Penha da Universidade do Algarve proporcionou um amplo conhecimento de luminotecnia e das normas regulamentares, além de propiciar aprender a utilizar software novos, como por exemplo o DIALux.

O conjunto de experiências no estágio e na realização do projeto de Iluminação Exterior, pôde proporcionar uma percepção do futuro da iluminação. Acredita-se que nos próximos anos a iluminação pública será em grande parte composta por luminárias LED com telegestão. No cenário atual em que uma crise energética é cogitada, torna-se uma mais valia ter uma iluminação usada de forma mais inteligente e eficaz, a fim de economizar energia.

O conhecimento adquirido com a experiência profissional até então foi muito recompensador de forma intelectual, crítica e analítica, profissionalmente e pessoalmente. Esta experiência profissional possibilitou obter também habilidades técnicas para o uso de alguns softwares de engenharia relacionados com redes de energia elétrica.

Como trabalho futuro, poderá ser analisado de forma mais pormenorizado os modelos alternativos para o uso da telegestão, citados no subcapítulo 6.5. Com o objetivo de diminuir ainda mais o período do retorno de investimento e garantir a qualidade da iluminação, sugere-

se efetuar os cálculos luminotécnicos e a avaliação económica para cada modelo ou conjunto de modelos sugeridos, ou outros.

Outra possibilidade seria realizar um projeto piloto em uma das zonas da universidade, e realizar uma comparação entre os custos e a qualidade de iluminação da situação atual com a do projeto piloto. Desta forma, podendo de forma concreta citar os prós e contras da iluminação LED com telegestão.

8. Apêndices

8.1 Apêndice A

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice A – Rede IP Atual.dwg e Rede IP Atual.pdf

8.2 Apêndice B

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice B - Relatório Luminotécnico Caso 1.pdf

8.3 Apêndice C

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice C - Rede IP Real.dwg e Rede IP Real.pdf

8.4 Apêndice D

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice D - Relatório Luminotécnico Caso 2.pdf

8.5 Apêndice E

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice E- Rede IP Proposta.dwg e Rede IP Proposta.pdf

8.6 Apêndice F

Apêndice fornecido em versão digital: Apêndice F - Relatório Luminotécnico Caso 3.pdf

Bibliografia

- [1] Diário da República Eletrónico, *Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão*. Portugal, 2006.
- [2] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Instalações Elétricas de Serviço Particular,” <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energia-eletrica/instalacoes-eletricas-de-utilizacao-de-energia-eletrica/instalacoes-eletricas-de-servico-particular-tipo-a-b-e-c/>, Aug. 10, 2017. [Acedido em 02/09/2022].
- [3] E-Redes, “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público,” https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Ligacoes_Rede_2018_9%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf, Oct. 2018. [Acedido em 02/09/2022].
- [4] Ministérios da Indústria e Energia e do Equipamento Social, “RSRDEEBT,” <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/90-1984-396518://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/90-1984-396518>, Dec. 26, 1984. [Acedido em 02/09/2022].
- [5] Tânia R. de Souza, “Transferência de Calor,” http://rodolfo.chengineer.com/data/uploads/ba200_aula10.pdf, May 30, 2016. [Acedido em 02/09/2022].
- [6] USP, “Condução de Energia,” <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Cap5.pdf>. [Acedido em 02/09/2022].
- [7] ALCOBRE, “Cabos Industriais de Potência,” https://www.alcobre.pt/files/media/29_1.pdf. [Acedido em 02/09/2022].
- [8] Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva; António Augusto Araújo Gomes, “QUEDAS DE TENSÃO EM INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS DE BAIXA TENSÃO,” file:///C:/Users/ex111672/Downloads/adminojs,+Journal+manager,+ART_HenriqueSilva_2010_NAT.pdf, 2010. [Acedido em 02/09/2022].
- [9] JOSÉ EDUARDO SEMEDO ROMÃO, “Ferramenta Computacional para Seleção de Proteções em Parques Eólicos e S/E’s,” INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa, 2016.
- [10] E-Redes, “DIT-C14-100/N,” https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-04/DIT-C14-100_1.pdf, Apr. 2021. [Acedido em 02/09/2022].
- [11] E-Redes, “DIT-C11-010/N,” <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-05/DIT-C11-010.pdf>, May 2021. [Acedido em 02/09/2022].
- [12] COOPER Bussmann, “Características Fusível Bussmann,” https://www.tme.eu/Document/7d253a9842855876dfe27734b478f852/Bus_Ele_DS_2142_NH.pdf, Apr. 23, 2009. [Acedido em 02/09/2022].
- [13] Manuel Martinho, “O Instalador,” <https://www.oinstalador.com/Artigos/316501-Eltricidade-nao-subestimar-os-riscos-do-perigo-oculto-6.html>, Nov. 09, 2020.

- [14] Henrique Mattede, “Mundo da Elétrica,” <https://www.mundodaeletrica.com.br/neutro-de-onde-surge-para-que-serve/>. [Acedido em 02/09/2022].
- [15] Bruno Miguel Moreira Coelho, “Classificação de Tipologia de rede da EDP Distribuição,” Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [16] E-Redes, “Documento Interno da E-Redes: Projeto de MT,” 2022.
- [17] E-Redes, “Iluminação Pública - Um instrumento de Cidadania,” https://www.e-redes.pt/pt-pt/historias/iluminacao-publica-um-instrumento-de-cidadania#faq_20126. [Acedido em 02/09/2022].
- [18] A. H. A. A.-L. M. Peña-García, “Impacto da Iluminação Pública na Percepção de Segurança e Bem-Estar dos Pedestres,” <https://trid.trb.org/view/1356068>, vol. 78, Oct. 2015. [Acedido em 02/09/2022].
- [19] Armínio Teixeira, “NORMA EUROPEIA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EN 13201,” https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%Fablica/Relat%F3rios%20e%20Normas/norma_europeia_de_iluminacao_publica_en_13201.pdf. [Acedido em 02/09/2022].
- [20] Thomas Carvalho, “Espectro Eletromagnético,” <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. [Acedido em 02/09/2022].
- [21] Kleper de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraivava, “Fotometria,” <http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm>, Apr. 01, 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [22] Inova Lite, “Intensidade Luminosa,” <https://www.innovalite.com.br/saiba-o-que-e-intensidade-luminosa/>. [Acedido em 02/09/2022].
- [23] Proinova tecnologias sustentáveis, “Dicionário da Iluminação,” <https://proinova.com/tag/curva-de-distribuicao-de-intensidade-luminosa/>, Jun. 17, 2019. [Acedido em 02/09/2022].
- [24] EDP Distribuição e Ordem dos Engenheiros, “Seminário de Iluminação Pública EDP Distribuição,” https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regiaosul/seminariodeipdaedpdistribuicao_oepartilha.pdf. [Acedido em 02/09/2022].
- [25] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, “Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes,” https://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/servizi/inquinamento_luminoso/all egati/cen_tr_13201-1_2004.pdf, Jul. 2004. [Acedido em 02/09/2022].
- [26] National Standards Authority of Ireland, “Road lighting - Part 2: Performance requirements,” <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2015/i.s.en13201-2-2015.pdf?sku=1843911>, Dec. 23, 2015. [Acedido em 02/09/2022].
- [27] Frederico Olavo da Silva Henriques Seabra, “Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão e Estudo da Iluminação Pública de um Loteamento Industrial,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2018. Accessed: Sep. 01, 2022. [Online]. Available: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/23005/1/Frederico-Olavo-Seabra.pdf> [Acedido em 02/09/2022].

- [28] Energias de Portugal, “Manual da Iluminação Pública - EDP,” <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>, Oct. 2016. [Acedido em 02/09/2022].
- [29] SYLVANIA, “SYLVANIA SHP-T 150W BASIC PLUS E40 – Vapor Sódio,” <https://www.sylvania-lighting.com/product/pt-PT/products/0020847/>. [Acedido em 02/09/2022].
- [30] OSRAM, “OSRAM Vialox nav-t 1000 - 1000w E40 – Vapor Sódio de Alta Pressão.” https://www.osram.pt/ecat/VIALOX%20NAV-T-L%C3%A2mpadas%20de%20vapor%20de%20s%C3%B3dio%20de%20alta%20press%C3%A3o%20para%20lumin%C3%A1rias%20de%20embutir-L%C3%A2mpadas%20de%20descarga%20de%20alta%20intensidade-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/pt/pt/GPS01_1028109/ZMP_58272/. [Acedido em 02/09/2022].
- [31] LUMsearch, “EFL540 [S60] IP66:HST-X4 150W/E40,” https://lumsearch.com/en-US/article/HcG0mF-4Rg2UPbISDoyjfg?_Y=1420.6666259765625. [Acedido em 02/09/2022].
- [32] LUMsearch, “FLA780 [A60] IP66:HST 1000W/E40,” https://lumsearch.com/en-US/article/vd8B8CpWTSixNEbtDg_0lg?_Y=2400. [Acedido em 02/09/2022].
- [33] Scheréder, “Luminária IZYLUM,” https://pt.schreder.com/sites/default/files/2021-12/IZYLUM_ProductSheet_PT.pdf, Dec. 2021. [Acedido em 02/09/2022].
- [34] Scheréder, “Luminária TAG,” https://pt.schreder.com/sites/default/files/2021-06/TAG_ProductSheet_PT.pdf, Jun. 2021. [Acedido em 02/09/2022].
- [35] Wheather Spark, “Clima e condições meteorológicas médias em Faro no ano todo,” <https://pt.weatherspark.com/y/32777/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Faro-Portugal-durante-o-ano>, 2022. [Acedido em 17/09/2022].
- [36] Greenice, “Coluna troncocónica 4 metros,” <https://greenice.com/pt/acessorios-para-iluminacao-publica/18531-poste-de-iluminacao-troncoconic-4m-parafusos-aco-galvanizado-8445152005886.html?currency=EUR&srsltid=AdGWZVsbkusUhhUzxDBDqY6Q9ZFyJOWIRgcc9hrOzJKSQ36p4YHdrsYlvRc>, Aug. 27, 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [37] iLamparas, “Coluna Troncocónica 7 metros,” <https://ilamparas.pt/leds-c4-urban/coluna-troncoconica-galvanizada--81-3149-av-av/>, Aug. 27, 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [38] CHL, “Preço Cabo LSVAV 4x16,” <https://www.chlengenharia.pt/compra/cabo-lsvav-4x16mm2-preco-por-metro-588855>, Aug. 27, 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [39] STOLB, “Preço Luminária Scheréder IZYLUM 2,” <https://stolb.com.ua/en/svitlodiodniy-vulichniy-svitilnik-schreder-izylum-2-67-vt/>, Jul. 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [40] STOLB, “Preço Luminária Scheréder IZYLUM 3,” <https://stolb.com.ua/en/svitlodiodniy-vulichniy-svitilnik-schreder-izylum-3-110-vt/>, Jul. 2022. [Acedido em 02/09/2022].
- [41] E-REDES, “DMA-C33-251,” <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-03/DMA-C33-251.pdf>, Mar. 2021. [Acedido em 02/09/2022].