

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ROBERTO CESAR MARTINEZ

PROJETO DE EXPANSÃO DE REDE DE BAIXA TENSÃO E LUMINOTÉCNICO PARA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CANOAS

Porto Alegre

2013

ROBERTO CESAR MARTINEZ

PROJETO DE EXPANSÃO DE REDE DE BAIXA TENSÃO E LUMINOTÉCNICO PARA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CANOAS

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Petry Homrich

Porto Alegre

2013

ROBERTO CESAR MARTINEZ

PROJETO DE EXPANSÃO DE REDE DE BAIXA TENSÃO E LUMINOTÉCNICO PARA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CANOAS

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de "Projeto de Diplomação", do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

---

Orientador: Prof. Dr. Roberto Petry Homrich

---

Coordenador: Prof. Dr. Altamiro Amadeu Susin

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Gladis Bordin (Doutora) - UFRGS

---

Prof. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro (Doutor) - UFRGS

---

Prof. Roberto Petry Homrich (Doutor) – UFRGS

---

Porto Alegre, julho de 2013

Este trabalho é dedicado a minha esposa pela paciência, compreensão e apoio incondicional. Sem ela, o caminho acadêmico teria sido impossível.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos colegas pela ajuda e companhia.

A minha família pelo incentivo.

Ao meu orientador pelo apoio e correção do trabalho.

Ao engenheiro Tiago pela amizade.

A minha esposa.

Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.

Carl Sagan

## **RESUMO**

Nos últimos anos aconteceram algumas mudanças no modo de gestão da iluminação pública no país. Essas mudanças são normatizadas pela agência reguladora e empresas distribuidoras de energia elétrica. Como consequência, os municípios encontraram dificuldades técnicas e administrativas. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma solução de engenharia para a elaboração e implantação de um projeto luminotécnico e de extensão de rede de baixa tensão para iluminação pública na cidade de Canoas.

Palavras-chave: Iluminação Pública. Extensão de rede. Projeto Luminotécnico. Canoas.

## **ABSTRACT**

In recent years there have been some changes in management mode of public lighting in the country. These changes are normalized by the regulatory agency and distributors of electricity. As a result, municipalities have found technical and administrative difficulties. This work aims to present an engineering solution for the design and implementation of a lighting project and extension of the low voltage network for public lighting in the city of Canoas.

Keywords: Public Lighting. Network Extension. Lighting Design. Canoas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro visível e demais radiações eletromagnéticas.....	18
Figura 2 - Curvas de sensibilidade espectral.....	19
Figura 3 - Campo visual.....	20
Figura 4 - Ofuscamento fisiológico.....	22
Figura 5 - Zonas de ofuscamento entre 80° e 90°.....	23
Figura 6 - Temperatura de Cor Correlata.....	24
Figura 7 - Intensidade luminosa.....	26
Figura 8 - Componentes de uma lâmpada VSAP.....	29
Figura 9 - Curva media de mortalidade para lâmpada VSAP.....	30
Figura 10 - Componentes de uma lâmpada VM.....	30
Figura 11 - Curva media de mortalidade de lâmpadas VM.....	31
Figura 12 - Tipos de reatores para IP.....	35
Figura 13 - Conjunto ignitor, capacitor e reator na luminária.....	37
Figura 14 - Conjunto base e relé.....	38
Figura 15 - Ligação elétrica tomada e relé.....	39
Figura 16 - Comando em grupo por relé e contactora.....	39
Figura 17 - Modelo de distribuição de intensidades luminosas.....	41
Figura 18 - Diagrama polar de distribuição de intensidade luminosa para o semiplano principal.....	42
Figura 19 - Luminária fechada com refrator prismático.....	44
Figura 20 - Luminária fechada com alojamento para equipamento auxiliar.....	45
Figura 21 - Luminária fechada com alojamento auxiliar tipo pétala.....	45
Figura 22 - Luminárias ornamentais.....	46
Figura 23 - Tipos de vias públicas.....	48
Figura 24 - Posteamto unilateral.....	54
Figura 25 - Posteamto bilateral alternado.....	54
Figura 26 - Posteamto bilateral frente as frente.....	55
Figura 27 - Posteamto central.....	55
Figura 28 - Posteamto para canteiros maiores a seis metros.....	56
Figura 29 - Curvas isolux de luminárias.....	57
Figura 30 - Localização do projeto na planta digital da cidade de Canoas.....	62
Figura 31 - Detalhe da extensão A.....	64
Figura 32 - Detalhe do apêndice B para as extensões de rede.....	65
Figura 33 - Resumo de configurações de cruzetas da AES Sul.....	67
Figura 34 - Detalhe do apêndice B.....	68
Figura 35 - Tabela de queda de tensão da extensão A.....	70
Figura 36 - Cálculo de queda de tensão para a extensão B.....	71
Figura 37 - Queda de tensão para a extensão C.....	72
Figura 38 - Queda de tensão para a extensão D.....	72
Figura 39- Configuração do poste 45.....	73
Figura 40 - Planilha de cálculo de tração.....	74
Figura 41- Configuração do poste 40.....	74
Figura 42- Planilha de cálculo de FR no poste 40.....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Iluminação em função da idade.....	21
Quadro 2 - Características de lâmpadas VMET.....	33
Quadro 3 - Características principais de lâmpadas para IP.....	33
Quadro 4 - Características de reatores.....	35
Quadro 5 - Reatores para lâmpadas VSAP.....	36
Quadro 6 - Tipo de reatores integrados na luminária.....	36
Quadro 7 - Rendimento de luminárias padrão CEIP.....	42
Quadro 8 - Grau de proteção contra poeira.....	43
Quadro 9 - Grau de proteção contra água.....	43
Quadro 10 - Grau de proteção de luminárias.....	44
Quadro 11 - Classificação de via em função de tráfego motorizado.....	49
Quadro 12 - Classificação de via em função de tráfego de pedestres.....	49
Quadro 13 - Níveis de iluminância para vias públicas.....	50
Quadro 14 - Fator de uniformidade.....	51
Quadro 15 - Altura de montagem em função do fluxo luminoso.....	52
Quadro 16 - Fator de correção em função da altura da luminária.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
AES SUL	Distribuidora Gaúcha de Energia S/A
IP	Iluminação Pública
SMSU	Secretaria Municipal de Serviços Urbanos
DIP	Diretoria de Iluminação Pública
RELUZ	Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente
VSAP	Vapor de Sódio de Alta Pressão
BT	Baixa Tensão
MT	Media Tensão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
NTD	Normas Técnicas da AES Sul
VM	Vapor de Mercúrio
VMET	Vapor Metálico
MVM	Multivapores Metálicos
PMC	Prefeitura Municipal de Canoas
IRC	Índice de Reprodução de Cores
TCC	Temperatura de Cor Correlata
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
FR	Força Resultante
LABELO	Laboratórios Especializados em Eletroeletrônicos
CEIP	Centro de Excelência em Iluminação Pública
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	APRESENTAÇÃO.....	15
1.2	CARACTERÍSTICAS DA IP.....	16
1.3	PROBLEMAS DOS PROJETOS PARA IP.....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS DE ILUMINAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
2.1	BREVE HISTÓRICO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	17
2.2	CONCEITOS SOBRE LUZ E VISÃO.....	18
2.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA VISUAL.....	19
<b>2.3.1</b>	<b>Curvas de sensibilidade espectral.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Campo visual.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Adaptação.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Acuidade.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Contraste.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Ofuscamento.....</b>	<b>22</b>
2.4	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES.....	23
2.5	TEMPERATURA DE COR CORRELATA.....	24
2.6	TERMINOLOGIA DE LUMINOTÉCNICA.....	24
<b>2.6.1</b>	<b>Radiação.....</b>	<b>24</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Fluxo radiante.....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Fluxo luminoso.....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Eficácia luminosa.....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.5</b>	<b>Eficiência luminosa.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6.6</b>	<b>Intensidade luminosa.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6.7</b>	<b>Iluminância ou iluminamento.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>PRINCIPAIS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>	<b>28</b>
3.1	TIPOS DE LÂMPADAS.....	28
<b>3.1.1</b>	<b>Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Lâmpada a vapor de mercúrio.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Lâmpadas a multivaporesmetálicos.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Resumo comparativo sobre lâmpadas.....</b>	<b>33</b>

3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES PARA IP.....	34
3.2.1	<b>Reatores</b> .....	34
3.2.2	<b>Ignitores</b> .....	37
3.2.3	<b>Relé fotoelétrico</b> .....	37
3.2.4	<b>Conjunto relé-caixa contatora</b> .....	39
3.2.5	<b>Luminárias</b> .....	40
3.2.5.1	Distribuição das intensidades luminosas das luminárias.....	41
3.2.5.2	Rendimento ótico das luminárias.....	42
3.2.5.3	Grau de proteção das luminárias.....	43
3.2.5.4	Luminárias comumente utilizadas em IP.....	44
4	<b>PROJETOS DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> .....	47
4.1	TIPOS DE VIAS PARA IP E CLASSIFICAÇÃO PELO VOLUME DE TRAFEGO.....	47
4.2	NIVEIS DE ILUMINÂNCIA EM VIAS PÚBLICAS.....	49
4.2.1	<b>Fator de uniformidade de iluminância</b> .....	50
4.3	ESCOLHA DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS PARA IP.....	51
4.4	ALTURA DE MONTAGEM DO CONJUNTO DE ILUMINAÇÃO.....	52
4.4.1	<b>Altura dos postes</b> .....	53
4.5	DISPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE ILUMINAÇÃO.....	53
4.5.1	<b>Posteamento unilateral</b> .....	53
4.5.2	<b>Posteamento bilateral alternado</b> .....	54
4.5.3	<b>Posteamento bilateral frente a frente</b> .....	55
4.5.4	<b>Posteamento central</b> .....	55
4.6	CÁLCULOS FOTOMETRICOS PARA VIAS PÚBLICAS.....	56
4.6.1	<b>Curvas Isolux</b> .....	57
4.6.2	<b>Exemplo de cálculo de iluminância com curvas isolux</b> .....	58
4.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE REDE ELETRICA PARA IP.....	59
5	<b>UM PROJETO DE IP NA CIDADE DE CANOAS</b> .....	61
5.1	MAPA DIGITAL E GEORREFERENCIAMENTO.....	61
5.2	ESCOLHA DE LAMPADAS E LUMINARIAS.....	62
5.2.1	<b>Simulação no software Dialux e resultados fotométricos</b> .....	63
5.2.1	<b>Descrição sobre a planta da parte luminotécnica</b> .....	63
5.3	CARACTERISTICAS DO PROJETO ELÉTRICO.....	66
5.3.1	<b>Simbologia utilizada no projeto</b> .....	66

<b>5.3.2</b>	<b>Cálculo de queda de tensão nas extensões de rede BT.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Cálculo das forças resultantes nos postes.....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	
	<b>APÊNDICE B</b>	
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>80</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A transferência de responsabilidades sobre a gestão do patrimônio da Iluminação Pública (IP) foi conduzida aos municípios conforme a resolução da ANEEL 414/2010.

Os conhecimentos elementares de engenharia em Iluminação Pública (IP), conceitos, materiais, normas, são de domínio pleno da grande maioria dos municípios detentores dos ativos imobilizados da IP. Contudo, as mudanças abruptas levaram a problemas críticos de gestão e principalmente de engenharia na implantação de IP.

Existem problemas de infraestrutura, baixa qualificação de funcionários, falta de equipe de apoio, problemas de pendências de rede de Baixa Tensão (BT) por motivos de ampliação urbana e furto de cabos existentes. A estes, somam-se as exigências naturais de IP de maior qualidade manifestada pela população. Tais pendências, em alguns casos, impossibilitam a implantação de IP.

Este trabalho tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de um projeto de engenharia para o atendimento das pendências da rede BT, essenciais à IP, projeto de expansão de rede BT e projeto luminotécnico.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DA IP

A IP tem como objetivo principal proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres de forma rápida, confortável e precisa. Os projetos de IP devem atender aos benefícios econômicos e sociais para os cidadãos, a redução de acidentes noturnos, auxílio à proteção policial, melhoria das condições de vida, facilidade do fluxo do tráfego, destaque e embelezamento dos edifícios e obras públicas durante a noite e eficiência energética. Será produzida uma IP adequada e eficiência energética se o projetista e o usuário utilizarem: lâmpadas, reatores e luminárias eficientes, luminárias com posicionamento e alturas adequadas, um programa de manutenção otimizado, para garantir a preservação do nível de iluminação pretendido no projeto.

A correta distribuição das intensidades luminosas das luminárias é um dos fatores essenciais de iluminação eficiente em vias. As intensidades emitidas pelas luminárias são controladas direcionalmente e distribuídas para uma visibilidade adequada. As distribuições

dessas intensidades são de acordo com a altura de montagem de luminárias, posição transversal de luminárias, espaçamento, posicionamento, largura das vias a serem iluminadas, porcentagem do fluxo luminoso na pista.

O brilho noturno no céu, provocado pela luz artificial mal direcionada de casas, prédios e demais instalações, que é refletida na poeira, vapor de água e outras partículas dispersas na atmosfera, representa a poluição luminosa. Podem-se entender essa poluição como desperdício de energia provocada por projetos ineficientes. Na IP, a poluição luminosa é traduzida em projetos com níveis de iluminância superdimensionados não condizentes com a iluminação recomendada na norma. Para reduzir a parcela da IP na poluição luminosa, as luminárias devem possuir uma classificação que mantenha baixa a emissão de luz acima do eixo horizontal.

### 1.3 PROBLEMAS DOS PROJETOS PARA IP

Os projetos de IP atendem a normas ABNT como a NBR5101, normas das próprias distribuidoras de energia elétrica e normas internacionais como no caso do Led (*Light Emitting Diode*). Pelas atuais exigências urbanas e disponibilidade de tecnologia, a norma ficou defasada no que se refere a níveis mínimos e médios de iluminância. Algumas normas das distribuidoras não permitem a otimização de projetos para uma maior eficiência energética e melhor aproveitamento de materiais.

## 2 FUNDAMENTOS DE ILUMINAÇÃO

### 2.1 BREVE HISTÓRICO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A produção de luz passa historicamente pelo desenvolvimento da vela e da lâmpada a óleo em pleno Império Romano, também pelo tradicional lampião com camisa. Em 1879, Thomas Alva Edison obteve sucesso na produção de uma lâmpada elétrica incandescente, utilizando um filamento de carbono. Essa lâmpada incandescente permaneceu acesa por 40 horas.

Com o crescimento das cidades e o advento de eletricidade, a importância da iluminação na sociedade aumentou e, com ela, a proliferação e o refinamento das fontes luminosas.

Historicamente, a iluminação pública de ruas começou baseada em conceitos de segurança individual e da propriedade. Posteriormente, na necessidade de identificação do cidadão dentro da comunidade e de sua participação em atividades públicas. Finalmente, com a invenção do automóvel, a iluminação pública veio contribuir para o tráfego automobilístico.

Os principais acontecimentos históricos de IP no Brasil são relacionados a seguir:

- Inauguração da iluminação elétrica na Estação Central do Rio de Janeiro (1879);
- Inauguração da primeira usina hidrelétrica de grande porte em Juiz de Fora (1887);
- Inauguração da primeira fábrica de lâmpadas do Brasil no Rio de Janeiro (1921);
- Praticamente todos os logradouros da cidade de São Paulo possuíam lâmpadas incandescentes (1936);
- Aplicação de lâmpadas a vapor de mercúrio no Aterro do Flamengo (1965);
- Aplicação da tecnologia a vapor de sódio – VSAP na via Anchieta em São Paulo (1977);
- Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica – PROCEL (1985);
- Aplicação da tecnologia multivapor metálico (MVM) em Minas Gerais (1989) e
- Aplicação da tecnologia de led para semáforos em São Paulo (1999).

## 2.2 CONCEITOS SOBRE LUZ E VISÃO

Do ponto de vista físico, a natureza da luz foi estudada por cientistas que elaboraram teorias ou modelos a partir de análises das manifestações das radiações: Newton (teoria corpuscular), Huygens (teoria ondulatória), Maxwell (teoria eletromagnética), Plank (teoria quântica), Einstein (efeito fotoelétrico), De Broglie e Heisenberg (teoria unificada).

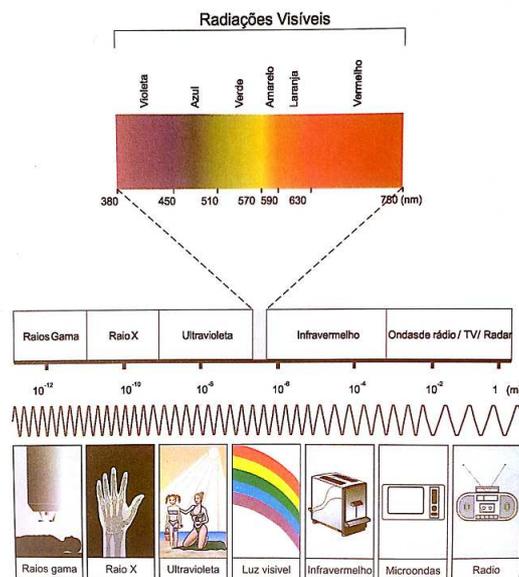
A teoria unificada interpreta a luz como um pacote de energia com um comportamento dual. Em certas interações se comporta como uma onda e em outras como partícula.

Para luminotécnica, a luz pode ser definida como a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. É a radiação eletromagnética compreendida em uma faixa de comprimentos de onda cujos limites, ainda não perfeitamente definidos, são geralmente considerados entre 380 e 400 nanômetros (nm), como limite inferior, e 760 e 780 nm, como limite superior.

As radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda imediatamente inferiores ao da cor violeta e superiores ao do vermelho do espectro visível são chamadas, respectivamente, de radiações ultravioleta e infravermelha. Os prefixos ultra e infra estão relacionados à frequência.

O espectro visível pode ser dividido em um certo número de faixas de comprimento de onda, cada uma causando no olho humano uma impressão de cor como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Espectro visível e demais radiações eletromagnéticas.



Fonte: [8].

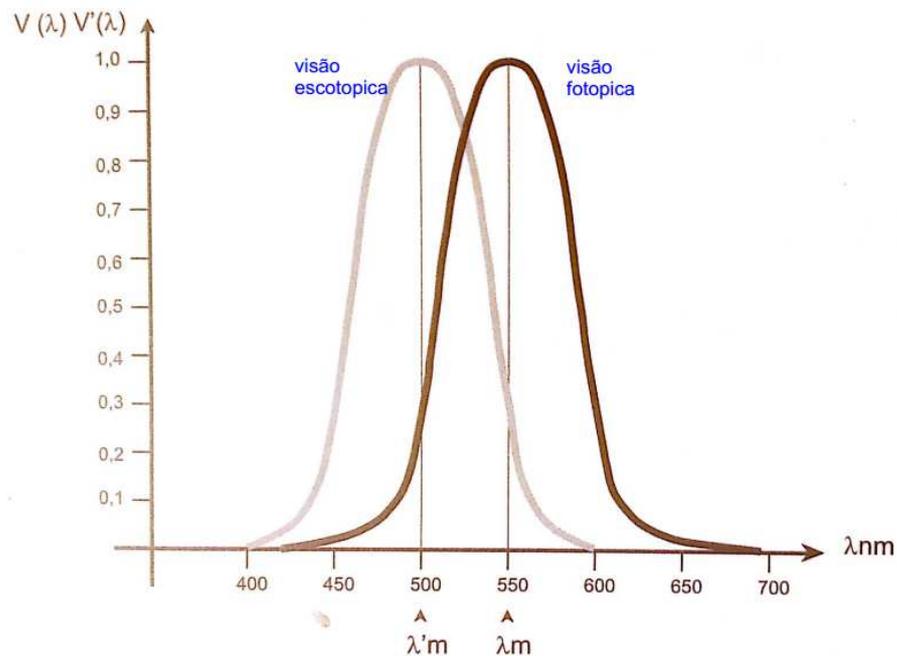
Para que ocorra o fenômeno da visão é necessário que essas radiações cheguem até o fundo do olho, e que o mesmo transmita ao cérebro as informações captadas. A visão, então, se constitui na apreciação de imagens produzidas pelas radiações visíveis recebidas pelos olhos.

## 2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA VISUAL

### 2.3.1 Curvas de sensibilidade espectral

Algumas características do sistema visual devem ser consideradas para os projetos de iluminação. A sensibilidade do olho humano varia de acordo com as intensidades luminosas e com os estímulos de cor. Essas variações dependem do comprimento de onda de cada radiação visível como representadas na curva internacional de luminosidade relativa da Figura 2.

Figura 2 – Curvas de sensibilidade espectral.



Fonte: [8].

A curva fotópica é a resposta do olho humano à luz em níveis de iluminância altos ou diurnos. Nesse caso, o pico de sensibilidade se dá entre 550nm e 555nm. A curva escotópica é a resposta do olho humano à luz em níveis de iluminância baixos ou noturnos.

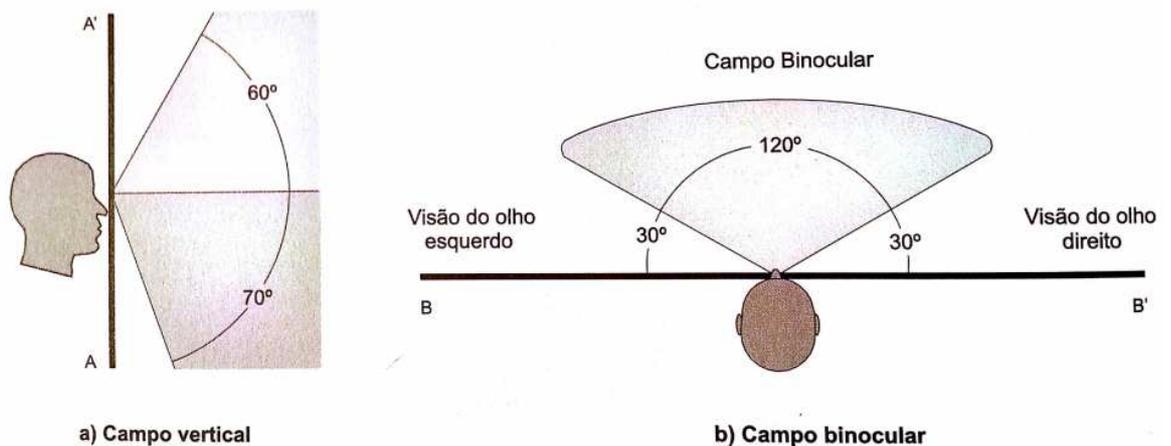
O deslocamento do pico de sensibilidade é denominado de efeito “Purkinje” e pode ser explicado pela presença de dois tipos de células receptoras na retina do olho humano: cones e bastonetes. Os cones ativos em alta luminosidade e concentrados no centro da retina. Os bastonetes ativos em baixa luminosidade e concentrados na periferia da retina.

### 2.3.2 Campo visual

Situações em que o foco de luz incida diretamente na visão do usuário devem ser evitadas. Isso provoca o ofuscamento e pode ser evitado pelo controle dos níveis de iluminância no campo visual.

A extensão angular do espaço no qual um objeto pode ser percebido, define o campo visual. Ou seja, é o limite do alcance da visão de cada olho ou em relação aos dois olhos (campo binocular), como mostrado na Figura 3. O campo de visão humana alcança  $60^\circ$  para cima,  $70^\circ$  para baixo e  $120^\circ$  de campo binocular.

Figura 3 - Campo visual.



Fonte: [8].

### 2.3.3 Adaptação

Refere-se à forma que o olho humano se ajusta a contínuas e diferentes intensidades de luz o cor.

Na passagem da visão fotóptica para a escotópica e vice-versa, a visão necessita de um determinado tempo para se adaptar. A transição da visão fotóptica para a escotópica ocorre em aproximadamente 30 segundos, a transição contrária é muito mais rápida. Um exemplo clássico do fenômeno de adaptação é a iluminação de túneis com um sistema adequado para diminuir a acentuada diferença de luminosidade existente dentro e fora de um túnel tanto no período diurno quanto no noturno.

### 2.3.4 Acuidade

A capacidade de distinguir detalhes nos objetos visualizados é a acuidade visual. Adequados níveis de iluminância e correto fator de uniformidade, criam ambientes de tráfego motorizado mais seguro e com maior discernimento.

A acuidade diminui com o avanço da idade e assim, a iluminância relativa será maior quanto maior a idade para realizar determinada tarefa, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1- Iluminação em função da idade.

Idade	Iluminação relativa	Iluminação percentual
20	1.00	100%
30	1.08	108%
40	1.22	122%
50	1.45	145%
60	1.75	175%
70	2.20	220%

Fonte: [15].

### 2.3.5 Contraste

O contraste é função da relação entre as luminosidades do objeto e do fundo onde ele se encontra. Entre um objeto negro e um fundo amarelo, existe um o maior contraste, entre um objeto verde e um fundo branco, existe um menor contraste.

### 2.3.6 Ofuscamento

O ofuscamento ou “cegueira momentânea” é causado por posicionamento inadequado de luminárias ou por iluminação excessiva.

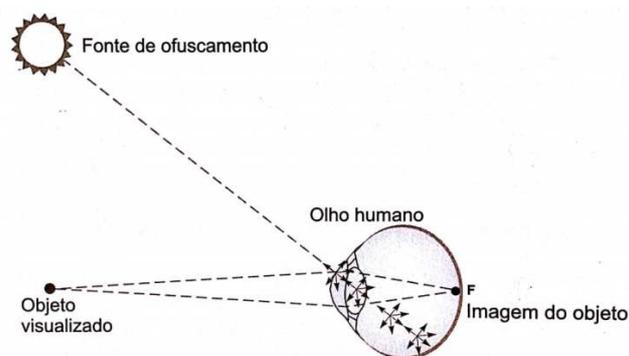
Existem dois tipos de ofuscamento: o psicológico e o fisiológico. Ambos podem ser minimizados com um melhor posicionamento de luminárias ou com utilização de refratores. O estudo do ofuscamento e sua limitação são de extrema importância na IP para a diminuição dos riscos de acidente.

O ofuscamento psicológico ou desconfortável muda o grau de conforto do motorista alterando a sua disposição para a tarefa de dirigir. É representado pela letra G associada a um número:

- G=1- ofuscamento inaceitável;
- G=3- ofuscamento perturbador;
- G=5- ofuscamento aceitável;
- G=7- ofuscamento satisfatório e
- G=9- ofuscamento imperceptível

O ofuscamento fisiológico ou inabilitador causa deficiência da capacidade visual, ou seja, redução de contraste, de acuidade e de velocidade de percepção. Nesse tipo de ofuscamento a luz se espalha pelo globo ocular diminuindo o contraste das imagens projetadas na retina, como mostra a Figura 4.

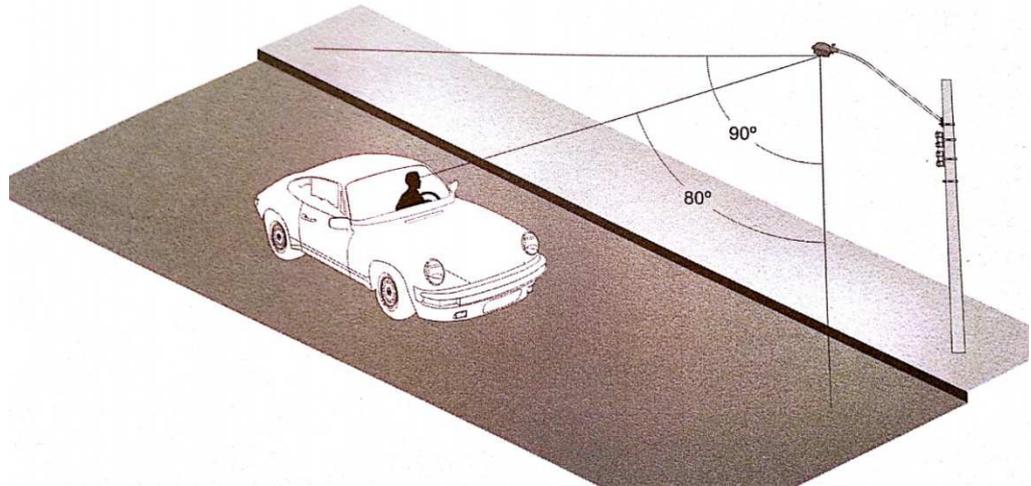
Figura 4 - Ofuscamento fisiológico.



Fonte: [8].

O índice de acidentes de carro durante a noite é três vezes maior que o registrado no período diurno, segundo pesquisas na Europa. Para este trabalho interessa o ofuscamento produzido por luminárias de IP. Esse tipo de ofuscamento é limitado com o uso de luminárias de intensidade luminosa reduzida entre  $80^\circ$  e  $90^\circ$ , como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Zonas de ofuscamento entre  $80^\circ$  e  $90^\circ$ .



Fonte: [8].

## 2.4 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) de uma fonte luminosa artificial é a medida da cor real de uma superfície e sua aparência ao ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC de 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade.

Os índices variam de acordo com a fonte de luz e, por outro lado, cada tipo de ambiente permite a utilização de fontes com índices diferentes, de acordo com sua finalidade.

O IRC independe de sua temperatura de cor (K), pois existem lâmpadas com diferentes temperaturas de cor e que apresentam o mesmo IRC. Enquanto a temperatura de cor tem a ver com a tonalidade dominante da fonte de luz, o IRC tem a ver com a presença ou não de todas as faixas do espectro de luz desta fonte. Ou seja, a temperatura de cor mede o quanto próximo do branco é a cor de uma fonte de luz e o IRC sua capacidade de mostrar o maior número de cores do espectro.

## 2.5 TEMPERATURA DE COR CORRELATA (TCC)

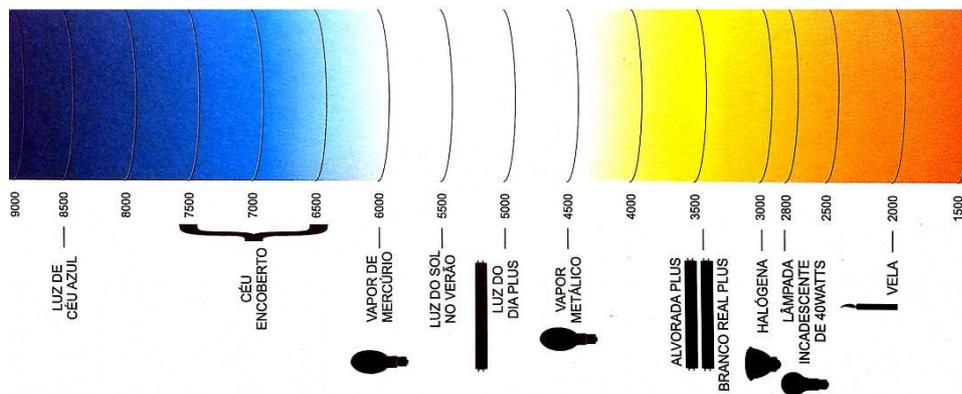
É comum os manuais de iluminação citarem, além das características mais específicas de uma fonte luminosa, a sua temperatura de cor.

Temperatura de cor é um conceito utilizado para descrever a cor de uma fonte de luz, quando comparada com a radiação do corpo negro ou radiador absoluto. Assim, a temperatura de cor de uma fonte luminosa é aquela na qual o corpo negro emite um fluxo luminoso de mesma intensidade que a fonte e, comparativamente, com as mesmas frequências básicas.

A TCC é medida em Kelvin e varia de 1500K (aparência laranja), até 9000K (aparência azul).

São denominadas lâmpadas quentes, aquelas com aparência amarelada e temperatura de cor inferior a 3100K. As lâmpadas frias tem aparência azul-violeta e temperatura superior a 4000K e as que se encontram entre 3100K e 4000K, são chamadas de neutras. A Figura 6 mostra diferentes lâmpadas e outras fontes luminosas com suas temperaturas de cor e aparência.

Figura 6 - Temperatura de Cor Correlata.



Fonte: [8].

## 2.6 TERMINOLOGIA DE LUMINOTÉCNICA

### 2.6.1 Radiação

Radiação é a emissão ou transporte de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas (ou de partículas) que atravessam o vácuo a uma velocidade próxima a 300000 km/s. Quando

a radiação atravessa um meio material (por exemplo, ar ou vidro) a velocidade de propagação é reduzida em função do índice de propagação do meio.

Para cada tipo de onda, a velocidade de propagação,  $c$ , é igual ao produto do comprimento de onda  $\lambda$ , pela frequência,  $f$ , conforme a Expressão (1).

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

### 2.6.2 Fluxo radiante

O fluxo ou potência radiante é a potência emitida, transferida ou recebida em forma de radiação, sendo medida em Watt.

### 2.6.3 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso ( $\phi$ ) é uma grandeza derivada do fluxo radiante pela avaliação da radiação de acordo com a sua ação sobre um receptor seletivo, cuja sensibilidade espectral é definida pelas curvas de eficácia espectral padrão CIE (Comissão Internacional de Iluminação). É entendido como a quantidade total de luz emitida por segundo por uma fonte luminosa, sendo medido em lúmens (lm); 1lm corresponde à quantidade de luz produzida em 1 segundo por uma radiação eletromagnética com  $\lambda=555\text{nm}$  e fluxo radiante de  $1/680\text{ W}$ .

A fonte luminosa, na maioria das vezes, não irradia luz uniformemente em todas as direções. Para se aferir a quantidade de lumens que são emitidos por uma fonte luminosa mede-se nas direções onde se deseja esta informação.

### 2.6.4 Eficácia luminosa

A eficácia luminosa de uma radiação é a razão do fluxo luminoso para o fluxo radiante correspondente. O termo “eficácia“ foi adotado para indicar a qualidade de uma radiação de ser eficaz quanto à possibilidade de produzir uma sensação luminosa, não devendo ser confundida com eficiência.

### 2.6.5 Eficiência luminosa

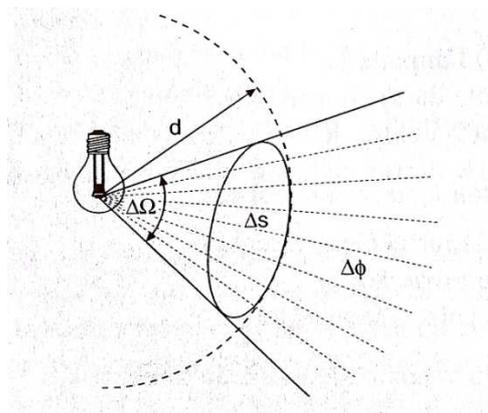
A eficiência luminosa é dada pela razão do fluxo luminoso produzido para a potência elétrica consumida, sendo indicada em lúmens por Watt (lm/W) e é representada pelo símbolo  $\eta$ . Esta grandeza está diretamente ligada ao consumo de energia, pois uma lâmpada proporciona uma maior eficiência luminosa quando a energia consumida para gerar um determinado fluxo luminoso é menor que o outro.

### 2.6.6 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa,  $I$ , de uma fonte em uma direção dada, é o limite da razão do fluxo luminoso ( $\phi$ ) no interior de um ângulo sólido cujo eixo é a direção considerada para esse ângulo sólido quando tende para zero (Figura 7). É medida em *candelas* (cd), sendo que 1cd corresponde à intensidade luminosa de uma fonte esférica com emissão uniforme em todas as direções, que emite um fluxo total de 12,56 lm. A Equação (2) apresenta a intensidade luminosa.

$$I = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta\Omega} = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (2)$$

Figura 7 - Intensidade luminosa.



Fonte: [15].

### **2.6.7 Iluminância ou iluminamento**

A iluminância é o “limite da razão do fluxo luminoso recebido por uma superfície, em torno de um ponto considerado, para a área dessa superfície quando esta tende para zero.” (NBR 5413/1992). Ou seja, é a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular uma superfície e a sua área. É medida em *lux* (lx), sendo que 1 lx é a iluminância de uma superfície de  $1\text{m}^2$  sobre a qual incide um fluxo luminoso de 1 lm.

### **3 PRINCIPAIS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

O uso de equipamentos eficientes pode reduzir os gastos municipais de consumo de energia elétrica, aumentar o desempenho e a qualidade dos sistemas de IP.

As lâmpadas constituem um dos principais componentes para a redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de IP, sejam elas incandescentes, de descarga elétrica, de fotoluminescência ou de indução (de acordo com o fenômeno que produz o fluxo luminoso).

O fluxo luminoso deve ser adequadamente distribuído para um máximo aproveitamento, essa função é realizada pelas luminárias. As luminárias que empregam lâmpadas de descarga como fonte de fluxo luminoso, contam também com equipamentos auxiliares que influenciam no rendimento do conjunto de iluminação. O reator é, nesse caso, um equipamento auxiliar.

#### **3.1 TIPOS DE LÂMPADAS**

##### **3.1.1 Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão**

Nas lâmpadas VSAP a luz é produzida pela passagem de corrente elétrica através de vapor gerado por excesso de sódio que dá condições de saturação desse vapor quando a lâmpada esta funcionando (pressão entre 13 e 26 kN/m<sup>2</sup>). Também é usado mercúrio para proporcionar um gás de proteção, e o xênon é incluído sob baixa pressão para facilitar a ignição e limitar a condução do calor do arco de descarga para a parede do tubo. O tubo de descarga, feito de oxido de alumínio sinterizado, para resistir a intensa atividade química do vapor de sódio à temperatura de operação de 700°C, é colocado em um invólucro de vidro duro a vácuo.

Para estabelecer a descarga é necessário um pulso de alta tensão com duração de alguns micro segundos, o ignitor é responsável por este pulso de curta duração para provocar a ionização do gás. A amplitude desse pulso varia entre 1,5 kV e 5,0 kV dependendo da potência da lâmpada.

Uma característica importante da lâmpada VSAP é a manutenção do nível de fluxo luminoso na chegada do tempo final da sua vida mediana (90% do valor do fluxo luminoso inicial).

O índice de reprodução de cor (IRC) das lâmpadas VSAP varia entre 22 e 25, valor considerado razoável para iluminação de vias públicas, onde não é importante o compromisso com uma fiel reprodução de cores.

Este tipo de lâmpada apresenta uma temperatura de cor correlata (TCC) que varia entre 1900K e 2100K (laranja/amarelo).

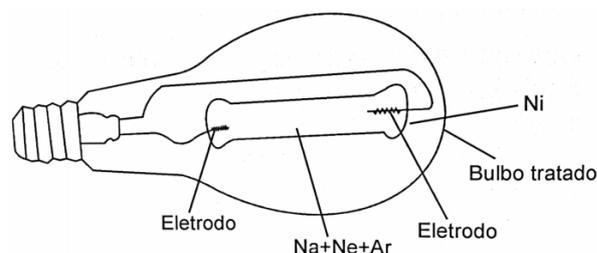
O uso de lâmpadas VSAP é recomendado como primeira opção para projetos de reforma, melhoria ou extensão de rede para iluminação de vias públicas, túneis, trevos, rodovias, praças e calçadões. São consideradas a alta eficiência luminosa e a longa vida útil.

A lâmpada VSAP, fabricada nos formatos ovóide e tubular, é o tipo mais eficiente entre as lâmpadas de descarga existentes no mercado brasileiro e suas principais características são:

- Alta eficiência luminosa: 86 a 150 lm/W;
- Vida mediana longa: 18000 a 32000 horas;
- Emprego obrigatório de equipamento auxiliar (reator e ignitor);
- Tempo de acendimento: de três a seis minutos;
- Tempo de reacendimento: mínimo de 30 segundos;
- Boa resistência a choques mecânicos, vibrações e intempérie;
- Tensão elétrica de alimentação de 220 Volts.

A quantidade de partidas (acendimentos) tem grande influencia no tempo de vida de uma lâmpada. Outros fatores também influenciam, tais como variação da tensão da rede, qualidade do reator e temperatura ambiente. A Figura 8 mostra a composição de uma lâmpada VSAP e a Figura 9 uma curva média de mortalidade.

Figura 8 - Componentes de uma lâmpada VSAP.



Fonte: [15].

Figura 9 - Curva media de mortalidade para lâmpada VSAP.



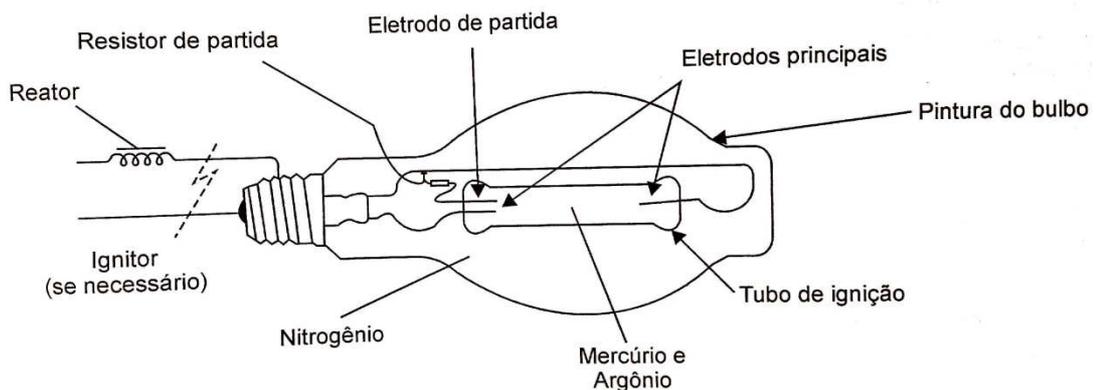
Fonte: [8].

### 3.1.2 Lâmpada a vapor de mercúrio

Grande parte das lâmpadas de mercúrio utilizadas atualmente é de alta pressão, da ordem de  $10^5$  a  $10^6$  N/m<sup>2</sup>.

A Figura 10 mostra uma lâmpada VM. O tubo de ignição contém, além de mercúrio em estado líquido, um gás inerte, o argônio. Entre o bulbo de descarga e o bulbo externo existe nitrogênio para facilitar a convecção de calor.

Figura 10 - Componentes de uma lâmpada VM.



Fonte: [15].

No momento inicial, quando a lâmpada é ligada, há uma descarga entre o eletrodo principal e o eletrodo de partida, por causa da ionização do argônio, que provoca o aquecimento interno do bulbo e uma migração de elétrons, produzindo uma luz amarelada. O

aquecimento causado pela ionização do argônio vaporiza o mercúrio, tornando o ambiente do bulbo altamente condutor e ionizável, além de estabelecer colisões entre os elétrons livres e os átomos de mercúrio, produzindo luz azulada. A radiação é a parte visível, ultravioleta, sendo desagradável, pois tem o espectro deslocado para o verde-amarelo. Essa radiação ultravioleta representa 15% da potência total fornecida, parte dessa radiação é convertida em radiações visíveis através do revestimento interno fluorescente e parte atravessa para fora da lâmpada, o que confere atração de insetos para as proximidades da luminárias.

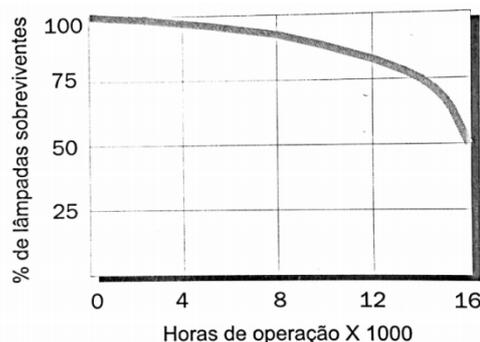
A correção do deslocamento de espectro pode ser obtida com pinturas internas no bulbo, com materiais excitáveis pelo ultravioleta. É usado o vanadato de ítrio, que introduz a cor vermelha, corrigindo o espectro visível. Também é possível melhorar a distribuição espectral relativa e a eficiência desse tipo de lâmpada com a introdução de iodetos metálicos ou multivapores metálicos no tubo de descarga. Os elementos são: índio, tálio e o sódio.

As principais características das lâmpadas VM são:

- Razoável eficiência luminosa: 45 a 58 lm/W;
- Vida mediana longa: 9000 a 15000 horas;
- Necessidade de equipamento auxiliar (reator);
- Tempo de acendimento: de cinco a sete minutos;
- Tempo de reacendimento: de três a seis minutos e
- Boa resistência a choques mecânicos, vibrações e intempérie.

A lâmpada VM sofre, ao longo da sua vida, uma depreciação no seu fluxo luminoso. Entretanto, quando comparada à lâmpada VSAP, essa depreciação ocorre de maneira mais acentuada, chegando ao final da sua vida com um valor médio de 80%. A Figura 11 mostra a curva média de mortalidade para lâmpadas VM.

Figura 11 - Curva média de mortalidade de lâmpadas VM.



Fonte: [8].

O IRC das lâmpadas VM varia de 40 a 55, valor que pode ser considerado bom para iluminação de vias públicas.

A temperatura de cor correlata (TCC) deste tipo de lâmpada varia de 3350 a 4300K (amarelo claro).

São recomendadas para manutenção e para pequenas extensões de rede, onde já sejam utilizadas e na substituição de lâmpadas de tecnologias menos eficientes, como mista e incandescente.

### **3.1.3 Lâmpadas a multivapores metálicos**

As lâmpadas MVM ou VMET são de descarga a alta pressão em que a adição de iodetos metálicos ou iodetos de terras raras melhora consideravelmente as propriedades de reprodução de cores e a eficiência luminosa. Sendo as mais eficientes em termos de IRC.

A lâmpada VMET, muito similar em construção à lâmpada de mercúrio, pode ser utilizada para iluminação externa em saguões, comportas de represas, corredores, vias de caminhadas, edifícios comerciais e industriais, rodovias, estacionamentos, siderúrgicas, fundições, refinarias e minas. Tem também preferência no uso em parques, praças, monumentos, onde existe a necessidade de um alto IRC.

As principais características das lâmpadas VMET são:

- Razoável eficiência luminosa: 72 a 80 l/W;
- Vida mediana longa: de 8000 a 12000 horas;
- Emprego obrigatório de equipamento auxiliar (reator e ignitor);
- Tempo de acendimento mínimo de 2 minutos;
- Dependendo do modelo pode ter excelente IRC (ate 90%) e
- Temperatura de cor variável de 3000 a 6000K (amarelo claro a branco).

O Quadro 2 descreve outras características das lâmpadas VMET tubulares e com bulbo claro.

Quadro 2 - Características de lâmpadas VMET.

POTÊNCIA (W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	EFICIÊNCIA (lm/W)	BASE	CORRENTE (A)**		VIDA MEDIANA (h)
				NOMINAL	PARTIDA	
70	5.000	72	E - 27	0,42	0,67	8.000
150	11.000	73	E - 40	0,87	1,39	8.000
250	20.000	72	E - 40	1,42	2,27	12.000
400	38.000	80	E - 40	2,24	3,58	12.000

Fonte: [8].

### 3.1.4 Resumo comparativo sobre lâmpadas

A durabilidade das lâmpadas VSAP é muito maior que as de VM. Essa conclusão vem da análise da curva de mortalidade de ambas as lâmpadas. As VSAP também apresentam uma eficiência maior.

Aproximadamente 15% da potência total fornecida sob a forma de radiação ultravioleta, parte dessa radiação é convertida em radiações visíveis e parte atravessa para fora da lâmpada, o que atrai insetos para as proximidades da luminárias.

As lâmpadas VSAP depreciam 12% do seu fluxo luminoso ao chegar em 80% de sua vida útil, enquanto que as VM depreciam 20% para a mesma percentagem de vida útil.

Por causa de uma maior irradiação na faixa amarela do espectro visível, as do tipo VSAP tem um IRC menor em relação às VM.

As lâmpadas VMET apresentam um IRC elevado, mas em termos de eficiência esta tecnologia é ainda inferior as lâmpadas de VSAP.

O Quadro 3 descreve e compara as principais características de lâmpadas para IP.

Quadro 3 - Características principais de lâmpadas para IP.

CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE LÂMPADAS		
	VSAP	VM	MVM
Potência(W)	70, 150, 250 e 400	80, 125, 250 e 400	70, 150, 250 e 400
Eficiência Luminosa(lm/W)	80 a 150	45 a 58	72 a 80
Vida Mediana(h)	18.000 a 32.000	9.000 a 15.000	8.000 a 12.000
Equipamento Auxiliar	Reator e ignitor	Reator	Reator e ignitor
Reprodução de Cor (%)	de 22 a 25	de 40 a 55	de 65 a 85
Aparência de Cor ou Temperatura de Cor	de 1.900 a 2.100	de 3.350 a 4.300	de 3.000 a 6.000
Correlata - TCC (K)			

Fonte: [8].

### 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES PARA IP

Para a IP da cidade de Canoas são adotados, entre outros, manuais de especificações técnicas que servem como roteiros para a compra de materiais por meio de leilão eletrônico. É confeccionado um edital detalhado de cada material que será utilizado na implantação e manutenção da IP.

Um desses manuais de especificações técnicas pertence ao CEIP (Centro de Excelência em Iluminação Pública) que faz parte do LABELO (Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica) sediado na PUCRS (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul).

Cada tipo de equipamento auxiliar será descrito e depois relacionado de acordo a manuais técnicos adotados para a IP da cidade de Canoas.

#### 3.2.1 Reatores

Toda lâmpada de descarga necessita de um reator para controlar e estabilizar sua corrente de partida. Os reatores devem ter fator de potência elevado para diminuir as perdas do sistema de IP.

Os reatores são necessários para o acendimento da lâmpada de descarga. Antes de entrarem em funcionamento as lâmpadas tem altíssima impedância, no entanto possuem uma impedância muito baixa depois da ionização dos gases, quando a lâmpada passa a se comportar como um curto-circuito. As lâmpadas VM são fabricadas com eletrodos auxiliares para vencer a alta impedância no acendimento. A lâmpada VSAP necessita uma tensão elevada nos primeiros micro segundos, tarefa realizada por um ignitor. Depois do acendimento, quando a impedância passa a ter um valor muito baixo, a corrente é limitada pelo reator.

A vida útil do reator é afetada pela tensão da rede, pelo tipo de lâmpada utilizada e por sua capacidade de dissipação do calor. A lâmpada, por sua vez, tem sua vida mediana e emissão luminosa diretamente relacionada com a qualidade do reator empregado.

Os tipos de reatores mais utilizados para fins de iluminação pública são o tipo integrado, para ser utilizado dentro da luminária e o tipo externo, para ser fixado no poste.

Reatores especificados incorretamente podem reduzir a vida de uma lâmpada em até 50% e o fluxo luminoso em até 30%, podendo em alguns casos comprometer o acendimento

da lâmpada. O Quadro 4 apresenta as principais características técnicas de reatores para uso em IP.

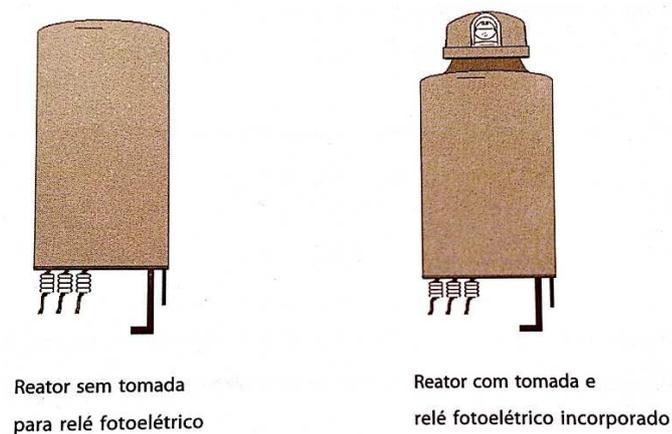
Quadro 4 - Características de reatores.

TIPO DE LÂMPADA (220V - 60Hz)	POTÊNCIA DO REATOR (W)	CAPACITÂNCIA ( $\mu$ F)	FATOR DE POTÊNCIA	PERDAS MÁXIMAS (W)*	CORRENTE DA REDE (A)
VSAP	70	10	0,92	15	0,42
	100	13		15	0,60
	150	20		20	0,87
	250	33		25	1,42
	400	45		40	2,24
	600	58		50	3,45
VM	80	8	0,92	11	0,45
	125	10		14	0,69
	250	18		20	1,33
	400	28		26	2,10
	700	37		35	3,53
	1000	49		45	5,03

Fonte: [8].

A Figura 12 ilustra dois tipos de reatores utilizados em IP: um com tomada incorporada para a conexão de um relé fotoelétrico e outro sem tomada.

Figura 12 - Tipos de reatores para IP.



Fonte: [8].

Certos critérios devem ser respeitados para a especificação, compra e instalação de reatores para uso em IP:

- Observar se o tipo de reator a ser utilizado é compatível com a potência da lâmpada, com a tensão e a frequência da rede de distribuição;

- Especificar reatores com fator de potência superior a 0,92 que, além de aumentarem a vida útil da lâmpada, diminuem o efeito estroboscópico;
- Verificar se o reator é compatível com o local a ser instalado, por exemplo, para uso externo, subterrâneo ou integrado a uma luminária;
- Exigir todos os ensaios de tipo de recebimento especificados pela ABNT, para verificar as características básicas do reator.

O Quadro 5 apresenta reatores que podem ser adotados para uso com lâmpadas VSAP.

Quadro 5 - Reatores para lâmpadas VSAP.

Denominação oficial	Potência de lâmpadas (W)	Aplicação
Reator para lâmpada a vapor de sódio 70W	70	Uso externo
Reator para lâmpada a vapor de sódio 100W	100	Uso externo
Reator para lâmpada a vapor de sódio 150W	150	Uso externo
Reator para lâmpada a vapor de sódio 250W	250	Uso externo
Reator para lâmpada a vapor de sódio 400W	400	Uso externo

Fonte: [14].

O chassis do reator é codificado como VS1 (70W, 100W e 150W) e VS2 (250W e 400W). Para lâmpadas VMET são utilizados reatores com chassis VS1 (70W e 150W) e VS2 (150W, 250W e 400W).

Algumas luminárias possuem ignitor e reator integrados em local específico. Os reatores integrados tem especificação pelo CEIP como ilustrado no Quadro 6, no qual a coluna aplicação indica o tipo de luminária.

Quadro 6 - Tipo de reatores integrados na luminária.

Denominação oficial	Potência de lâmpadas (W)	Tipo de chassis	Aplicação
Reator para lâmpada a vapor de sódio 70W	70	VS1	CEIP-4
Reator para lâmpada a vapor de sódio 100W	100	VS1	CEIP-3/CEIP-4
<b>Reator para lâmpada a vapor de sódio 150W</b>	<b>150</b>	<b>VS1</b>	<b>CEIP-3</b>
<b>Reator para lâmpada a vapor de sódio 150W</b>	<b>150</b>	<b>VS2</b>	<b>CEIP-2</b>
Reator para lâmpada a vapor de sódio 250W	250	VS2	CEIP-2/CEIP-1
Reator para lâmpada a vapor de sódio 400W	400	VS3	CEIP-1/CEIP-5/CEIP-7

Fonte: [14].

### 3.2.2 Ignitores

As lâmpadas VSAP e VMET necessitam, para partirem, de tensões elevadas da ordem de 1,6 a 4,5kV, nos primeiros milissegundos. Esses picos de tensão são produzidos por dispositivos eletrônicos chamados de ignitores.

Este dispositivo deve ser instalado a uma certa distância da lâmpada, que é informada pelo fabricante. A Figura 13 apresenta o conjunto lâmpada, ignitor, capacitor e reator dentro de uma luminária.

Figura 13 - Conjunto ignitor, capacitor e reator na luminária.



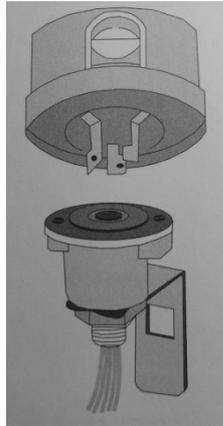
Fonte: [4].

### 3.2.3 Relé fotoelétrico

O relé fotoelétrico ou fotocélula é o dispositivo utilizado para comando individual das lâmpadas do sistema de IP. Um fotorresistor tem a finalidade de abrir e fechar o contato elétrico toda vez que houver uma variação na iluminância natural superior àquela para a qual foi calibrado.

Para o comando individual de IP (somente uma luminária), a tomada ou base para alimentar o relé é colocada no poste onde existe ou será implantado o sistema de IP. A Figura 14 ilustra o conjunto relé e tomada (base).

Figura 14 - Conjunto base e relé.



Fonte: [8].

O relé tem como função acionar a lâmpada somente quando houver a necessidade de luz artificial (noite) e desligar a mesma quando restabelecidos os níveis de iluminância natural (dia).

Os relés podem ser classificados construtivamente em dois tipos: térmico e magnético.

O relé térmico é composto por um fotorresistor ligado em série com uma resistência de aquecimento que envolve uma lamina bimetálica. Quando diminui o fluxo luminoso no fotorresistor a resistência esfria e os contatos são fechados.

O relé magnético funciona com um fotorresistor ligado em série com a bobina do relé. Esse tipo de relé abre ou fecha os contatos de acordo com as variações de fluxo luminoso por ele recebido. Este tipo de relé é utilizado na implantação e manutenção do sistema de IP na cidade de Canoas.

O relé é o maior responsável por problemas de acendimento de lâmpadas durante o dia ou falta de iluminação noturna. Para diminuir o consumo desnecessário de energia elétrica, os relés atuais, de melhor tecnologia, permanecem com os contatos abertos em caso de falha.

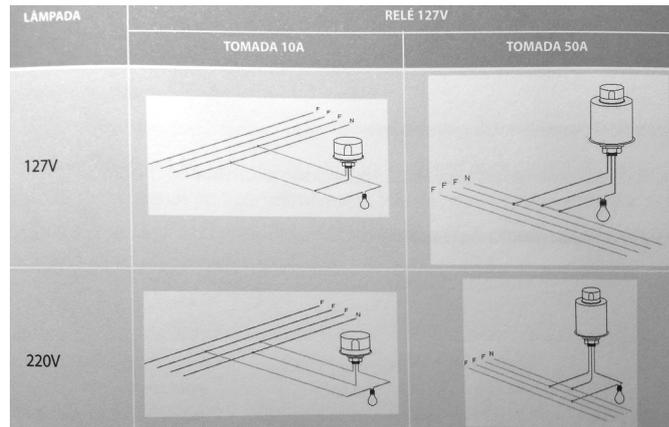
Como descrito anteriormente para outros dispositivos, o relé também passa por uma série de exigências e especificações de acordo, por exemplo, com o CEIP que obedece às regulamentações ABNT NBR 5123.

A tomada ou base é o dispositivo responsável pela sustentação mecânica e conexão elétrica de relé. Algumas tomadas são integradas ao reator. Podem ser de 10A (ampères) ou de 50A.

A figura 15 ilustra o diagrama elétrico para ligação do conjunto tomada-relé fotoelétrico.

A cidade de Canoas utiliza somente ligação de IP com tensão elétrica de 220 Volts.

Figura 15 - Ligação elétrica tomada e relé.



Fonte: [8].

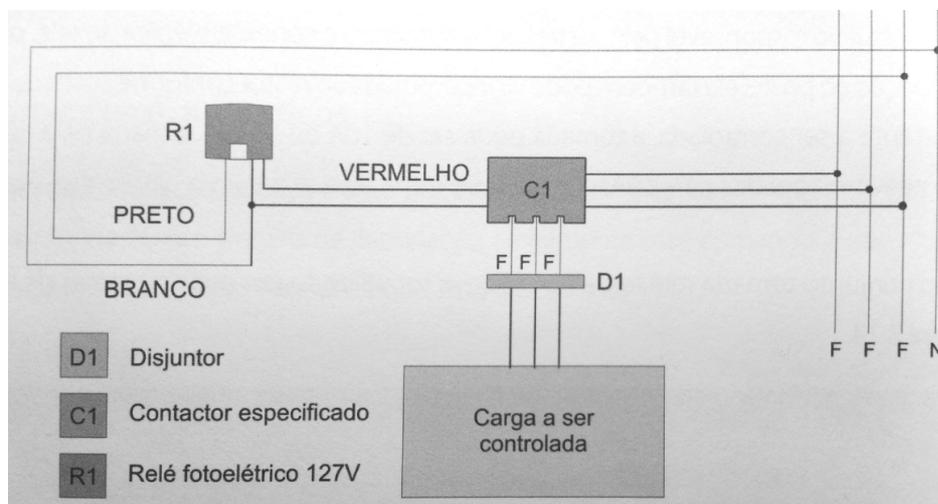
### 3.2.4 Conjunto relé-caixa contatora

Para projetos especiais como praças, iluminação de viadutos e trevos, onde a corrente a ser controlada pode ser superior a 50A, existe a configuração relé-caixa contatora que deve ser empregada para comando em grupo do sistema IP.

A caixa contatora devera ser instalada em poste com rede de baixa tensão e próxima ao circuito que se queira controlar.

Existem diversas contadoras de acordo à potência. Um relé fotoelétrico de 10A deve ser instalado para comandar o fechamento e abertura do contator. Para a proteção do circuito deve ser instalado um disjuntor. A Figura 16 ilustra o diagrama elétrico desse tipo de instalação. A cidade de Canoas não utiliza relé fotoelétrico de 127V e sim de 220V.

Figura 16 - Comando em grupo por rele e contactora.



Fonte: [8].

### 3.2.5 Luminárias

As luminárias são equipamentos que tem as funções de controlar e distribuir a luz produzida pelas lâmpadas nelas instaladas, proporcionando ventilação adequada e mantendo a temperatura de operação nos limites estabelecidos.

As luminárias podem ser especificadas para uso em topo de poste, ou em braço, e ainda suspensas por estruturas flexíveis fixadas em dois pontos (catenárias). São usados projetores para iluminação de fachadas e monumentos.

São consideradas sistemas óticos que modificam a direção do fluxo luminoso da lâmpada. Essa distribuição do fluxo é realizada por dispositivos da luminária que atuam individualmente ou combinados, a saber:

**Refletores:** são equipamentos para reflexão difusa. Tem como função proporcionar um melhor aproveitamento da luz em uma determinada direção, refletindo a luz enviada para outras direções. São fabricados em vidro, metal ou plástico reflexivo com porcentual de alumínio.

**Refratores:** são dispositivos utilizados para o fenômeno de refração da luz, fabricados em materiais transparentes como policarbonato, acrílico e metacrilato com tratamento contra raios ultravioleta.

**Difusores:** são dispositivos que evitam que a luz seja enviada diretamente para pessoas e objetos. De aparência fosca ou leitosa, proporcionam conforto visual.

**Dispositivos de ajuste:** Considerando que uma luminária pode ser utilizada para diferentes potências ou tipo de lâmpada, é necessária a modificação da distribuição de luz. A luminária precisa de um sistema de ajuste para posicionar o refletor ou a lâmpada. A principal função é adaptar a distribuição de luz da luminária á superfície a ser iluminada.

As luminárias são classificadas de acordo com:

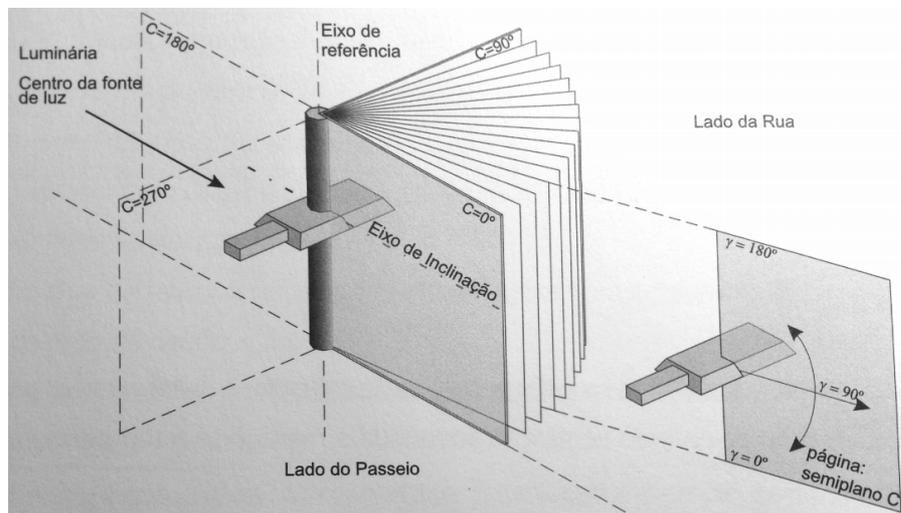
- Aplicação: uso externo (comumente IP) ou interno;
- Tamanho e formato;
- Características mecânicas: segurança mecânica, grau de proteção, segurança contra fogo, resistência a impactos, propriedade dos materiais empregados etc;
- Tipos de lâmpadas: lâmpadas de descarga a alta pressão ou incandescente;
- Tipo estrutural: aberta ou fechada (mais recomendada para IP);
- Características fotométricas: distribuição do fluxo luminoso da lâmpada, distribuição das intensidades luminosas da lâmpada, rendimento etc;

- Características elétricas: segurança elétrica, classe de proteção presença de reator e/ou ignitor.

### 3.2.5.1 Distribuição das intensidades luminosas das luminárias

Para a classificação de uma luminária e determinação de suas características fotométricas para uso externo utiliza-se o modelo de distribuição de intensidades luminosas segundo varias direções. Modelo que é representado por semiplanos e ângulos verticais, e o centro da fonte de luz conforme ilustração da Figura 17.

Figura 17 - Modelo de distribuição de intensidades luminosas.



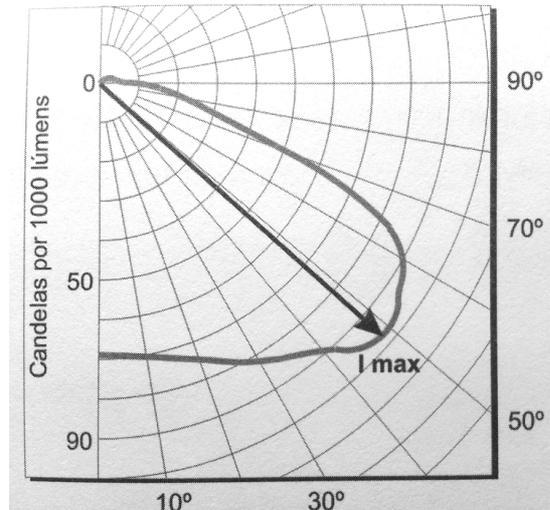
Fonte: [8].

Cada direção é definida por um semiplano vertical contendo o eixo de referencia e em ângulo  $C$  com a direção do eixo da via a iluminar. Qualquer semiplano pode ser definido pela letra  $C$  e o respectivo ângulo.

Para cada um desses semiplano existe um determinado diagrama polar de intensidades luminosas. Ele pode ser obtido a partir de uma tabela de distribuição das intensidades luminosas, para cada 1000 lúmens da lâmpada, dada em  $\text{cd}/1000\text{lm}$  (candelas por mil lumens) para quaisquer dos semiplanos  $C$ .

Os fabricantes fornecem geralmente três diagramas polares: um para o semiplano  $C=0^\circ$  (paralelo ao meio fio), outro para  $C=90^\circ$  (perpendicular ao anterior) e um terceiro para o semiplano no qual esta presente o valor da intensidade máxima, chamado de semiplano principal como mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Diagrama polar de distribuição de intensidade luminosa para o semiplano principal.



Fonte: [8].

As características de distribuição de luz das luminárias devem apresentar uma superfície de iluminação uniforme com valores decrescendo de forma regular no sentido das luminárias para o eixo transversal da pista, não permitindo o aparecimento de manchas claras ou escuras.

### 3.2.5.2 Rendimento ótico das luminárias

A razão entre o fluxo total de uma luminária e o fluxo luminoso das lâmpadas individuais, medida em condições especificadas, é chamado de rendimento ótico da luminária. Luminárias eficientes apresentam rendimento ótico superior a 75%. No entanto, um dos fatores mais importantes a ser considerado é a quantidade de fluxo luminoso que efetivamente atinge a área a ser iluminada e sua forma de distribuição fotométrica. O Quadro 7 apresenta diferentes rendimentos óticos exigidos para luminárias do padrão CEIP.

Quadro 7 - Rendimento de luminárias padrão CEIP.

Modelo de luminária	Rendimento mínimo- %
<b>VS 70W</b>	<b>75</b>
<b>VS 100W / VS 150W</b>	<b>75</b>
<b>VS 250W</b>	<b>75</b>
<b>VS 400W</b>	<b>78</b>

Fonte: [14].

### 3.2.5.3 Grau de proteção das luminárias

Uma luminária deve possuir uma adequada proteção à penetração de pó e água. Esse grau de proteção é indicado pela sigla inglesa IP (Ingress Protection).

O grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos no invólucro da luminária é indicado pelo primeiro numeral. O segundo numeral indica o grau de proteção contra a penetração de água. Se tiver um terceiro numeral, o mesmo indica a resistência mecânica de materiais plásticos. Os Quadros 8 e 9 apresentam os graus de proteção para o primeiro e segundo numeral respectivamente.

Quadro 8 - Grau de proteção contra poeira.

Numeral	Descrição sucinta do grau de proteção
0	Não protegido
1	Protegido contra objetos sólidos de Ø 50 mm e maior
2	Protegido contra objetos sólidos de Ø 12 mm e maior
3	Protegido contra objetos sólidos de Ø 2,5 mm e maior
4	Protegido contra objetos sólidos de Ø 1,0 mm e maior
5	Protegido contra poeira
6	Totalmente protegido contra poeira

Fonte: [www.selinc.com.br/suporte/tabelaGraudeprotecao.htm](http://www.selinc.com.br/suporte/tabelaGraudeprotecao.htm)

Quadro 9 - Grau de proteção contra água.

Numeral	Descrição sucinta do grau de proteção
0	Não protegido
1	Protegido contra gotas d'água caindo verticalmente
2	Protegido contra queda de gotas d'água caindo verticalmente com invólucro inclinado até 15°
3	Protegido contra aspensão d'água
4	Protegido contra projeção d'água
5	Protegido contra jatos d'água
6	Protegido contra jatos potentes d'água
7	Protegido contra efeitos de imersão temporária em água
8	Protegido contra efeitos de imersão contínua em água

Fonte: [www.selinc.com.br/suporte/tabelaGraudeprotecao.htm](http://www.selinc.com.br/suporte/tabelaGraudeprotecao.htm)

O terceiro dígito (proteção mecânica), pode ser:

- 0 = nenhuma proteção;
- 1 = choque de 0,15kg desde 0,15m;
- 3 = choque de 0,25kg desde 0,2m;
- 5 = choque de 0,5 kg desde 0,4m
- 7 = choque de 1,5kg desde 0,4m;
- 9 = choque de 5kg desde 0,4m.

Uma luminária com grau de proteção IP659 é totalmente protegida contra poeira e água, e tem uma resistência mecânica contra choque de 5kg desde 0,4m.

Recomenda-se para iluminação pública, na utilização de lâmpadas VSAP e VMET de 250W e 400W, um grau de proteção IP 65 ou superior. Em locais de alto índice de vandalismo, recomenda-se o uso de luminárias com grau de proteção mecânica nove (terceiro numeral). O Quadro 10 mostra o padrão CEIP de grau de proteção para algumas luminárias.

Quadro 10 - Grau de proteção de luminárias.

Modelo de luminária	Grupo ótico	Alojamento
Luminária <b>CEIP-1</b>	$\geq$ IP 65	$\geq$ IP 33
Luminária <b>CEIP-2</b>	$\geq$ IP 65	$\geq$ IP 33
Luminária <b>CEIP-3</b>	$\geq$ IP 659*	$\geq$ IP 33
Luminária <b>CEIP-4</b>	$\geq$ IP 659*	$\geq$ IP 33
Luminária <b>CEIP-5</b>	$\geq$ IP 66	$\geq$ IP 44

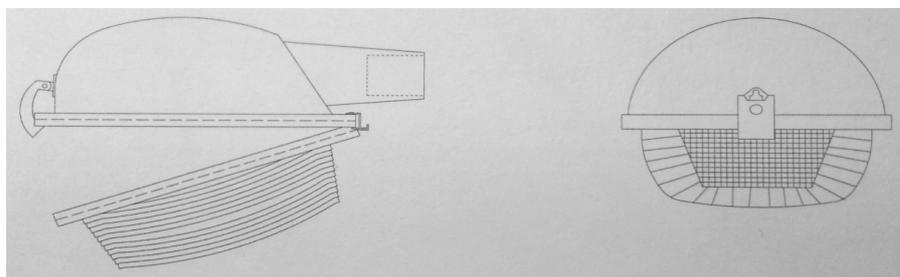
\*NOTA: O último numeral 9 refere-se à luminárias com refrator de policarbonato.

Fonte: [14].

#### 3.2.5.4 Luminárias comumente utilizadas em IP

Uma das luminárias utilizadas em IP é a luminária fechada com corpo refletor em alumínio assimétrico, com soquete para base tipo rosca Edison de 40 milímetros de diâmetro (E40). Esse tipo de luminária deve ser utilizada com reator externo e lâmpada VSAP 150W ou 250W. A Figura 19 ilustra a luminária fechada.

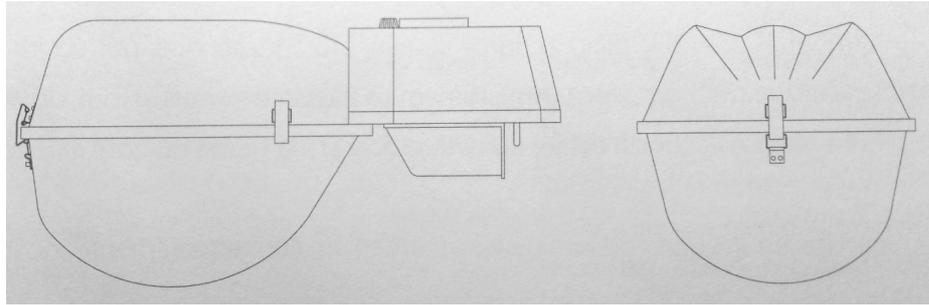
Figura 19 - Luminária fechada com refrator prismático.



Fonte: [8].

Um outro tipo de luminária é a fechada com alojamento para equipamento auxiliar. Essa luminária é fabricada com refletor em alumínio, alojamento para reator e ignitor integrados, com soquete para base E 27 e refrator em policarbonato como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Luminária fechada com alojamento para equipamento auxiliar.

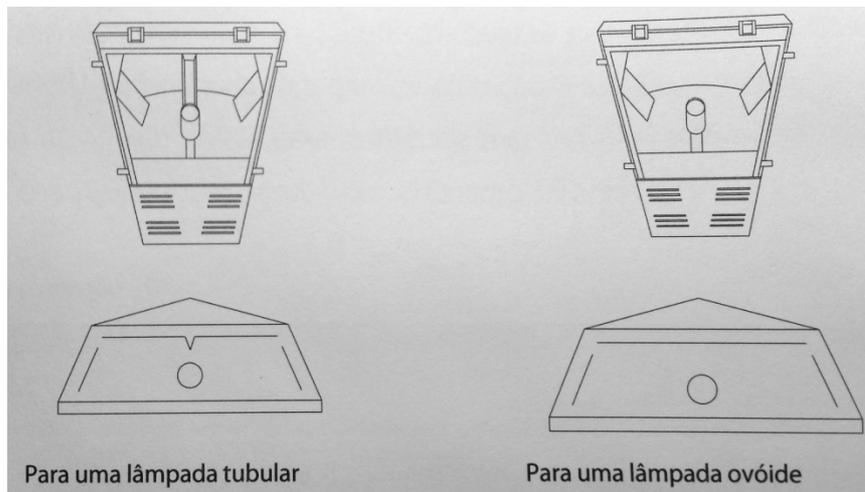


Fonte: [8].

Esse tipo de luminária é utilizada com lâmpadas VSAP 70W ou 100W com indicação para áreas de alto índice de vandalismo.

Outro tipo de luminária é a fechada, tipo pétala, fabricada com refrator de vidro plano temperado, refletor em chapa de alumínio e base E 40. É uma luminária fundida em liga de alumínio, comumente utilizada em praças ou divisórias centrais de estradas, montada em poste metálico cônico de 12 metros ou de até 15 metros. A montagem pode ser de uma, duas, três ou quatro pétalas por poste. As lâmpadas apropriadas para este tipo de luminária são a VSAP 250W ou VSAP 400W. A Figura 21 ilustra essa luminária.

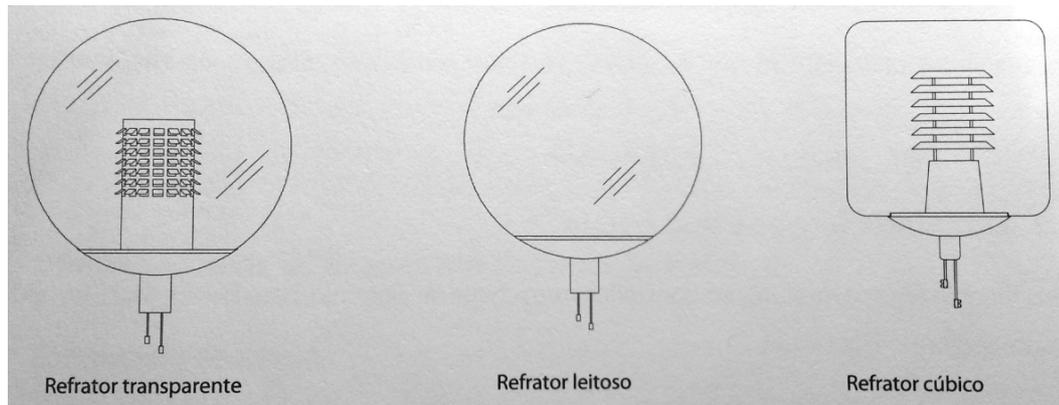
Figura 21 - Luminária fechada com alojamento auxiliar tipo pétala.



Fonte: [8].

Para necessidades de IP decorativa, são fabricadas as luminárias ornamentais com alojamento para reator e capacitor, para instalação em alturas de 4m a 6m. As lâmpadas utilizáveis neste tipo de luminária são as VSAP 70W ou 100W. A Figura 22 ilustra este tipo de luminária.

Figura 22 - Luminárias ornamentais.



Fonte: [8].

## 4 PROJETOS DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para projetar um sistema de IP eficiente devem-se satisfazer diversos critérios qualitativos que atendam às necessidades visuais dos seus usuários, com o aproveitamento das atuais tecnologias disponíveis.

Isso é obtido com o conhecimento dos fundamentos de IP discutidos anteriormente e das principais características dos equipamentos de IP também discutido.

A IP deve ser prevista para garantir a segurança do tráfego e do pedestre. Ao considerar apenas esses dois fatores, não se devem esquecer os critérios econômicos, de importância fundamental em engenharia.

Um bom projeto de IP deve atender aos fatores de segurança, conforto, economia e continuidade (transição brusca de regiões muito iluminadas para regiões escuras).

O primeiro passo para a elaboração de um projeto de IP é a classificação do tipo de via a ser iluminada e assim poder definir apropriadamente os parâmetros luminotécnicos.

O segundo passo é a escolha de lâmpadas e luminárias, a determinação da altura de montagem o espaçamento e o posicionamento dos postes.

O último passo é o cálculo luminotécnico para otimização, tendo como base os valores mínimos exigidos pelas normas.

A NBR-5101:1992 determina que os parâmetros de qualidade para vias de tráfego motorizado adotados, são níveis e fatores de uniformidade de iluminâncias, cujos valores médios mínimos são estabelecidos de acordo com a classificação da via pública, segundo sua importância, tipo e volume de tráfego de veículos e de pedestres.

### 4.1 TIPOS DE VIAS PARA IP E CLASSIFICAÇÃO PELO VOLUME DE TRÁFEGO

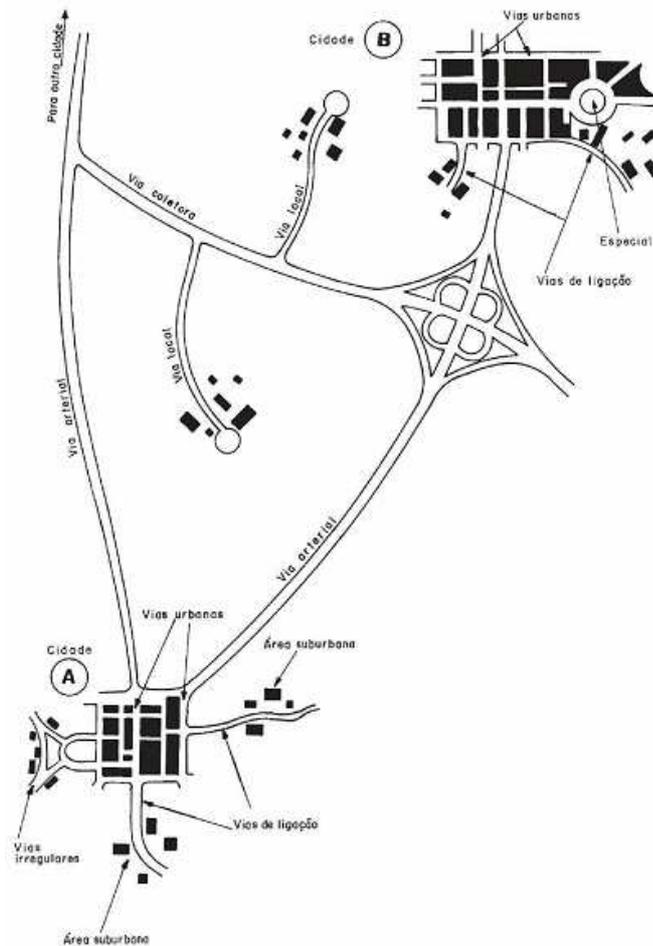
As vias são classificadas, segundo a NBR-5101:1992, em:

- Classe A para vias rurais exclusivas para tráfego motorizado, subdividida em:
  - A1 – vias arteriais;
  - A2 – vias coletoras;
  - A3 – vias locais
- Classe B para vias de ligação entre centros urbanos e suburbanos;

- Classe C para vias urbanas, caracterizadas pela presença de construções às suas margens e tráfego motorizado e de pedestres, subdividida em:
  - C1 – vias principais;
  - C2 – vias normais;
  - C3 – vias secundárias;
  - C4 – vias irregulares.
- Classe D para vias especiais de acessos ou vias exclusivas para pedestres.

A Figura 23 ilustra os tipos de vias.

Figura 23 - Tipos de vias públicas.



Fonte:

[www.iar.unicamp.br/Manuais/manuel\\_de\\_iluminacao\\_publica\\_copel\\_companhia\\_paraense\\_de\\_energia.pdf](http://www.iar.unicamp.br/Manuais/manuel_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paraense_de_energia.pdf)

As vias também são classificadas pelo volume de tráfego noturno de veículos/ou pedestres que passam nessa via no período de uma hora, segundo a NBR – 5101/1992. O Quadro 11 mostra a classificação em função do tráfego motorizado e o Quadro 12 em função do tráfego de pedestres.

Quadro 11 - Classificação de via em função de tráfego motorizado.

Classificação	Numero de veículos por hora*
Leve	150 a 500
Médio	501 a 1200
Intenso	Acima de 1200

Fonte: [15].

Quadro 12 - Classificação de via em função de tráfego de pedestres.

Classificação	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado*
Sem	Como nas vias de classe A1
Leve	Como nas vias residências medias
Médio	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso	Como nas vias comerciais principais

Fonte: [15].

#### 4.2 NIVEIS DE ILUMINÂNCIA EM VIAS PÚBLICAS

A NBR 5101/1992 estabelece os níveis de iluminância média mínimos para a iluminação de vias públicas, de acordo com sua relevância, tipo e volume de tráfego, para oferecer segurança a pedestres e veículos. O Quadro 13 apresenta esses valores.

Quadro 13 - Níveis de iluminância para vias públicas.

Tipos de vias	Volume de pedestres	Níveis médios mínimos de iluminância (lux)		
		Volume de veículos		
		L	M	I
principais	L	2	5	10
	M	5	8	12
	I	10	12	16
Ligação	L	2	5	10
	M	5	10	14
	I	10	14	17
Normais	L	2	5	-
	M	5	8	-
	I	8	10	-
Locais	L	2	5	-
	M	5	10	-
	I	10	14	-
Secundárias	L	2	2	-
	M	4	5	-
	I	-	-	-
Especiais	-	10		
Arteriais	-	10		
Coletoras	-	20		

(L=leve, M=médio, I=intenso) Fonte: NBR 5101/1992.

#### 4.2.1 Fator de uniformidade de iluminância

A relação entre o menor valor de iluminância em uma área considerada e o valor de iluminância média nessa mesma área, é o fator de uniformidade de iluminância e é expresso pela Equação (3).

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{média}}} \quad (3)$$

Sendo  $E_{\min}$  e  $E_{\text{média}}$  a iluminância mínima e média, respectivamente. A iluminância média é obtida pela média aritmética dos valores de iluminância da área em estudo no nível da via e no plano horizontal.

A iluminação da via será mais uniforme, quanto mais próximo de 1 estiver o fator de uniformidade.

Os valores mínimos para o fator de uniformidade de iluminância recomendados pela NBR 5101/1992, em função do tipo de via e do volume de tráfego de pedestres e veículos, são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 - Fator de uniformidade.

Tipos de vias	Fator de uniformidade mínimo		
	Volume de tráfego		
	Leve	médio	Intenso
Especiais	0,2	0,2	0,2
Principais	0,2	0,2	0,25
Ligação	0,2	0,2	0,25
Normais	0,2	0,2	0,2
Locais	0,2	0,2	0,2
Secundárias	0,2	0,25	-
Arteriais	0,5	0,5	0,5
Coletoras	0,3	0,3	0,3

Fonte: NBR 5101/1992.

#### 4.3 ESCOLHA DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS PARA IP

Crerios luminotécnicos, econômicos e de manutenção devem ser considerados para a escolha das lâmpadas e luminárias de um projeto de IP.

As lâmpadas VSAP devem ser usadas preferencialmente para projetos de IP em vias de tráfego, pois apresentam vantagens técnicas e econômicas quando comparadas com as outras lâmpadas de descarga, como já foi discutido.

As lâmpadas MVM devem ter preferência de utilização para projetos de IP em praças, monumentos e prédios públicos onde é necessário realçar a reprodução de cores.

As lâmpadas VM somente são utilizadas para manutenção da iluminação existente ou para substituir tecnologias anteriores e inferiores como lâmpadas mistas ou incandescentes. A tendência na Prefeitura Municipal de Canoas (PMC) é a manutenção com lâmpadas VSAP.

Nunca devem ser instaladas lâmpadas de diferentes temperaturas de cor em uma mesma área como, por exemplo, MVM e VSAP, considerando a dificuldade de adaptação cromática do olho humano.

A escolha da luminária depende das características da via ou local a ser iluminado e do tipo de lâmpada escolhida. Outros fatores devem ser considerados como o grau de proteção e a viabilidade econômica.

Para facilidade de instalação e futura manutenção, é melhor utilizar luminárias com equipamento incorporado, que ajudam também na segurança ao evitar maior deslocamento do electricista pelo poste.

#### 4.4 ALTURA DE MONTAGEM DO CONJUNTO DE ILUMINAÇÃO

Após a determinação dos níveis de iluminância e escolha de lâmpadas e luminárias, deve ser determinada a altura de montagem. Para esses valores o projetista pode adotar as seguintes regras práticas:

$$Hm \geq L \quad (4)$$

$$e \leq 3.Hm \quad (5)$$

Onde Hm=altura de montagem da luminária

L=largura da pista mais acostamento

e = espaçamento entre postes

A instalação de luminárias eficientes permite que:

$$e \leq 5.Hm \quad (6)$$

A utilização de lâmpadas com fluxo luminoso elevado em baixas alturas de montagem pode gerar problemas de fator de uniformidade baixo ou “zebramento” e em caso de iluminação ornamental, ofuscamento. Isso pode ser evitado observando as relações entre fluxo luminoso e altura de montagem apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 - Altura de montagem em função do fluxo luminoso.

Altura de montagem	Fluxo luminoso máximo [lumens]
> 3 ate 4m	6500
> 4 ate 8m	14000
> 8 ate 12m	25500
Acima de 12m	46500

Fonte: [15].

#### 4.4.1 Altura dos postes

Para a manutenção das luminárias deve ser prevista a disponibilidade de veículos adequados para o trabalho. A maioria das empresas de manutenção não utilizam veículos preparados para alturas superiores a 14m. Nesse sentido o projetista também deveria se preocupar com as características da via à iluminar. Vias com importante turismo e comércio não devem sofrer grandes transtornos com manutenção.

#### 4.5 DISPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE ILUMINAÇÃO

Junto com a escolha da lâmpada, luminária e determinação da altura de montagem, o projetista deve especificar a disposição (arranjo) dos postes na via.

As vias públicas podem ter as luminárias dispostas de forma variada.

Em alguns locais é preciso observar a disposição de árvores, curvas, ladeiras, intersecção com outras vias ou estradas de ferro, pontes, túneis, viadutos, bem como curvas de nível ou topografia do terreno a fim de se obter o efeito pretendido.

Em curvas, por exemplo, a iluminação deve ser mais concentrada na parte externa, independentemente da colocação normal das luminárias, antes e depois delas.

Na intersecção com outras vias o iluminamento deve ser aumentado, chamando a atenção para uma anormalidade com antecedência.

Em função da via a ser iluminada podem ser adotados os seguintes arranjos de disposição de postes:

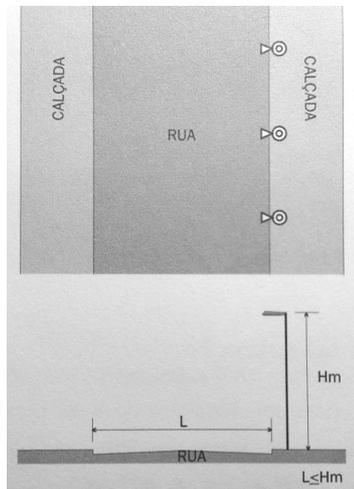
- Postejamento unilateral;
- Postejamento bilateral alternado;
- Postejamento bilateral ou frente a frente e
- Central.

##### 4.5.1 Postejamento unilateral

Quando a largura da pista ( $L$ ) for igual ou menor que a altura de montagem da luminária ( $H_m$ ), deve ser utilizado o postejamento unilateral como ilustrado na Figura 24.

Neste caso a iluminância da parte oposta da pista será menor em relação ao lado onde foi instalado o poste.

Figura 24 - Posteamto unilateral.

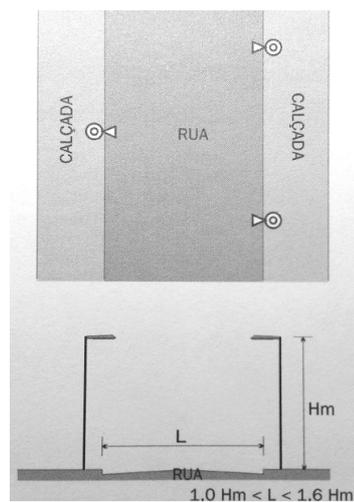


Fonte: [8].

#### 4.5.2 Posteamto bilateral alternado

Este tipo de posteamto deve ser utilizado quando a largura da pista medir entre 1,0 e 1,6 vezes a altura de montagem da luminária. A Figura 25 ilustra o caso.

Figura 25 - Posteamto bilateral alternado.

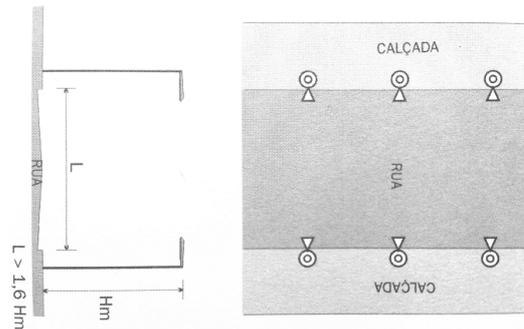


Fonte: [8].

#### 4.5.3 Postejamento bilateral frente a frente

Quando a largura da pista a ser iluminada for superior a 1,6 vezes a altura da montagem da luminária, é utilizado o postejamento bilateral frente a frente como mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Postejamento bilateral frente as frente.

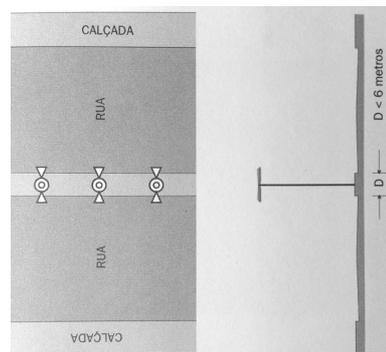


Fonte: [8].

#### 4.5.4 Postejamento central

Quando a largura da pista a iluminar é maior que 1,6 vezes a altura de montagem das luminárias e a largura do canteiro central (D) não ultrapassa seis metros, é utilizado o postejamento central mostrado na Figura 27.

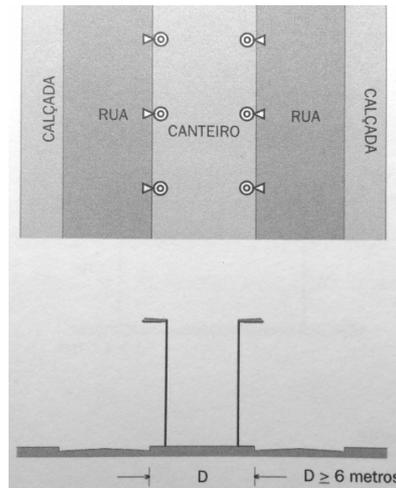
Figura 27 - Postejamento central.



Fonte: [8].

Para canteiros centrais com largura igual ou superior a seis metros, é recomendada a utilização do arranjo apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Posteamto para canteiros maiores a seis metros.



Fonte: [8].

#### 4.6 CÁLCULOS FOTOMÉTRICOS PARA VIAS PÚBLICAS

Os fabricantes das luminárias fornecem curvas de distribuição fotométrica que podem ser utilizadas para calcular os níveis de iluminância para uma via pública. Níveis que foram apresentados no Quadro 6.

A fórmula a seguir serve para calcular a iluminância para uma luminária qualquer.

$$E = \frac{v \cdot Fl \cdot Fc \cdot n}{1000} \quad (7)$$

Onde:

E=nível de iluminância inicial da pista em lux;

v=iluminância para 1000 lúmens da lâmpada (valor do fabricante da luminária);

Fl=fluxo luminoso total das lâmpadas, por luminária;

n=fator de depreciação (0,65 para luminárias abertas, 0,75 para fechadas e para ornamentais);

Fc=fator de correção.

Sendo,

$$Fc = \frac{h1^2}{h2^2} \quad (8)$$

Onde:

h1=altura de montagem apresentada na tabela de distribuição fotométrica utilizada;

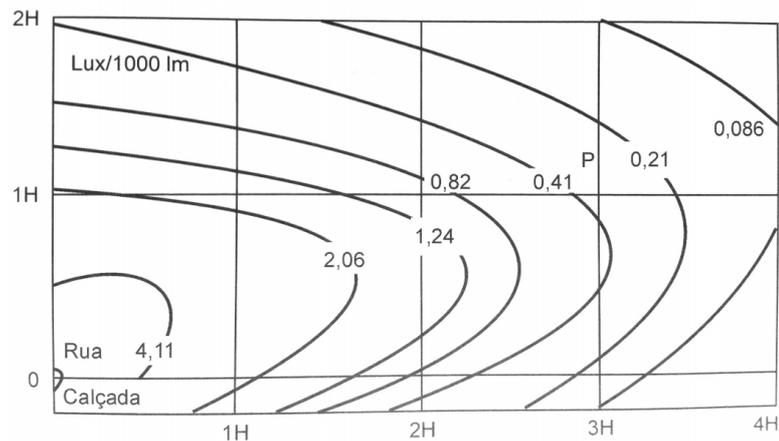
$h_2$ =altura de montagem real do projeto (ou  $H_m$ ).

#### 4.6.1 Curvas Isolux

Os fabricantes podem fornecer, por exemplo, a composição de curvas isolux que representam o “lugar geométrico dos pontos de uma superfície onde a iluminância tem o mesmo valor”.

Essas curvas são compostas por eixos ortogonais, um de distâncias e outro de altura em metros. As curvas isolux são referidas a 1000 lúmens. A Figura 29 ilustra esse tipo de curva.

Figura 29 - Curvas isolux de luminárias.



Fonte: [15].

No Quadro 16 são atribuídos coeficientes de correção em razão da altura das luminárias.

Quadro 16 – Fator de correção em função da altura da luminária.

Altura de montagem	Fator de correção
9.0	0.61
8.5	0.68
8.0	0.76
7.5	0.87
7.0	1.00
6.5	1.16
6.0	1.36
5.5	1.62
5.0	1.86

Fonte: [15].

Com este tipo de curva é possível utilizar o procedimento a seguir:

- Escolhe-se a altura de montagem da luminária;
- Colocam-se as curvas isolux com base nessa altura;
- Na mesma escala desenham-se a via e o afastamento do meio-fio das luminárias;
- Como as curvas isolux são fornecidas para 1000 lúmens, todos aos valores devem ser referidos ao fluxo nominal da luminária, isto é:

$$F_{real} = \frac{F_{total}}{1000} \quad (9)$$

- Escolhendo os afastamentos entre postes, e possível compor as curvas isolux determinando as curvas resultantes, que oferecem uma visão total da iluminância da via.

#### 4.6.2 Exemplo de cálculo de iluminância com curvas isolux

Para exemplificar o cálculo de iluminâncias pelo método das curvas isolux, será calculada a iluminância no ponto P da Figura 29, com uma altura de luminária de 9m e lâmpada a vapor de mercúrio de 400W que tem um fluxo nominal de 22000 lúmens.

Solução:

O ponto P esta entre as curvas isolux 0,41 e 0,21, aproximadamente 0,36. Pela Tabela 8 para altura de montagem de 9m, o fator de correção é de 0,61, logo:

$$E = 0,36 \cdot 0,61 \cdot \frac{22000}{1000} = 4,83 \text{ lux} \quad (10)$$

Com o surgimento de *softwares* especializados, a tarefa de se efetuar cálculos fotométricos tornou-se mais precisa e rápida, principalmente para o processo de simulação. É recomendada a utilização de um desses softwares para a elaboração de projetos luminotécnicos. Um exemplo de software é o Dialux.

#### 4.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE REDE ELÉTRICA PARA IP

As informações apresentadas neste capítulo são um resumo de normalizações da concessionária de energia elétrica para projetos de rede em iluminação pública e da norma NBR 5410.

Ao se iniciar um projeto de IP devem ser obtidos dados e informações necessárias a sua elaboração.

O tipo de projeto a ser desenvolvido a partir das causas de origem e ou da finalidade de sua aplicação, determinam as características do mesmo.

Para efeito de planejamento, deve-se dispor de plantas ou mapas atualizados da região.

O projetista devesa levantar em campo dados sobre classificação da via, altura de postes e luminárias, espaçamento, numero de luminárias em cada poste. Também deverão ser apresentados parâmetros luminotécnicos como os tratados anteriormente.

Na planta será indicado o tipo de iluminação existente: tipo de lâmpada, potência elétrica das mesmas, equipamentos auxiliares.

Para o projeto da rede elétrica de baixa tensão que energiza a IP, serão atendidos dois critérios principais: queda de tensão e limite térmico dos cabos.

Os comprimentos usuais de redes BT ou secundárias fazem com que, na maioria dos casos, seja suficiente o cálculo da queda de tensão.

A queda de tensão máxima permitida nos pontos mais desfavoráveis da rede BT deve ser de:

- 5% para circuitos monofásicos e bifásicos;
- 3,5% para circuitos trifásicos;
- 6% para rede exclusiva de IP.

Os transformadores de distribuição devem ser escolhidos pelas seguintes recomendações;

- Localização no centro da carga, se possível;
- A máxima distância entre o transformador e um ponto distante qualquer de carga do circuito não deve ultrapassar os 150 metros e 35 postes como número médio por circuito;
- Carregamento máximo do transformador fixado em função da impedância interna, perfil da tensão primária e secundária. Para o carregamento percentual

dos transformadores de distribuição adota-se 50% da potência nominal como carregamento inicial e 100% para a troca;

- As potências nominais em kVA padronizadas para transformadores de distribuição para postes são: 15, 30, 45, 75, 112,5 kVA.

Outro item importante para IP é a determinação do tipo de poste em quanto a comprimento e resistência mecânica.

Quanto ao comprimento os postes, são aplicados nas seguintes condições;

- Postes de 9 e 11m, para rede secundária , iluminação pública e telefonia;
- Postes de 11m, para rede primária (MT), secundária (BT), iluminação pública e telefonia;
- Postes de 11 e 12m, para equipamentos de rede primária, rede secundária, IP e telefonia.

Existem casos especiais, tais como, circuito duplo, cruzamentos, etc., onde o comprimento do poste pode ser maior.

Quanto à resistência mecânica, as concessionárias apresentam a padronização dos postes para cada tipo de solicitação de esforço mecânico. Geralmente esses esforços são devido à tração devido aos condutores e equipamentos, ângulos e fins de linhas de rede secundária. Nesses casos, os esforços ou forças resultantes devem aparecer calculadas e detalhadas na planta do projeto.

## 5 UM PROJETO DE IP NA CIDADE DE CANOAS

Na Prefeitura Municipal de Canoas (PMC), a iluminação pública é gerenciada pela Diretoria de Iluminação Pública (DIP) que faz parte da Secretaria Municipal de Serviços Urbanos (SMSU). A diretoria de IP tem como funções a fiscalização de execução de projetos da própria PMC, fiscalização de empresas terceirizadas que executam projetos próprios ou da PMC, fiscalização da manutenção por parte das terceirizadas e manutenção da própria PMC.

Um tipo de trabalho da DIP é o projeto gerado pelo vandalismo ou roubo de cabos. Atualmente o problema reside na impossibilidade de somente repor os cabos de rede secundária roubados. Para repor um cabo de rede BT de mais de 150m tem que ser instalado um transformador onde provavelmente não existia e isso requer um novo projeto com todos os passos regulamentados pela empresa concessionária, neste caso, a AES Sul.

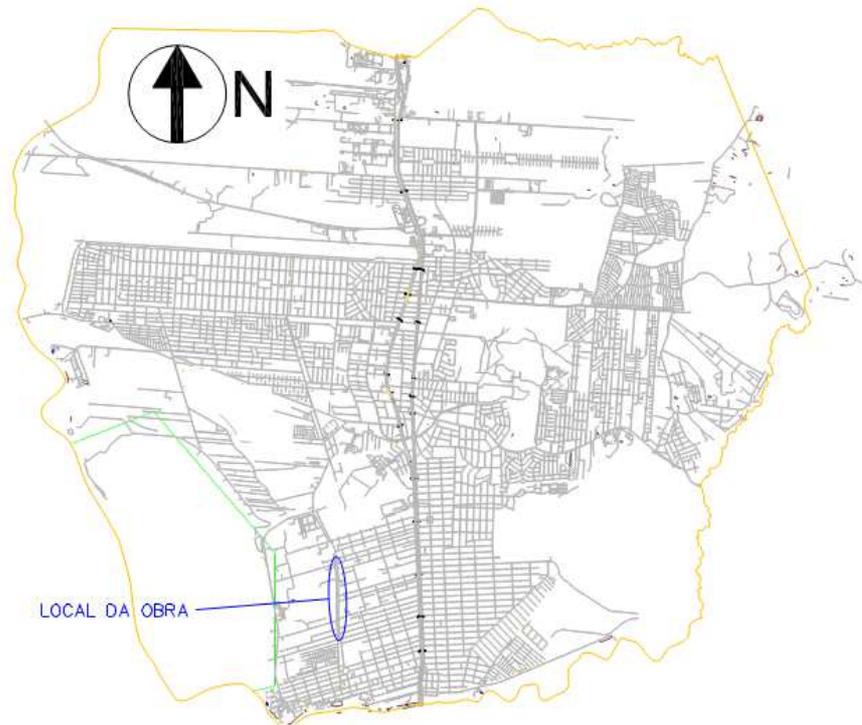
Este capítulo exemplifica o desenvolvimento de um projeto de IP para um caso de cabos roubados e aumento de pontos de iluminação na cidade de Canoas.

### 5.1 MAPA DIGITAL E GEORREFERENCIAMENTO

O projeto de reposição de cabos de BT, instalação de novas luminárias e transformadores, tem como localização a Rua Eng. Irineu de Carvalho Braga – Canoas RS.

Um mapa digital da cidade de Canoas é utilizado como base do projeto, que é um detalhe do apêndice A. Esse mapa e o desenho geográfico do próprio projeto são resultado da exigência da NTD 002.011 – Padrão de projetos georreferenciados da AES Sul. Para uma melhor visualização da área do projeto são utilizados alguns pontos extremos coletados com aparelho de GPS (*Global Positioning System*) ou com o recurso do software Google Earth. A posição dos postes que fazem parte deste projeto foi coletada em campo com a utilização do mesmo sistema de posicionamento, isso pode ser observado no apêndice A e apêndice B, já a lista de pontos é mostrada no apêndice C. A Figura 30, que é um detalhe do apêndice A, ilustra o mapa digital da cidade de Canoas e o local da obra.

Figura 30 - Localização do projeto na planta digital da cidade de Canoas.



## 5.2 ESCOLHA DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS

Para este tipo de via, tipo de tráfego e objetivos gerais de iluminação, atendendo às exigências da NBR5101, foi escolhida a lâmpada a vapor de sódio (VSAP) de 250W para nova implantação e para substituição das existentes (vapor de mercúrio de 125W). Estas lâmpadas tem um fluxo luminoso mínimo de 27000 lumens e serão protegidas por luminária fechada de acordo com as normas ABNT e sustentadas através de braços curvos de ferro galvanizado com projeção horizontal de 2m. O comando das luminárias será individual, exercido por reles fotoelétricos eletromagnéticos.

A luminária a ser empregada será para iluminação pública para lâmpada vapor de sódio 250W, conforme NBR IEC 60598 e padrão Prefeitura Municipal de Canoas (padrão CEIP), fechada, tipo corpo refletor em alumínio estampado tratado com abrillhantamento eletroquímico e anodizado, com compartimento para equipamentos auxiliares construído em alumínio injetado, com soquete de porcelana tipo E-40 tendo dispositivo anti-vibratório, para instalação em ponta de braço com diâmetro de 33 a 60 mm, com base para relé fotoelétrico, com refrator em policarbonato liso de alta resistência a impactos e proteção contra raios ultra

violeta, com grau de proteção IP 66 para conjunto óptico e IP 33 para o compartimento auxiliar.

O emprego de lâmpadas VSAP 250W substituindo lâmpadas VM de 125W, ocorre pelo significativo crescimento do município no sentido de tráfego de veículos e pedestres desde a implantação do sistema antigo com VM 125W. Tal fato justifica o emprego de iluminação com maiores índices de iluminância como projetado.

### **5.2.1 Simulação no software Dialux e resultados fotométricos**

O software Dialux, de instalação gratuita, para projetos de iluminação pode ser encontrado no *site*: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>.

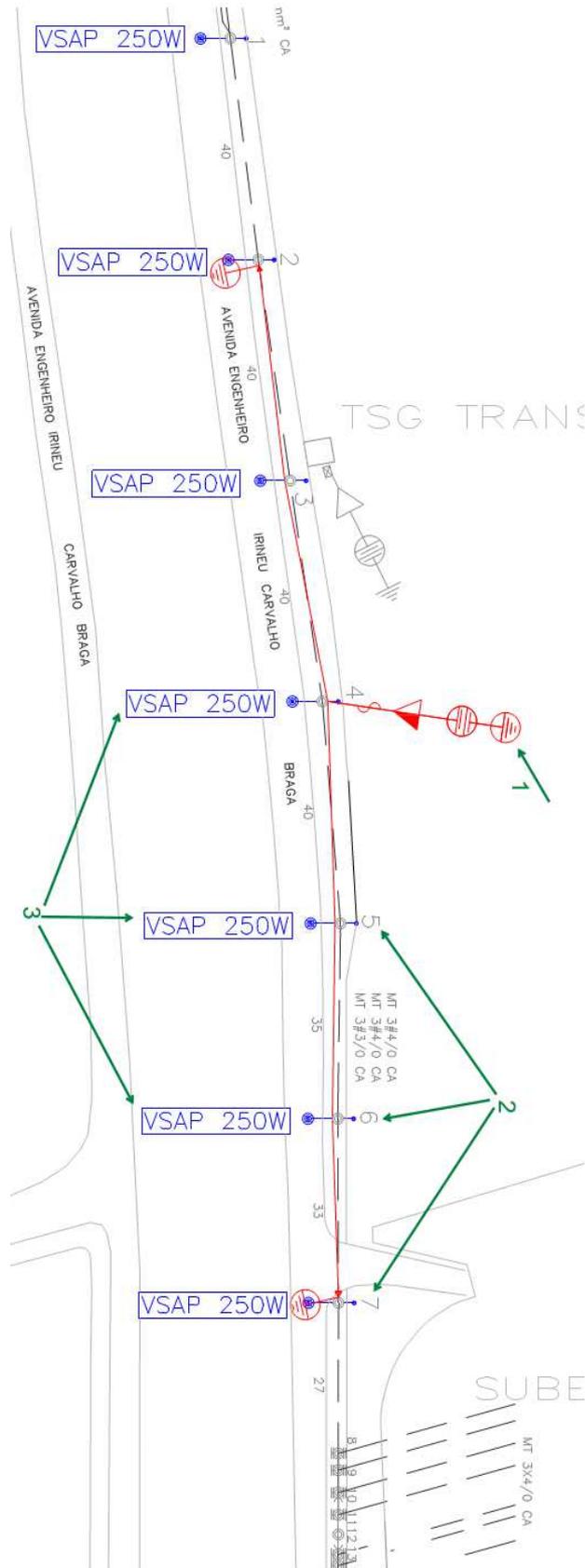
A luminária que mais se adequa ao modelo do projeto é a “Simon LightingZanlx 1x MTc 250 E40 GTF” e que tem *plugin* para o software.

Depois das configurações de tipo de via, tráfego, posicionamento de postes, altura das luminárias, espaçamento, pode ser gerado um relatório completo de dados fotométricos. A simulação para a mencionada luminária deu como resultado um ótimo índice de luminância descrito no relatório como:  $E_m$  (semi-esferico)[lx], e o fator de uniformidade (UO) sendo também atendido. A simulação obedece as normas CIE (*Commission Internationale de Leclairage*), também atende a NBR 5101. O apêndice D mostra parte desse relatório.

### **5.2.1 Descrição sobre a planta da parte luminotecnica**

O apêndice A representa a parte luminotecnica do projeto. A modo de exemplo, será apresentado na Figura 31 um detalhe desse apêndice A, mais precisamente da extensão A, parte do projeto.

Figura 31 - Detalhe da extensão A.



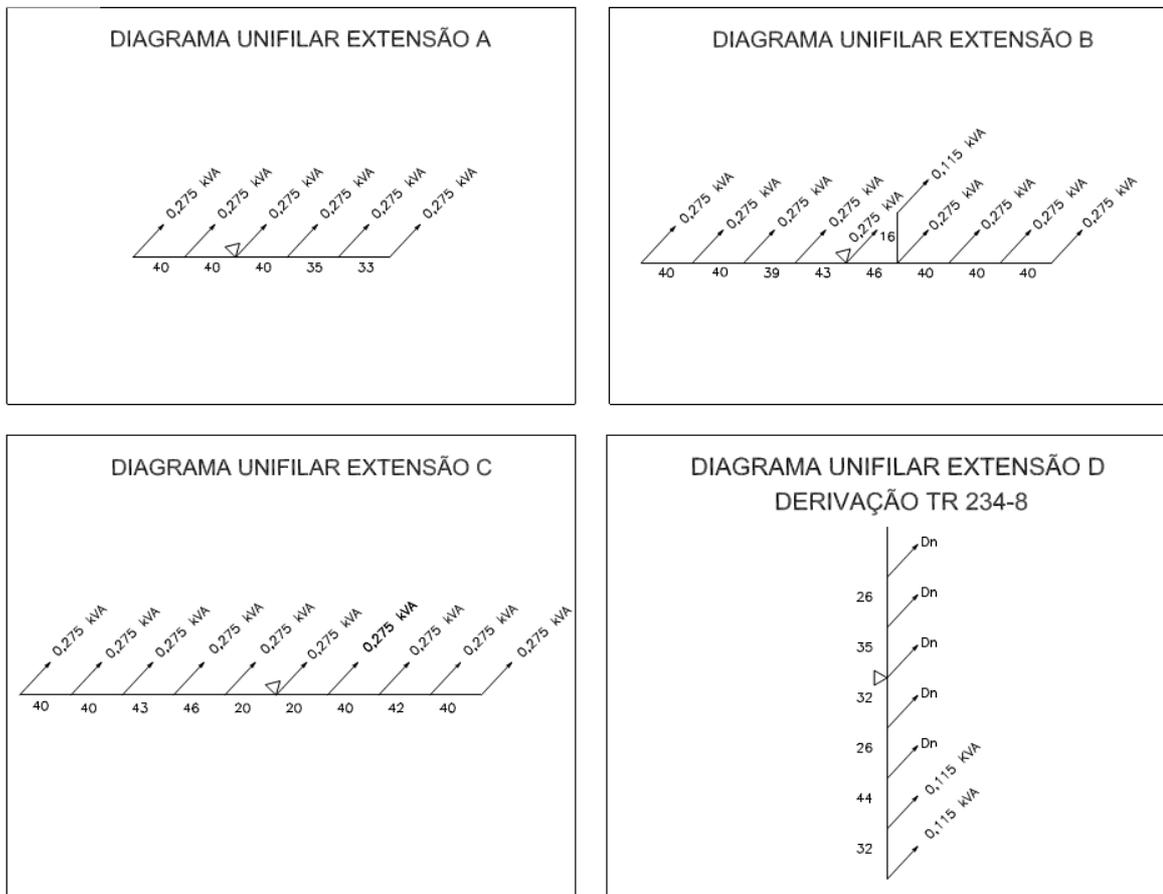
Na Figura 31 foram acrescentadas setas de cor verde para descrever a mesma:

- A seta de número 1 sinaliza instalação de transformador, fusível, para-raios, aterramento e cabo de nova rede secundária para energizar IP (*layer* de cor vermelha);
- As setas de número 2 sinalizam numeração arbitraria de postes do projeto;
- As setas de número 3 sinalizam retângulos na cor azul que significam instalação nova, neste caso, de lâmpadas VSAP 250W.

A simbologia obedece à norma NTD 002.003 da AES Sul que será mais detalhada ao decorrer do trabalho.

O projeto consta de quatro extensões de rede BT nomeadas como: EXTENSÃO A, B, C e D. A extensão D é a única energizada a partir de um transformador de 112,5 kVA existente. Isto pode ser observado melhor no apêndice B. A Figura 32 ilustra o diagrama unifilar, exigência da AES Sul e que é detalhe do apêndice B.

Figura 32 - Detalhe do apêndice B para as extensões de rede.



### 5.3 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO ELÉTRICO

Pelo levantamento feito em campo foram esclarecidos os problemas e necessidades do projeto. A situação é de uma rede de BT fragmentada, atendida por redes de algumas ruas transversais. A rede projetada consiste na complementação da rede existente, através da implementação de 3 transformadores trifásicos, a fim de atender todo o trajeto da rua Eng. Irineu de Carvalho entre as ruas Diretor Pestana e Rua Boa Saúde.

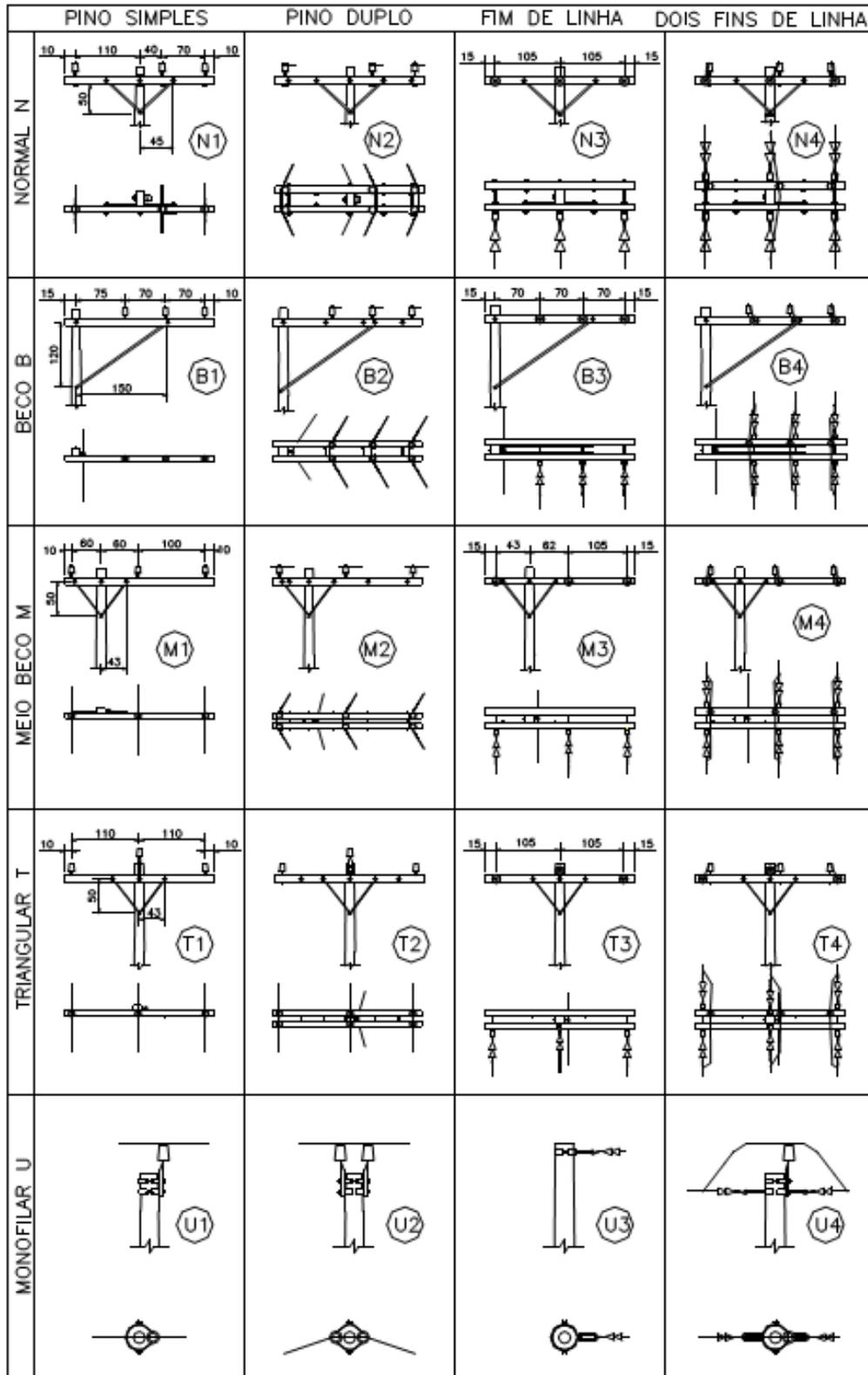
A alimentação dos transformadores a serem instalados, será feita a partir da rede de media tensão existente (MT) com tensão de operação de 23kV, a classe de isolamento será de 25kV.

Os transformadores trifásicos são de uma potência nominal de 30kVA com tensão primária de 23kV, tensão secundária de 220/127V e isolamento de 25kV. A tensão elétrica para energizar a IP é de 220V. A extensão D é existente e alimentada por transformador de 112,5kVA

#### 5.3.1 Simbologia utilizada no projeto

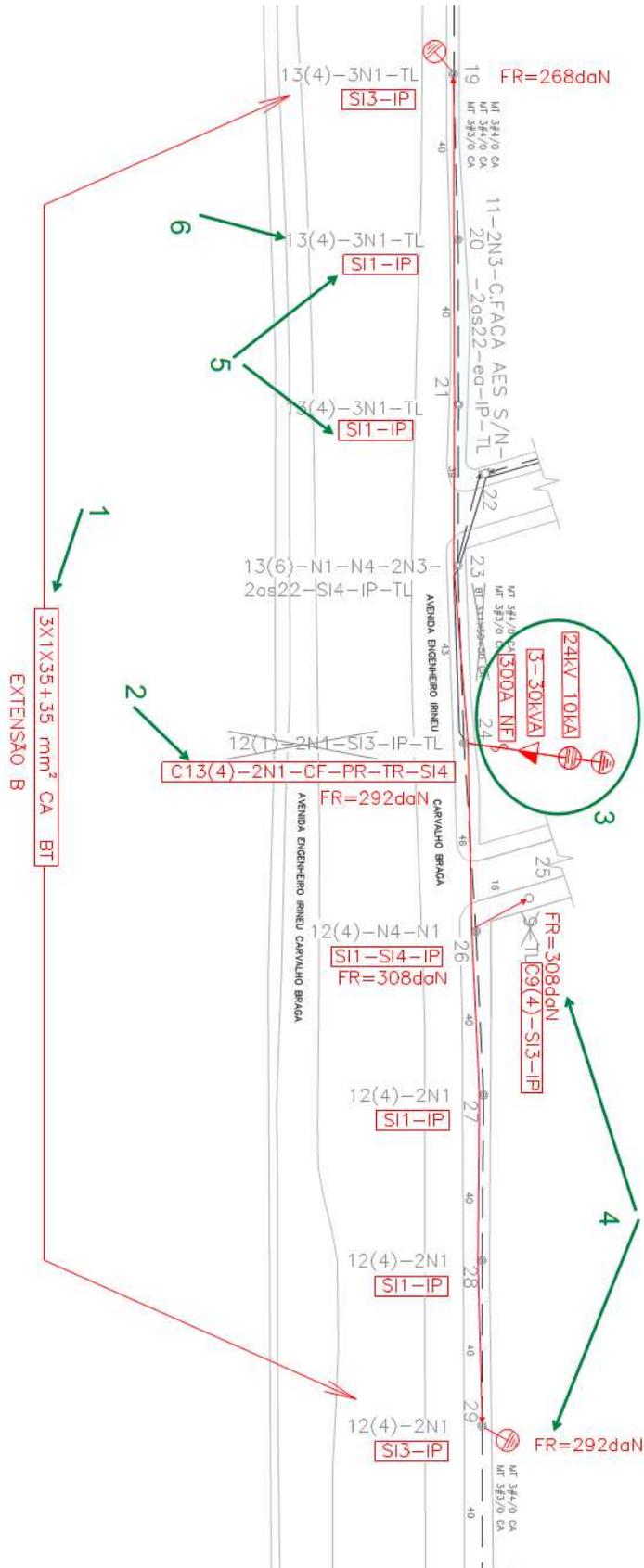
A simbologia obedece à norma NTD 002.003 da AES Sul e que é usada nas duas plantas apêndices A e B. Para melhor compreensão, as configurações de cruzetas são ilustradas na Figura 33. Um detalhe do apêndice B, Figura 34, exemplifica a simbologia.

Figura 33 - Resumo de configurações de cruzetas da AES Sul.



Medidas em cm.

Figura 34 - Detalhe do apêndice B.



Na Figura 34, a seta em cor verde de número 1 sinaliza a instalação de cabo novo de três condutores de alumínio de  $35\text{mm}^2$  com neutro (mensageiro) de  $35\text{mm}^2$  para BT.

A indicação de número 2 significa:

- C13(4): poste de concreto de 13m para 4 quilo Newtons de carga;
- 2N1: dois arranjos de cruzetas no poste de configuração N1;
- CF: chave fusível;
- PR: para-raios;
- TR: transformador;
- SI4: arranjo de ferragens para cabeamento de rede aérea BT nova.

A indicação de número 3 destaca a instalação de fusível de 300 ampéres NF, transformador trifásico de 30kVA, para-raios de 24kV e 10kA, e aterramento.

As setas de número 4 sinalizam forças resultantes (FR) que devem ser calculadas por exigência da AES Sul em postes de final de rede ou onde existir ângulo diferente de  $180^\circ$  formado com o poste anterior e posterior.

A indicação de número 5 é um outro arranjo de ferragens para rede BT (SI1-IP), assim como a indicação 6 para poste de ponta ou final de rede (SI3-IP).

A simbologia utilizada na cor cinza é para instalação existente ou existente a ser retirada se sinalizada como tal. Um exemplo é o encontrado no poste 23 da Figura 33:

- 13(6): poste de 13m para carga de 6kN;
- N1-N4-2N3: configuração de cruzeta N1, N2 e duas N3;
- 2as22: rede com instalação de fios paralelos;
- SI4: arranjo rede nova;
- IP: iluminação pública;
- TL: telefonia.

### 5.3.2 Cálculo de queda de tensão nas extensões de rede BT

Para o correto andamento do projeto e posterior aprovação, a AES Sul exige o cálculo de queda de tensão para rede BT. Para isso disponibiliza no seu site, tabelas Excel de nome “Determinação da Queda de Tensão em Circuitos BT”. A seguir é descrito o trabalho para o cálculo dessas quedas de tensão que não devem ultrapassar 6% nos pontos mais desfavoráveis da rede.

No apêndice A pode ser observado que para a extensão A, a maior distância em metros até o transformador a instalar no poste 4 e a última luminária, acontece entre os postes 4 e 7:

$$40\text{m}+35\text{m}+33\text{m} = 108\text{m} \quad (11)$$

Esta distância é inferior a 150m, como exigido pela AES Sul.

Com as distâncias entre postes, a potência aparente em kVA, e os dados do condutor, e preenchida a tabela e calculada a queda de tensão. Visto que as lâmpadas tem uma potência elétrica de 250W e os reatores consomem 25W para atuar com essa lâmpada, a potência no ponto da luminária é de 275W, ou seja, 0,275kVA. A rede é trifásica com condutores de alumínio (CA) de 35mm<sup>2</sup> e neutro (mensageiro) de 35mm<sup>2</sup>. A Figura 35 ilustra uma planilha de queda de tensão para a extensão A.

Figura 35 - Planilha de queda de tensão da extensão A.

Trecho		Comp.	Distribuída		Residencial		Comercial		Industrial		Dados Condutor				Queda Tensão	
Anterior	Ponto	( m )	kVA	kWh	kVA	kWh	kVA	kWh	kVA	kWh	Nº F.	Fase	Neutro	Comp.	Trecho	Total %
Trafo	1	40	0,275								3	35	35	mm <sup>2</sup>	0,011	0,011
	2	35	0,275								3	35	35	mm <sup>2</sup>	0,009	0,009
	3	33	0,275								3	35	35	mm <sup>2</sup>	0,009	0,009
	4															0,029
	5															
	6															

Na Figura 35, a validação de dados calcula a queda de tensão em porcentagem para cada trecho entre postes. A soma desses totais é de 0,029% de queda de tensão, valor que se encontra muito abaixo dos 6% permitidos.

Para a extensão B a distância maior até o transformador a instalar no poste 24 e a última luminária, acontece entre os postes 24 e 29:

$$46\text{m}+40\text{m}+40\text{m}+40\text{m} = 166\text{m} \quad (12)$$

A distância ultrapassa em 16m o máximo permitido pela AES Sul, porém, foi aceito no projeto.

Para o poste 25 foi projetada uma luminária com lâmpada de 100W e reator de 15W (próprio para a lâmpada), a potência desse conjunto foi somada com a do conjunto do poste 26, dando como resultado um total de 390W ou 0,39kVA. A Figura 36 ilustra o cálculo para a extensão B. O cálculo de queda de tensão de 0,049% também fica por baixo dos 6%.

Figura 36 - c de queda de tensão para a extensão B.

AES Sul <b>Determinação da Queda de Tensão em Circuitos B.T.</b> AES Sul																
Superintendência:		Metropolitana		Circuito:		Extensão B		Tensão:		220/127 V		Potência:		30 kVA		
Data da Execução:		00/00/2013		Status:		Projetado		Responsável:		Roberto						
Carregamento no ponto do transformador:				kVA		kWh						Validar dados				
Trecho	Comp.	Distribuída		Residencial		Comercial		Industrial		Dados Condutor				Queda Tensão		
Anterior	Ponto	( m )	kVA	kWh	kVA	kWh	kVA	kWh	kVA	kWh	Nº F.	Fase	Neutro	Comp.	Trecho	Total %
Trafo	1	46	0,39								3	35	35	mm²	0,017	0,017
	2	40	0,275								3	35	35	mm²	0,011	0,011
	3	40	0,275								3	35	35	mm²	0,011	0,011
	4	40	0,275								3	35	35	mm²	0,011	0,011
	5															0,049
	6															
	7															

Para a extensão C, a maior distância entre o transformador do poste 47 e a última luminária, acontece entre os postes 47 e 30:

$$20\text{m}+46\text{m}+43\text{m}+40\text{m}+40\text{m} = 189\text{m} \quad (13)$$

A distância ultrapassa em 39m a máxima permitida e também foi aceita no projeto.

A queda de tensão total é de 0,05% e que se encontra muito abaixo dos 6% permitidos. A Figura 37 ilustra o cálculo.



### 5.3.3 Cálculo das forças resultantes nos postes

Já foi discutido que a concessionária de energia elétrica, AES Sul, exige na planta do projeto o valor calculado da força resultante nos postes de final de rede e de postes onde é formado ângulo diferente de 180°. Para tal, a concessionária disponibiliza em seu site planilhas de cálculo Excel que ao serem preenchidas com dados de projeto, devolvem valores de esforços mecânicos em postes para rede elétrica.

O projeto tem cálculo de força resultante (FR) nos postes de numero: 2; 4; 7; 19; 25; 26; 29; 30; 31; 32; 40 e 45.

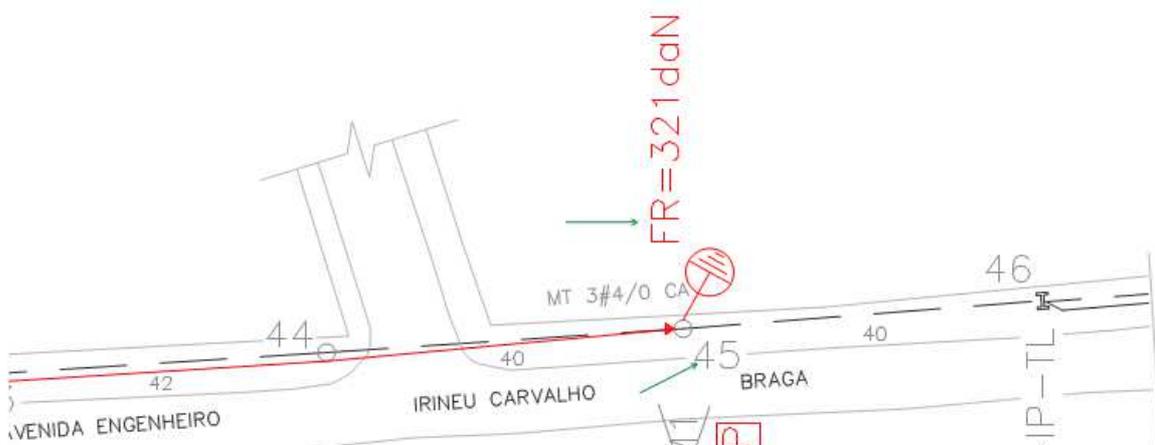
Como exemplos de cálculo de tração mecânica, são apresentados os casos dos postes 40 e 45.

O poste de numero 45, de 11m de altura na extensão C esta carregado com uma rede passante de configuração MT 3#4/0 CAA, ou seja:

- MT= media tensão;
- 3= trifásica;
- 4/0= secção em AWG (*American Wire Gauge*), igual a 107mm<sup>2</sup>;
- CAA=cabo de alumínio com alma de aço.

Também suporta um final de rede nova de BT com cabo 3x1x35+35 mm<sup>2</sup> CA. A Figura 39 ilustra a configuração do poste 45.

Figura 39 – Configuração do poste 45.



A planilha de cálculo para tração de postes disponível no site da AES Sul, determina uma força resultante de 321daN (1daN=10N). O poste suporta 4kN=400daN, ou seja, esta preparado para suportar a tração mecânica do projeto. A Figura 40 mostra a planilha de cálculo do poste 45.

Figura 40 – Planilha de cálculo de tração.

**Força Resultante - Estrutura Passante**

**Estrutura de Ancoragem**

Nº Fases: 3, Co. Fase: 4/0, Co. Neutro: 35, Tipo Con: CAA

Nº Fases: 3, Co. Fase: 35, Co. Neutro: 35, Tipo Con: mm<sup>2</sup>

Dados adicionais: Altura poste: 11, θ: 0

Tracção daN: [dropdowns]

Rede BT ou Mista Passante  
 Somente Rede MT Passante

**Força Resultante**  
**321 daN**

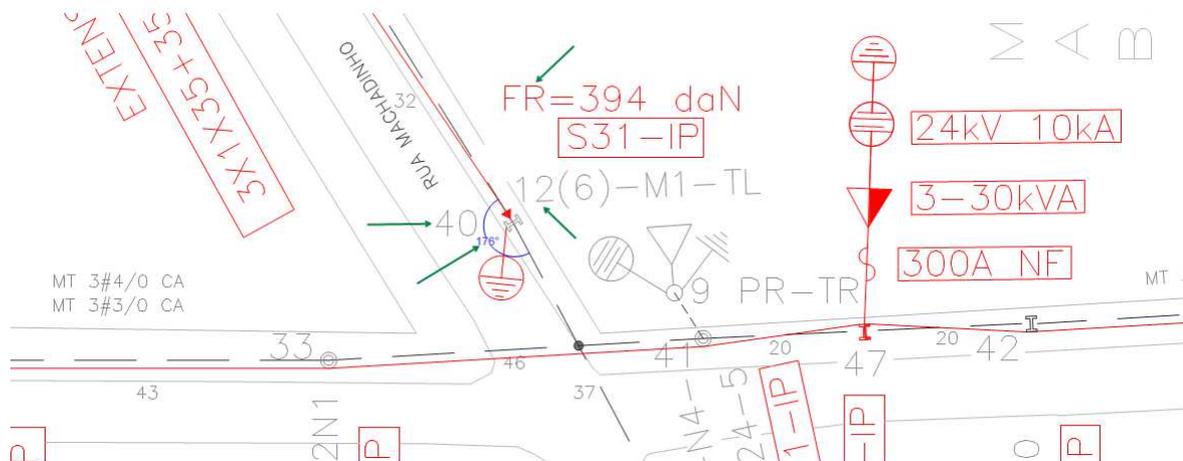
Validar Dados

**INFORMAÇÕES ADICIONAIS:**  
- CAA - Condutor de Alumínio c/ Alma de Aço;  
- CA - Condutor de Alumínio  
- CAZ - Condutor de Aço Zincado  
- CC - Cabo de Cobre  
- RC - Rede Compacta;  
- RP - Rede c/ cabo Protegida;

**OBSERVAÇÕES:**

O poste de número 40 tem um ângulo de 176° (4° na planilha), suporta uma rede MT 3#4/0 CAA e um final de rede BT de cabo 35x1x35+35 mm<sup>2</sup> CA como ilustrado na Figura 41.

Figura 41 – Configuração do poste 40.



A planilha de cálculo entrega como resultado uma força resultante de 394daN, que é adequada para o carregamento do projeto no poste, já que este suporta 6kN=600daN. A Figura 42 mostra o cálculo de FR no poste 40.

Figura 42 – Planilha de cálculo de FR no poste 40.

**Força Resultante - Estrutura Passante** Estrutura de Ancoragem

Nº Fases	Co. Fase	Co. Neutro	Tipo Con		Nº Fases	Co. Fase	Co. Neutro	Tipo Con
3	4/0.		CAA	←	3	4/0.		CAA
3	35	35	mm <sup>2</sup>	←				

**Dados adicionais:**

Altura poste: 12

Força Resultante: 4

**Tracção daN**

Tracção daN	Tracção daN
←	→
←	→
←	→
←	→

Rede BT ou Mista Passante  
 Somente Rede MT Passante

**Força Resultante**  
394 daN

Validar Dados

**INFORMAÇÕES ADICIONAIS:**  
- CAA - Condutor de Alumínio c/ Alma de Aço;  
- CA - Condutor de Alumínio  
- CAZ - Condutor de Aço Zincado  
- CC - Cabo de Cobre  
- RC - Rede Compacta;  
- RP - Rede c/ cabo Protegida;

**OBSERVAÇÕES:**

## 6. CONCLUSÕES

A iluminação pública contribui com a segurança de pedestres, tráfego de automóveis, embelezamento e destaque de praças e monumentos. Aumenta o desenvolvimento econômico e social das cidades.

Com a realização deste trabalho, uma das conclusões é que na maior parte do projeto e implantação de IP, a tecnologia a ser utilizada é a de lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão (VSAP) por causa da eficiência, durabilidade e principalmente pelo maior objetivo da IP: a iluminação de vias de tráfego onde não é necessário uma alta reprodução de cores.

Existe informação sobre normas a serem empregadas em projetos de IP, também é encontrada muita normatização para projetos de distribuição de energia elétrica. O trabalho demonstrou, ainda assim, a dificuldade na elaboração do projeto.

A norma NBR5101 esta defasada em quanto às exigências de iluminância mínima e média visto que as atuais tecnologias de lâmpadas e luminárias podem contribuir com maior iluminância e consumo de energia elétrica eficiente.

Algumas regras a serem atendidas para a aprovação de um projeto por parte das distribuidoras de energia elétrica criam algumas incógnitas. Uma delas é a distância máxima entre um transformador e o ponto de consumo mais distante no mesmo circuito (150 metros), somado à secção mínima exigida do cabo para rede BT de 35mm por fase e neutro. O trabalho comprova que a percentagem de queda de tensão para essa distância e secção é muito pequena. Outra incógnita é a utilização, por norma, de transformadores de 30kVA de potência elétrica como mínimo. Para o uso inicial de um transformado de rede secundária é aconselhado um carregamento de 50% de sua potência nominal, o que está muito longe de ser atingido com carregamentos de IP.

Uma das principais características deste projeto é mostrar que o engenheiro eletricista pode trabalhar com assuntos de outras áreas. Isso fica claro no cálculo de esforços mecânicos ou na elaboração de listas de materiais.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101** – Iluminação Pública. 1992.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410** – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- [3] IVAN LEAL DE ALMEIDA. **Norma Técnica Celg Critérios de Projetos de Iluminação Pública**. 2006.
- [4] MONTAGNA TEIXEIRA, PAULO ROGERIO. **Eficiência Energética da Iluminação Pública de Porto Alegre**. Projeto de Diplomação, Porto Alegre, 2012.
- [5] HELIO CREDER. **Instalações Elétricas**. LTC Editora. 1991.
- [6] VINICIUS DE ARAUJO MOREIRA. **Iluminação e Fotometria**. Edgard Blucher Ltda. 1987.
- [7] PAULO CANDURA E PLINIO GODOY. **Iluminação Urbana**. Editora VJ. 2009.
- [8] ELETROBRAS. **Guia Técnico Procel Reluz**. Rio de Janeiro. 2004.
- [9] NORMAS TÉCNICAS AES SUL. **NTD 007**- Compartilhamento Infraestruturas de Redes Aéreas. 2008.
- [10] NORMAS TÉCNICAS AES SUL. **NTD 003.001** – Estruturas de Redes de Distribuição. 2008.
- [11] NORMAS TÉCNICAS AES SUL. **NTD 009** – Iluminação Pública. 2008.
- [12] NORMAS TÉCNICAS AES SUL. **NTD 002.003** – Projeto de Rede de Distribuição-Simbologia. 2009.
- [13] NORMAS TÉCNICAS AES SUL. **NTD 002.011** – Padrão de Projetos Georreferenciados. 2009.
- [14] CENTRO DE EXCELÊNCIA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA. **Manual de Especificações Técnicas**. 2008.
- [15] DELIO PEREIRA GERRINI. **Iluminação-Teoria e Projeto**. São Paulo. 2012.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13593** – Reatores e Ignitores para Lâmpadas VSAP.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5123** – Relé Fotoelétrico.
- [18] [www.selinc.com.br/suporte/tabelagraudeprotecao.htm](http://www.selinc.com.br/suporte/tabelagraudeprotecao.htm). Acesso em 10/06/2013.

[19] [www.iar.unicamp.br/Manuais/manual\\_de\\_iluminacao\\_publica\\_copel\\_companhia\\_paranaense\\_de\\_energia.pdf](http://www.iar.unicamp.br/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf). Acesso em 11/06/2013.

[20] [www.aessul.com.br](http://www.aessul.com.br). Acesso em 25/03/2013.

[21] <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>. Acesso em 10/06/2013.

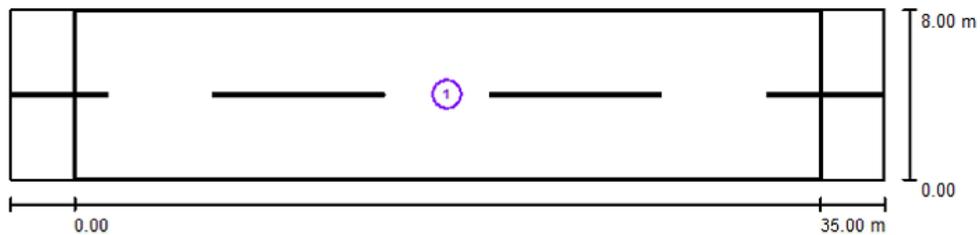
## APÊNDICE C - Tabela de pontos georreferenciados

PONTO	UTM	X	Y	DATUM	FUSO
P1	UTM	481.522.965	6.687.153.317	WGS84	22
P2	UTM	481.528.309	6.687.113.675	WGS84	22
P3	UTM	481.534.365	6.687.074.136	WGS84	22
P4	UTM	481.540.474	6.687.034.606	WGS84	22
P5	UTM	481.544.038	6.686.994.844	WGS84	22
P6	UTM	481.543.776	6.686.959.842	WGS84	22
P7	UTM	481.544.087	6.686.926.845	WGS84	22
P8	UTM	481.544.262	6.686.899.846	WGS84	22
P9	UTM	481.544.281	6.686.896.846	WGS84	22
P10	UTM	481.544.307	6.686.892.846	WGS84	22
P11	UTM	481.544.333	6.686.888.846	WGS84	22
P12	UTM	481.544.356	6.686.885.346	WGS84	22
P13	UTM	481.544.379	6.686.881.746	WGS84	22
P14	UTM	481.544.392	6.686.879.746	WGS84	22
P15	UTM	481.544.421	6.686.875.347	WGS84	22
P16	UTM	481.544.667	6.686.837.347	WGS84	22
P17	UTM	481.544.743	6.686.825.529	WGS84	22
P18	UTM	481.544.945	6.686.794.348	WGS84	22
P19	UTM	481.545.198	6.686.755.349	WGS84	22
P20	UTM	481.546.561	6.686.715.361	WGS84	22
P21	UTM	481.546.982	6.686.675.368	WGS84	22
P22	UTM	481.553.464	6.686.658.706	WGS84	22
P23	UTM	481.547.046	6.686.636.368	WGS84	22
P24	UTM	481548.81	6.686.593.405	WGS84	22
P25	UTM	481564.69	6.686.556.018	WGS84	22
P26	UTM	481.551.976	6.686.547.913	WGS84	22
P27	UTM	481.554.061	6.686.508.255	WGS84	22
P28	UTM	481553.95	6.686.468.246	WGS84	22
P29	UTM	481.554.209	6.686.428.247	WGS84	22
P30	UTM	481.554.468	6.686.388.247	WGS84	22
P31	UTM	481.554.727	6.686.348.248	WGS84	22
P32	UTM	481.551.185	6.686.308.225	WGS84	22
P33	UTM	481.551.463	6.686.265.225	WGS84	22
P34	UTM	481.747.811	6.686.316.448	WGS84	22
P35	UTM	481.723.204	6686309.03	WGS84	22
P36	UTM	481.689.187	6686298.72	WGS84	22
P37	UTM	481.658.644	6.686.289.437	WGS84	22
P38	UTM	481.633.803	6.686.280.917	WGS84	22
P39	UTM	481.595.352	6.686.260.088	WGS84	22
P40	UTM	481.568.325	6.686.242.955	WGS84	22
P41	UTM	481.554.416	6.686.219.808	WGS84	22
P42	UTM	481.557.106	6.686.181.157	WGS84	22
P43	UTM	481.558.428	6.686.139.273	WGS84	22
P44	UTM	481.561.975	6.686.098.257	WGS84	22
P45	UTM	481.564.913	6.686.058.305	WGS84	22
P46	UTM	481.567.601	6.686.019.297	WGS84	22

## APÊNDICE D

Parte do relatório gerado pelo software Dialux

### Street 1 / Resultados Luminotécnicos



Factor de manutenção: 0.67

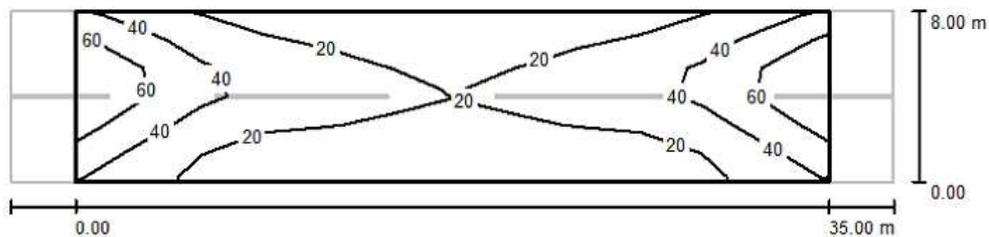
Escala 1:294

#### Lista de campo de avaliação

- 1 Valuation Field Roadway 1  
 Comprimento: 35.000 m, Largura: 8.000 m  
 Grelha: 12 x 6 Pontos  
 Elementos de rua correspondentes: Roadway 1.  
 Classe de iluminação seleccionada: A1 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$E_m$ (semi-esférico) [lx]	U0
Valores reais segundo o cálculo:	17.81	0.33
Valores nominais segundo a classe:	$\geq 5.00$	$\geq 0.15$
Cumprido/não cumprido:	✓	✓

### Street 1 / Valuation Field Roadway 1 / Linhas isográficas (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 294

Grelha: 12 x 6 Pontos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
29	7.14	76	0.247	0.094