

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**

**Impacto do Uso da Tecnologia LED nos Sistemas de Iluminação
Pública**

ALUNO: Eric Chien Chu

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marco Antonio Saidel

COORDENADOR: Prof. Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan

São Paulo - SP

2010



FOLHA DE APROVAÇÃO

Eric Chien Chu

Impacto do Uso da Tecnologia LED no Sistema Brasileiro de Iluminação Pública

RESUMO

Esse trabalho fez uma análise do potencial de evolução da tecnologia de lâmpadas a LED e os possíveis efeitos sociais, ambientais, energéticos e econômicos desta tecnologia. Outro objetivo deste trabalho foi o de estimar os impactos da substituição das luminárias convencionais por luminárias a LED nos sistemas de iluminação pública como parte de um programa de eficiência energética inserido no contexto de GLD. Assim, foram avaliados os custos de implantação, operação e manutenção, da energia economizada e os impactos nas curvas diárias de carga, através dos indicadores apropriados propostos para esta finalidade. A viabilidade econômica desta substituição foi analisada considerando os custos, benefícios e o retorno dos investimentos. Os efeitos sociais e ambientais foram avaliados pela análise de possíveis problemas à saúde das pessoas em decorrência da operação do LED e pela avaliação das condições de descarte desses componentes após sua utilização.

Palavras-Chave: Gerenciamento pelo Lado da Demanda, Diodo Emissor de Luz, Iluminação Pública.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Objetivos básicos dos programas de GLD
- Figura 2 - Distribuição dos pontos de iluminação por região.
- Figura 3 - Diagrama unifilar para o sistema alimentado na rede de média tensão
- Figura 4 - Malha para inspeção detalhada
- Figura 5 - Malha para verificações periódicas ou constatação de valores objeto do projeto de iluminação
- Figura 6 - Arquitetura de módulos de LED
- Figura 7 - Estrutura de um OLED
- Figura 8 - Componentes de uma luminária a LED
- Figura 9 - Luminária a LED apresentada pela Philips para iluminação de vias
- Figura 10 - Distribuição de iluminância para a luminária a LED
- Figura 11 - Distribuição de iluminância para o vapor de mercúrio
- Figura 12 - Esfera integradora utilizada nos ensaios
- Figura 13 - Instrumentos de coleta de dados
- Figura 14 - Luminária de vapor de sódio de 70W
- Figura 15 - Luminária HB-LED ensaiada
- Figura 16 - Luminária a LED LU2
- Figura 17 - Iluminância da luminária a LED LU2
- Figura 18 - Luminária a LED Leotek SL-75W
- Figura 19 - Luminária a LED SSTL-05
- Figura 20 - Iluminância da luminária SSTL-05
- Figura 21 - Fluxo luminoso para a fabricante A
- Figura 22 - Fluxo luminoso para a fabricante B
- Figura 23 - Fluxo luminoso para a fabricante C
- Figura 24 - Gráfico de L70 em função da temperatura na placa
- Figura 25 - Projeções para a eficiência luminosa de LEDs
- Figura 26 - Projeções para a eficiência luminosa de OLEDs
- Figura 27 - Projeção de preços para o LED
- Figura 28 - Projeção de preços para o OLED
- Figura 29 - Projeções para a vida útil das lâmpadas a LED
- Figura 30 - Projeções para a vida útil das lâmpadas a OLED

- Figura 31 - Visão aérea da ponte I-35W
- Figura 32 - Vista aérea da região de Lija Loop
- Figura 33 - Luminária a LED em Lija Loop
- Figura 34 - Rua com iluminação convencional
- Figura 35 - Rua com iluminação a LED
- Figura 36 - Arranjo unilateral
- Figura 37 - Arranjo alternado
- Figura 38 - Arranjo frontal (oposto)
- Figura 39 - Ponto de luz padrão de iluminação pública
- Figura 40 - Equivalência de luminárias para LED A e VS70 A
- Figura 41 - Equivalência de luminárias para LED B e VS70 A
- Figura 42 - Equivalência de luminárias para LED C e VS70 A
- Figura 43 - Variações dos tristímulus com os comprimentos de onda
- Figura 44 - Diagrama de cromaticidade da CIE
- Figura 45 - Exemplo de elipses de MacAdam para certo ponto de cromaticidade
- Figura 46 - Curvas de resposta para visão fotópica e escotópica definidas pelo CIE
- Figura 47 - Luminária VS70 A
- Figura 48 - Diagrama Polar da luminária VS70 A
- Figura 49 - Luminária VS70 B
- Figura 50 - Diagrama Polar da luminária VS70 B
- Figura 51 - Luminária LED A
- Figura 52 - Diagrama Polar da luminária LED A
- Figura 53 - Luminária LED B
- Figura 54 - Diagrama Polar da luminária LED B
- Figura 55 - Luminária LED C
- Figura 56 - Diagrama Polar da luminária LED C

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Distribuição dos pontos de iluminação por tipo de lâmpada.
- Tabela 2 - Classificação para tráfego motorizado
- Tabela 3 - Classificação para tráfego de pedestres
- Tabela 4 - Razão de iluminância entre pontos adjacentes
- Tabela 5 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias locais
- Tabela 6 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias de ligação
- Tabela 7 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias principais
- Tabela 8 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias normais
- Tabela 9 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias secundárias
- Tabela 10 - Principais tipos de lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública
- Tabela 11 - Dados obtidos referentes à lâmpada de vapor de sódio
- Tabela 12 - Dados obtidos referentes à luminária HB-LED protótipo
- Tabela 13 - Dados do fabricante para a luminária LU2
- Tabela 14 - Dados do fabricante para a luminária SL-75W
- Tabela 15 - Dados do fabricante referentes à luminária SSTL-05
- Tabela 16 - Comparação entre as luminárias
- Tabela 17 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante A
- Tabela 18 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante B
- Tabela 19 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante C
- Tabela 20 - Luminárias utilizadas no projeto
- Tabela 21 - Horas de operação e consumo total para as luminárias
- Tabela 22 - Custo de aquisição das luminárias
- Tabela 23 - Tempo de retorno em função do tempo de troca das luminárias de vapor de sódio
- Tabela 24 - Comparação entre as luminárias
- Tabela 25 - Valores medidos de iluminância
- Tabela 26 - Valores de PBS para diferentes cenários

- Tabela 27 - Dados da luminária instalada
- Tabela 28 - Comparação entre os sistemas de iluminação
- Tabela 29 - Dados da otimização para uma via urbana de baixo tráfego
- Tabela 30 - Dados da otimização para uma via urbana de tráfego intenso
- Tabela 31 - Resultados da otimização para entrepostes de 20 metros
- Tabela 32 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostes de 20 metros
- Tabela 33 - Resultados da otimização para entrepostes de 30 metros
- Tabela 34 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostes de 30 metros
- Tabela 35 - Resultados da otimização para entrepostes de 40 metros
- Tabela 36 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostes de 40 metros
- Tabela 37 - Resultados da otimização para entrepostes de 50 metros
- Tabela 38 - Resultados da otimização para o arranjo frontal e distância de 20 metros
- Tabela 39 - Resultados da otimização para o arranjo alternado e distância de 20 metros
- Tabela 40 - Resultados da otimização para o arranjo frontal e distância de 15 metros
- Tabela 41 - Resultados da otimização para o arranjo alternado e distância de 15 metros
- Tabela 42 - Principais custos envolvidos em uma substituição (em R\$ por unidade)
- Tabela 43 - Tarifas médias por classe de consumo no período de agosto/2010.
- Tabela 44 - Levantamento de preços de luminárias a LED
- Tabela 45 - Potência total das luminárias a vapor de sódio
- Tabela 46 - Energia economizada por ano em função da potência da lâmpada e da redução do consumo.
- Tabela 47 - Valor em reais da energia economizada por ano.
- Tabela 48 - Resultados do estudo econômico para período de 11 anos
- Tabela 49 - Resultados do estudo econômico para período de 16 anos
- Tabela 50 - Custo da luminária a LED para VPL nulo
- Tabela 51 - Maior entrepostes e razão de luminárias para LED A e VS70 A
- Tabela 52 - Maior entrepostes e razão de luminárias para LED B e VS70 A
- Tabela 53 - Maior entrepostes e razão de luminárias para LED C e VS70 A
- Tabela 54 - Redução da demanda e consumo para cada luminária a LED
- Tabela 55 - Porcentagem do investimento recuperado e VPL para período de 11 anos
- Tabela 56 - Porcentagem do investimento recuperado e VPL para período de 16 anos
- Tabela 57 - Custo da luminária a LED para VPL nulo
- Tabela 58 - Probabilidade em função dos passos
- Tabela 59 - Eficiência luminosa para as curvas fotópicas e escotópicas

ABREVIATURAS E SIGLAS

A - ampère

a.a. - ao ano

Abilux - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI - American National Standards Institute

ASSIST - Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies

BT - Baixa Tensão

CC - corrente contínua

cd - candela

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage

cm - centímetro

Cobei - Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Telecomunicações e Iluminação

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DOE – Department of Energy

DSM – Demand Side Management

EPRI – Electric Power Research Institute

EUA - Estados Unidos da América

GLD – Gerenciamento pelo lado da demanda

GW - gigawatt

h - hora

Hz - hertz

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

IEC - International Electrotechnical Commission

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America

Ilume - Departamento de Iluminação Pública

IP - Iluminação Pública

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IRC – Índice de reprodução de cores

K - Kelvin

kA – kiloampère
klm - kilolúmen
kVA - quilovolt-ampère
kW - quilowatt
kWh – kilowatt-hora
LED – Light-Emmitting Diode
lm - lúmen
m - metro
mcd - milicandela
MT - Média Tensão
MW - megawatt
MWh - megawatt-hora
NA - normalmente aberto
NBR - Norma Brasileira Registrada
NEMA - National Electrical Manufacturers Association
NF - normalmente fechado
NGLIA - Next Generation Lighting Industry Alliance
NIST - National Institute of Standards and Technology
nm - nanometro
OLED - Organic Light-emmitting Diode
PE - polietileno
PIR – Porcentagem do Investimento Recuperado
PROCEL - Programa de Conservação de Energia Elétrica
PUREUSP - Programa Permanente para Uso Eficiente de Energia na Universidade de São Paulo
PVC - cloreto de polivinila
R\$ - Real
TCC – Temperatura de cor correlata
trafo - transformador
TWh – terawatt-hora
US\$ - dólar
UV - ultra-violeta
V - volt
VPL – Valor Presente Líquido

VS - vapor de sódio

W - watt

° - graus

°C - graus Celsius

% - porcentagem

Sumário

Sumário.....	12
Capítulo 1 – Introdução	13
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica em GLD	15
Capítulo 3 – Iluminação Pública	18
3.1. A norma brasileira de iluminação pública.....	21
3.2. Equipamentos Principais dos Sistemas de IP	29
3.3. Tarifação e Faturamento.....	32
Capítulo 4 – A Tecnologia dos Diodos Emissores de Luz (LEDs)	34
4.1. Estado Atual da Tecnologia.....	37
4.1.1 Possíveis Problemas com LEDs	48
4.2. Futuro da Tecnologia de Lâmpadas a LED	53
4.3. Experiências com LED em Iluminação Pública no Brasil e no Mundo	57
Capítulo 5 – Comparação da Iluminação com Luminárias a Vapor de Sódio e a LED	65
5.1. Metodologia e Objetivo.....	65
5.2. Resultados das Simulações.....	68
5.2.1. Resultados para uma Via de Baixo Tráfego	68
5.2.2. Resultados para uma Via de Tráfego Intenso.....	70
5.3. Estudo Econômico da Utilização do LED.....	72
5.3.1. Caso 1 – Projeto de Retrofit	75
5.3.2. Caso 2 – Nova Instalação de IP.....	80
Capítulo 6 – Conclusões	85
Referências	86
Anexo 01 – Diagrama de Cromaticidade ou Espaço de Cores do CIE	89
Anexo 02 – Elipses de MacAdam	91
Anexo 03 – Visão Humana: Curvas Fotópica e Escotópica.....	93
Anexo 04 – Resultados do DIALux	95
Anexo 05 – Estudo Econômico	131

Capítulo 1 – Introdução

Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) se refere às intervenções e estratégias de uma empresa de energia elétrica ou Poder Público no mercado consumidor com o objetivo de alterar a curva de carga tanto em seu formato quanto em sua magnitude. Isso pode ser obtido através da alteração da demanda no horário de ponta, preenchimento de vales, mudanças na carga, conservação ou crescimento estratégico e construção de curvas de carga flexíveis mediante acionamento e desligamento de cargas não essenciais visando à otimização da geração de energia.

A adoção de estratégias e ações com o objetivo de controlar a curva de carga remonta ao final do século XIX. Naquela época, em Nova Iorque, a principal utilização da energia elétrica era a iluminação noturna. A empresa de Thomas Edison, a *Thomas A. Edison Pearl Street*, com a intenção de aumentar o fator de carga e assim diminuir os custos de geração e distribuição de energia, começou a promover e incentivar o uso de aparelhos elétricos durante o dia (CAMPOS).

O conceito de GLD começou a ganhar importância com a crise do petróleo no começo dos anos 70. Naquele momento, a grande elevação no custo da energia e a imprevisibilidade da oferta levaram as empresas de energia elétrica, principalmente nos países desenvolvidos, a buscarem uma alternativa à visão tradicional com foco na oferta.

O termo em inglês *Demand-Side Management* (DSM), traduzido para o português como Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), foi introduzido na indústria elétrica em 1981 por Clark Gellings, executivo sênior do *Electric Power Research Institute* (EPRI) nos Estados Unidos.

No Brasil, apesar do aumento de importância do GLD, ainda são raras as ações focadas nesse conceito. Vale destacar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio e gerenciado pela Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S. A.), que consiste em medidas direcionadas à conservação de energia através do uso racional de energia e incentivos ao desenvolvimento, produção e utilização de equipamentos mais eficientes e com menor consumo. Além do PROCEL existe o Programa Permanente para Uso Eficiente de Energia na Universidade de São Paulo (PUREUSP), criado em 1997, cuja missão é a de fazer a gestão energética das instalações da USP buscando melhorar sua eficiência.

Nesse contexto de mudança de foco da oferta para a demanda, a expectativa de evolução da tecnologia LED, antes aplicada à sinalização e iluminação decorativa, cria a possibilidade de sua utilização na iluminação pública com economia de energia e diminuição da demanda no horário de ponta.

Esse estudo teve por objetivo fazer uma descrição geral dos sistemas de iluminação pública, descrever o estágio atual da tecnologia LED e suas expectativas de desenvolvimento, identificar e analisar os efeitos da utilização do LED na iluminação pública brasileira e estimar os custos para sua implantação e manutenção para verificar, por meio de indicadores econômicos, a viabilidade da implantação de luminárias com essa tecnologia nos sistemas de iluminação pública, principalmente na iluminação de vias.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica em GLD

É necessário de início definir o que é e do que se trata um programa de GLD. Segundo Delgado [24], GLD é um campo da tecnologia que surgiu nos anos 1970 com a crise do petróleo e pode ser usado de diversas maneiras e para diferentes finalidades pelas empresas do setor elétrico.

Os programas de GLD se aplicam às empresas do setor elétrico, ao governo ou a outros segmentos que tentam encorajar os consumidores a adotar tecnologias, produtos, equipamentos e serviços que promovam eficiência energética, ou seja, influenciar os padrões de consumo de forma que a energia seja melhor utilizada.

A figura 1, retirada de Gellings [9], representa as possibilidades de modelamento da curva de carga que é o objetivo principal dos programas de GLD.

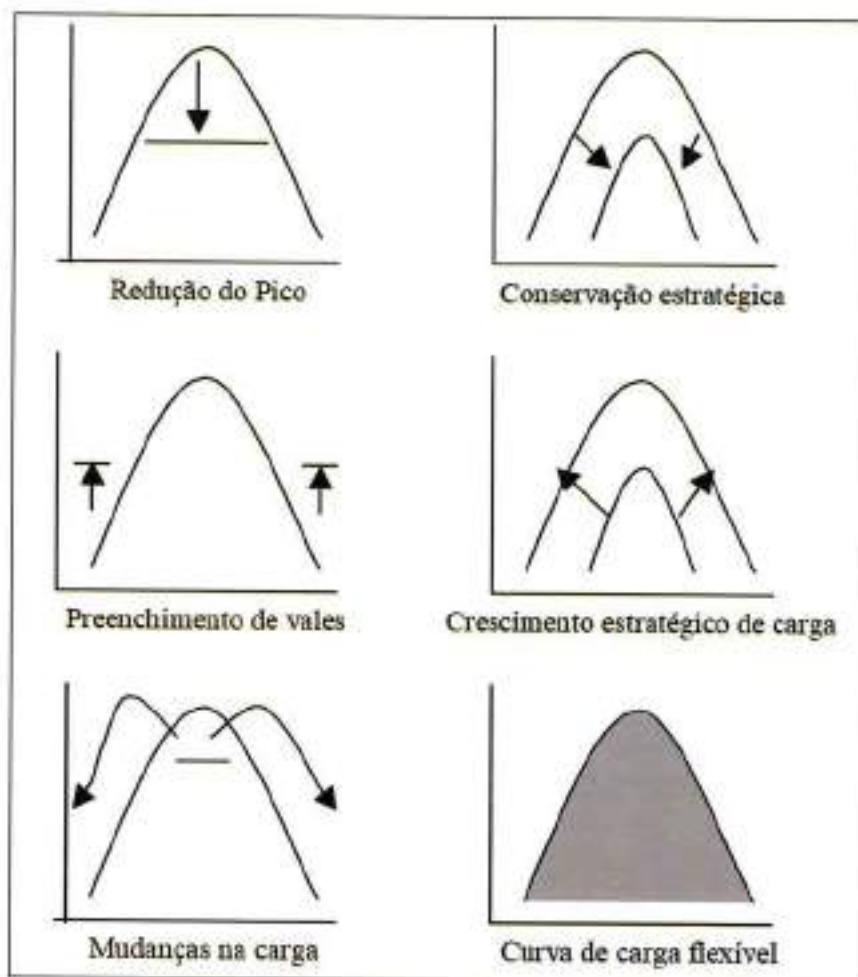


Figura 1 - Objetivos básicos dos programas de GLD

1. Redução de Pico:

Consiste na redução da carga nos horários de ponta através do controle direto, pelas empresas de energia, de um aparelho de uso final.

2. Conservação Estratégica:

Consiste na redução da curva de carga como um todo e ocorre principalmente pela substituição de equipamentos de uso final por modelos mais novos e eficientes ou de tecnologia mais recente e eficiente.

3. Preenchimento de Vales:

Consiste no estímulo ao crescimento da carga nos horários fora de pico.

4. Crescimento Estratégico de Carga:

Consiste no estímulo, pela empresa de energia, do aumento global da carga, com isso do faturamento, além do preenchimento de vales.

5. Mudanças na Carga:

Consiste no deslocamento de parte da carga do horário de pico para os vales nos períodos fora de pico. Uma das principais estratégias é a criação de tarifas diferenciadas para horário dentro e fora de pico.

6. Curva de Carga Flexível:

É um conceito ligado à confiabilidade. A obtenção de uma curva de carga flexível permite a acomodação da demanda à oferta. Por exemplo, no período de seca deseja-se reduzir a demanda para não sobrecarregar a rede, porém no período úmido o objetivo é oposto, pois é desejado que o faturamento de energia seja máximo.

A substituição das lâmpadas de iluminação pública por lâmpadas de LED se encaixaria como uma ação de GLD porque diminuiria a carga no período noturno e ganharia ainda mais importância, pois a redução ocorreria em pleno horário de pico.

Pelo lado da empresa concessionária de energia, a substituição das lâmpadas se traduziria na postergação e até evitamento de novos investimentos em equipamentos de maior dimensionamento já que a carga no horário mais crítico seria reduzida e a “folga” de cabos e transformadores ficaria maior. Esse efeito pode ser tanto positivo quanto negativo: pode ser negativo porque uma parte do rendimento pago às empresas vem da remuneração de capital sobre os investimentos necessários à prestação do serviço de iluminação, ou seja, com menor necessidade de investimentos, a empresa receberia menor remuneração de capital. Mas também pode ser positivo porque uma maior “folga” nos equipamentos traria uma redução nas perdas e melhor qualidade no serviço prestado já que a queda de tensão se reduziria, o que poderia se traduzir em diminuição do montante voltado ao pagamento de multas. Outro possível ganho seria indireto: com uma menor energia comprada dos geradores, haveria diminuição das tarifas aplicadas aos consumidores, reduzindo a inadimplência. Não haveria prejuízo porque o cálculo da tarifa de distribuição não prevê rendimentos sobre a energia comprada dos geradores, somente seu ressarcimento.

A substituição das lâmpadas pode ser uma alternativa para que as concessionárias façam o investimento anual obrigatório em projetos de eficiência energética. De acordo com a lei 9991 de 24 de julho de 2000, as empresas distribuidoras são obrigadas a investir no mínimo 0,75% da receita operacional líquida em Pesquisa e Desenvolvimento do setor elétrico e 0,25% em programas de eficiência energética voltados para o uso final da energia.

Já para o governo federal, que é o responsável pelo planejamento da oferta, essa medida seria importante, pois com a diminuição da carga, evita-se a construção de novas usinas, sejam elas hidrelétricas ou térmicas. Para o Poder Público municipal, essa medida representaria um menor capital gasto com a compra de energia e prestação do serviço de iluminação. Dessa forma, o capital economizado poderia ser direcionado para outras áreas.

Capítulo 3 – Iluminação Pública

A iluminação pública é um serviço básico e indispensável nas cidades. Ela permite a circulação de pessoas e veículos durante os períodos em que não há a incidência de luz natural, ou seja, essencialmente durante a noite. Ela cumpre a importante função de evitar acidentes, tanto no trânsito de veículos quanto na circulação de pedestres, e na segurança pública, aumentando a sensação de segurança na circulação dos espaços públicos. Segundo a ANEEL: *“Iluminação Pública: serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual”* E acrescenta: *“Inclui-se neste conceito os logradouros públicos que necessitam de iluminação permanente no período diurno.”* Além disso, ela discorre sobre a classificação de iluminação pública: *“A classe iluminação pública, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, caracteriza-se pelo fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, logradouros de uso comum e livre acesso, inclusive a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem a interesses econômicos.”*

Sob o ponto de vista constitucional, a prestação do serviço de iluminação pública é de competência do Poder Público Municipal, ou seja, das prefeituras. Por se tratar de um serviço que também requer fornecimento de energia elétrica, está submetido à legislação federal. As condições de fornecimento de energia destinado à iluminação pública são regulamentadas pela Resolução ANEEL n° 414/2010. Essa resolução estabelece que mediante contrato ou convênio, a concessionária poderá efetuar os serviços de iluminação pública, ficando o Poder Público Municipal responsável pelas despesas decorrentes. No entanto, quando o ponto de entrega da energia se dá no bulbo da lâmpada, isto é, as instalações do sistema de iluminação pertencem à própria concessionária, os serviços de operação e manutenção e seus custos são de responsabilidade da própria concessionária.

Apesar de a iluminação pública englobar os mais diversos tipos de espaços públicos como praças, vias, túneis, monumentos, etc. e que, portanto diferem nas suas características e requisitos de iluminação, este trabalho tem o objetivo de analisar somente a iluminação de

vias públicas de circulação de veículos e pedestres sendo excluídos os demais espaços públicos.

De acordo com o site do PROCEL [5], a iluminação pública no Brasil responde por aproximadamente 4,5% da demanda nacional e 3% do consumo de energia elétrica do país. Isso corresponde a uma demanda de 2,2 GW e um consumo de 9,7 bilhões de kWh por ano.

No mundo, estima-se que 218 TWh de energia foram consumidas pela iluminação externa estacionária em 2005 o que corresponde a 8% da energia total consumida em iluminação. Desse valor, 53% se referem à iluminação de ruas e estradas e 40% de estacionamentos [21]. Na Noruega, por exemplo, a iluminação de vias corresponde a 3% da energia consumida anualmente, porcentagem igual à do Brasil, o que corresponde à faixa de 560 a 750 GWh por ano [31].

Segundo o levantamento cadastral realizado pela Eletrobrás através do PROCEL em 2008 junto às distribuidoras de energia elétrica, havia aproximadamente 15 milhões de pontos de iluminação instalados no país, cuja distribuição por regiões é mostrada na figura 2.

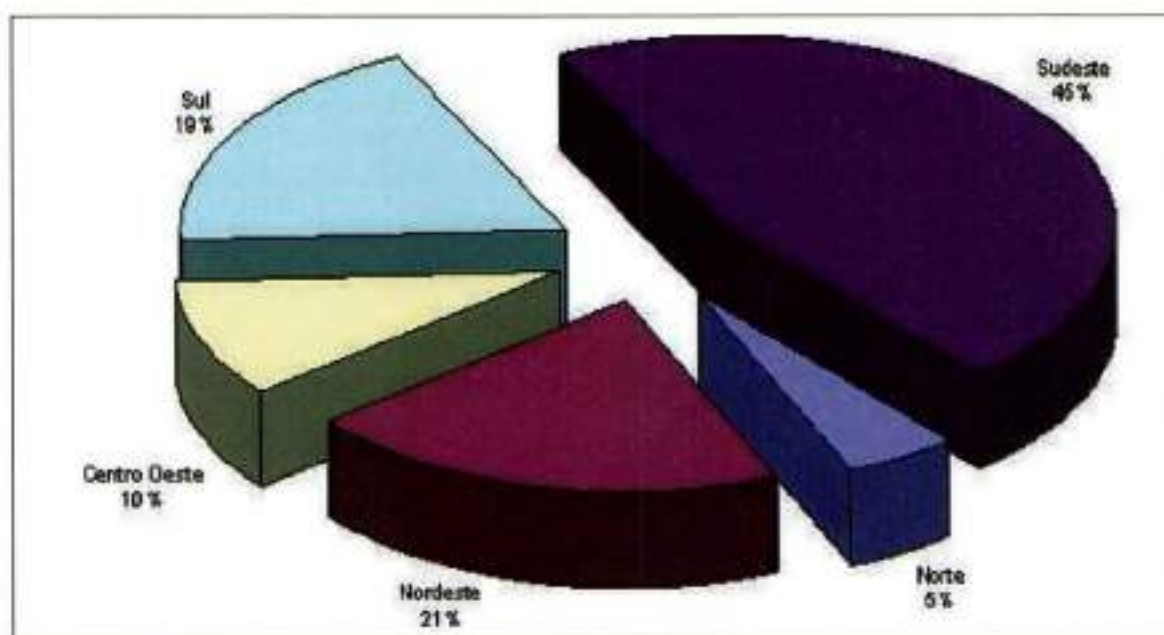


Figura 2 - Distribuição dos pontos de iluminação por região.

A distribuição dos pontos de iluminação por tipo de lâmpada instalada é mostrada na tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos pontos de iluminação por tipo de lâmpada.

Tipo de Lâmpada	Quantidade	
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84%
Mista	328.427	2,22%
Incandescente	210.417	1,42%
Fluorescente	119.535	0,81%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,73%
Outras	5.134	0,03%
TOTAL	14.769.309	100%

(Fonte: site do Procel)

Há, no Brasil, dois tipos de configuração para a alimentação dos sistemas de iluminação pública: o que utiliza a rede de média tensão da concessionária e o que utiliza a rede secundária de baixa tensão. No caso da utilização da rede de média tensão, o sistema pertence ao município desde o ponto de entrega de energia, o que exige, portanto uma rede secundária exclusiva para a iluminação pública. Os sistemas podem ser ainda divididos em aéreos, quando a instalação das luminárias e a distribuição dos circuitos utilizam postes, ou subterrâneos, quando os cabos de alimentação são alojados em dutos enterrados e as luminárias são instaladas em postes metálicos próprios da prefeitura. O diagrama típico para o sistema de iluminação pública que utiliza a rede de média tensão é mostrado na figura 3.

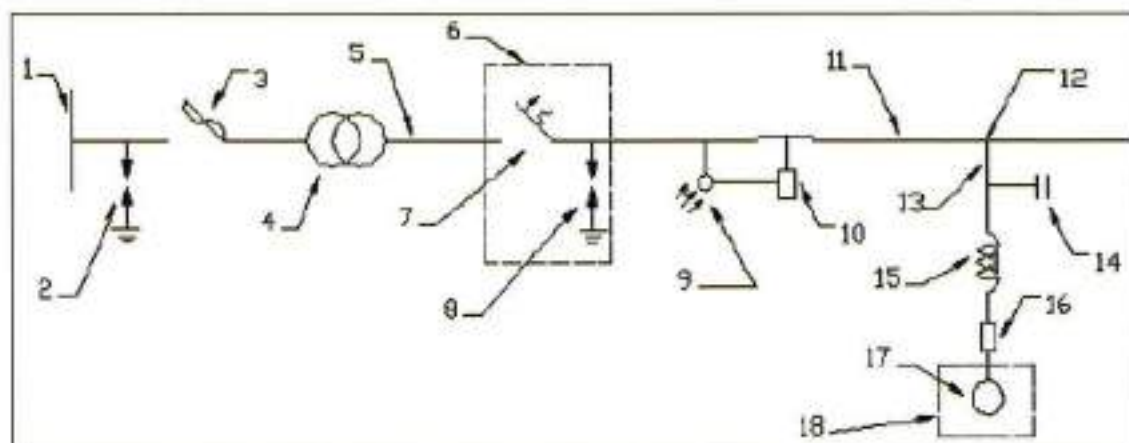


Figura 3 - Diagrama unifilar para o sistema alimentado na rede de média tensão

Sendo:

- (1) Rede de distribuição de média tensão
- (2) Para-raios de linha de média tensão
- (3) Chave fusível de distribuição

- (4) Transformador
- (5) Cabo de saída
- (6) Proteção de iluminação pública
- (7) Disjuntor
- (8) Pára-raios de linha de baixa tensão
- (9) Relé fotoelétrico
- (10) Chave magnética
- (11) Cabos de alimentação do sistema
- (12) Conector de derivação
- (13) Cabo de derivação
- (14) Capacitor
- (15) Reator
- (16) Ignitor
- (17) Lâmpada
- (18) Luminária

3.1. A norma brasileira de iluminação pública

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma NBR 5101:92 de Iluminação Pública estabelece os requisitos considerados mínimos necessários à iluminação de vias públicas com a finalidade de propiciar algum nível de segurança ao tráfego de pedestres e veículos. De maneira geral a norma estabelece que os critérios mínimos de iluminação dependem do tipo de via e seu volume de tráfego, sendo o volume de tráfego definido como o número máximo de veículos ou pedestres que passam numa dada via no período de uma hora.

De acordo com a NBR 5101:92, as vias de circulação podem ser classificadas como:

- 1) Vias Arteriais: vias exclusivas para tráfego motorizado, que se caracterizam por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. Geralmente, não existem o ofuscamento pelo tráfego oposto nem construções ao longo da via. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de

tráfego e viagens de longas distâncias, mas, ocasionalmente, pode servir de tráfego local.

- 2) Vias Coletoras: vias exclusivamente para tráfego motorizado que se caracterizam por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais.
- 3) Vias Especiais: acessos e/ou vias exclusivas de pedestres a jardins, praças, calçadas, etc.
- 4) Vias Irregulares: passagens criadas pelos moradores de largura, piso, declive e arruamento variáveis, que dão acesso a pedestres e, em raros casos, a veículos com traçado irregular, na maioria dos casos, determinado pelos usuários do local ou pelas próprias construções.
- 5) Vias de Ligação: ligações de centros urbanos e suburbanos, porém não pertencentes à classe das vias rurais. Geralmente, só têm importância para tráfego local.
- 6) Vias Locais: vias que permitem acesso às propriedades rurais com grande acesso e pequeno volume de tráfego.
- 7) Vias Normais: avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, onde há predominância de construções residenciais, trânsito de veículos (não tão intenso) e trânsito de pedestres.
- 8) Vias Principais: avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, onde há predominância de construções comerciais, assim como trânsito de pedestres e veículos.
- 9) Vias Rurais: vias mais conhecidas como estradas de rodagem e que nem sempre apresentam, exclusivamente, tráfego motorizado.
- 10) Vias Secundárias: avenidas e ruas com ou sem calçamento, onde há construções, e o trânsito de veículos e pedestres não é intenso.
- 11) Vias Urbanas: aquelas caracterizadas pela existência de construções às suas margens e a presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala.

As vias públicas a serem iluminadas são classificadas pela Norma, conforme sua natureza, em:

a. Classe A (vias rurais);

A1 – Vias arteriais;

A2 – Vias coletoras;

A3 – Vias locais;

b. Classe B (vias de ligação);

c. Classe C (vias urbanas);

C1 – Vias principais;

C2 – Vias normais;

C3 – Vias secundárias;

C4 – Vias irregulares;

d. Classe D (vias especiais);

A norma também classifica o nível de tráfego tanto de pedestres como de veículos nas vias públicas como é mostrado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Classificação para tráfego motorizado

Classificação	Volume de tráfego noturno^(A) de veículos por hora, em ambos os sentidos^(B), em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

(Fonte: NBR5101: 92)

^(A) Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h.

^(B) Valores para velocidades regulamentadas por lei.

Nota: Para vias com tráfego menor do que 150 veículos por hora, devem ser consideradas as exigências mínimas do grupo leve e, para vias com tráfego muito intenso, superior a 2400 veículos por hora, devem ser consideradas as exigências máximas do grupo de tráfego intenso.

Tabela 3 - Classificação para tráfego de pedestres

Classificação	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado
Sem (S)	Como nas vias de classe A1
Leve (L)	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais

(Fonte: NBR5101: 92)

A tabela 4 apresenta os valores mínimos estabelecidos pela norma da razão entre os valores mínimo e máximo encontrados de iluminância (E_{\min} / E_{\max}) para a variação desta entre dois pontos adjacentes quaisquer situados na pista de rolamento.

Tabela 4 - Razão de iluminância entre pontos adjacentes

Classificação do tráfego da via	Razão mínima entre iluminâncias de pontos adjacentes
Leve	0,40
Médio	0,50
Intenso	0,70

(Fonte: NBR5101: 92)

Sendo iluminância (E) a quantidade de luz irradiada por uma fonte que incide sobre uma superfície (no caso, o espaço público, ou seja, vias, praças, etc.) a certa distância dela. É expressa em [lux] que equivale a [lm/m^2].

O menor valor de E_{\min} permitido pela norma é de 1 lux.

A norma estabelece também os valores de iluminância média mínima ($E_{\text{med.}\min}$) e fator de uniformidade de iluminância mínimo (U_{\min}) em função do tipo de via e volume de tráfego:

- Vias Arteriais (A1):

$$E_{\text{med.}\min} = 20 \text{ lux.}$$

$$U_{\min} = 0,5.$$

- Vias Coletoras (A2):

$$E_{\text{méd.mín.}} = 20 \text{ lux.}$$

$$U_{\text{mín.}} = 0,3.$$

- Vias Locais (A3):

Tabela 5 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias locais

Classificação do tráfego		Veículo			
		L		M	
		$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$
P e d e s t r e	L	2	0,2	5	0,2
	M	5		10	
	I	10	0,2	14	0,2

(Fonte: NBR5101: 92)

- Vias de Ligação (B):

Tabela 6 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias de ligação

Classificação do tráfego		Veículo					
		L		M		I	
		$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$
P e d e s t r e	L	2	0,2	5	0,2	10	0,2
	M	5		10		14	
	I	10		14		17	0,25

(Fonte: NBR5101: 92)

- Vias principais (C1):

Tabela 7 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias principais

Classificação do tráfego		Veículo					
		L		M		I	
		$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$
P e d e s t r e	L	2	0,2	5	0,2	10	0,2
	M	5		8		12	0,2
	I	10		12		16	0,25

(Fonte: NBR5101: 92)

- Vias Normais (C2):

Tabela 8 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias normais

Classificação do tráfego		Veículo			
		L		M	
		$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$
P e d e s t r e	L	2	0,2	5	0,2
	M	5		8	
	I	8		10	

(Fonte: NBR5101: 92)

- Vias Secundárias (C3):

Tabela 9 - Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo em função do tráfego para vias secundárias

Classificação do tráfego		Veículo			
		L		M	
		$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd.mín.}}$ (lux)	$U_{\text{mín.}}$
P e d e s t r e	L	2	0,25	2	0,2
	M	4		5	

(Fonte: NBR5101: 92)

- Vias Irregulares (C4):

$$E_{\text{méd.mín.}} = 2 \text{ lux.}$$

$U_{\text{mín.}}$ não especificado.

- Vias Especiais (D):

$$E_{\text{méd.mín.}} = 10 \text{ lux.}$$

$$U_{\text{mín.}} = 0,2.$$

Sendo o fator de uniformidade da iluminância (U) dado pela expressão $U = \frac{E_{\text{mín.}}}{E_{\text{méd.}}}$,

onde $E_{\text{méd.}}$ é a iluminância média.

Para a inspeção detalhada da iluminação nas vias deve ser utilizada a malha de medições mostrada na figura 4.

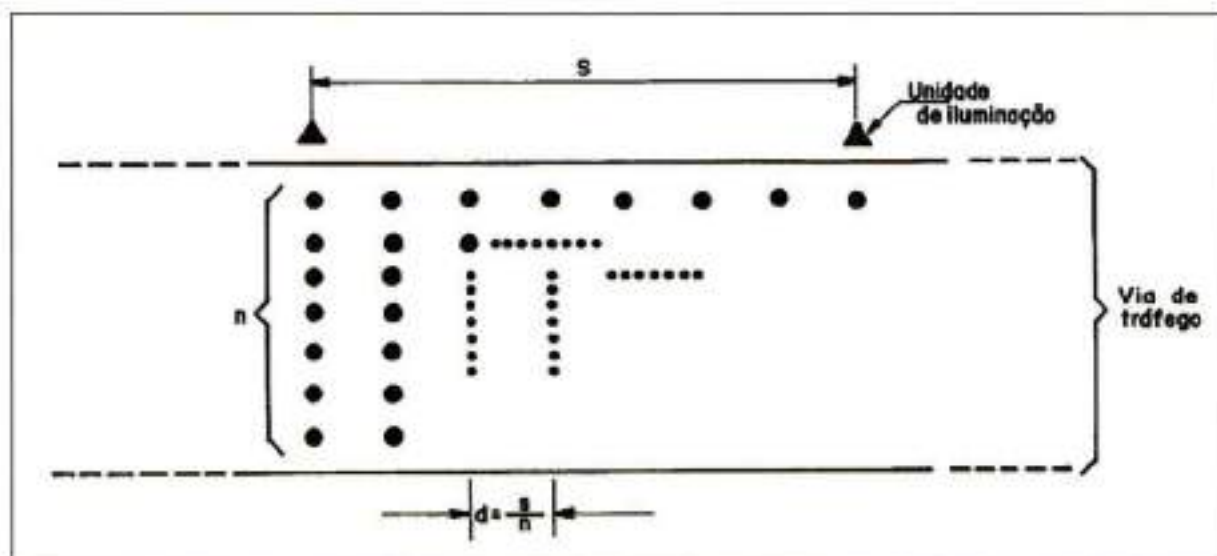


Figura 4 - Malha para inspeção detalhada

Sendo S o espaçamento entre as luminárias, n o número de pontos e d o espaçamento longitudinal entre pontos adjacentes de medição.

Para este procedimento, a norma estabelece que para a distância entre luminárias inferior ou igual a 50 metros, n deve ser igual a 10. Já para distâncias maiores, n deve ser o maior inteiro tal que d seja menor ou igual a 5, que é, neste caso, a distância limite entre filas transversais.

O método simplificado, utilizado para as verificações periódicas, diz que para o cálculo de E_{med} utiliza-se a malha de medições mostrada na figura 5.

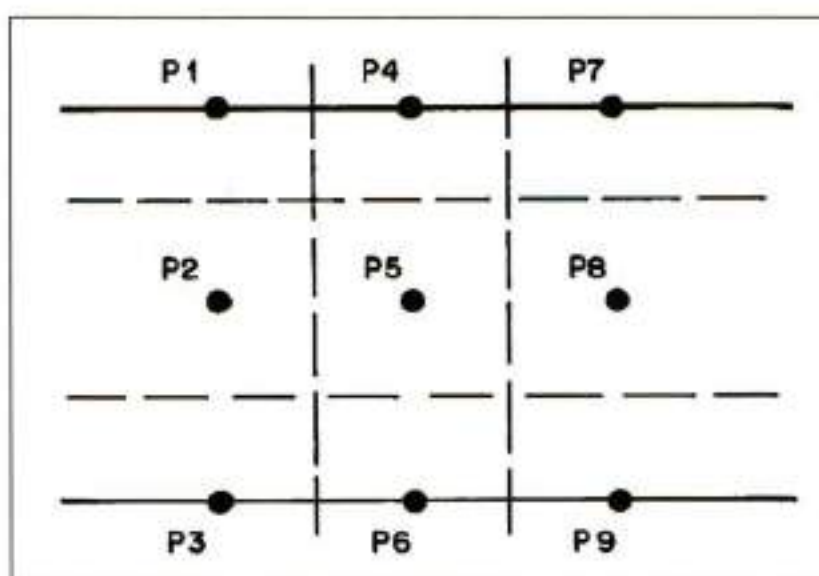


Figura 5 - Malha para verificações periódicas ou constatação de valores objeto do projeto de iluminação

O valor de E_{med} é dado pela expressão:

$$E_{med} = \frac{P1 + P3 + P7 + P9}{16} + \frac{P2 + P4 + P6 + P8}{8} + \frac{P5}{4}$$

As posições dos pontos de medição devem ser definidas em função de um referencial dado para que possam ser repetidas. Este método tem incerteza na medição da ordem de 10% em relação ao procedimento anterior de maior grau de acuidade.

$E_{med.mib}$ é o valor obtido pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas em plano horizontal sobre o nível do piso para as fontes luminosas já sazoadas, ou seja, que já tenham funcionado por 100 horas e luminárias novas.

3.2. Equipamentos Principais dos Sistemas de IP

Os equipamentos principais que compõem os sistemas de iluminação pública são listados abaixo:

- Pára-raios de linha.

Tem a função de proteger o circuito contra surtos de tensão normalmente de origem atmosférica ou chaveamento. É composto por um resistor não-linear que em baixas tensões apresenta um valor de resistência muito elevado, mas que ao se atingir o limite especificado de tensão, reduz drasticamente sua resistência, produzindo um curto-circuito entre fase e terra o que reduz o pico de tensão a jusante, ao evitar a passagem da onda, e também a montante, ao reduzir sua reflexão.

As perdas deste dispositivo em condições normais de operação são constituídas pelo desvio de pequena corrente à terra, da ordem de micro-ampères, e portanto desprezível.

- Reator para as lâmpadas de descarga.

Sua função é a de limitar a corrente elétrica fornecida à lâmpada. Atualmente é um componente muito importante para a iluminação eficiente e para garantir a vida útil das lâmpadas. Quando bem projetado e de alta durabilidade, contribui para uma menor frequência de manutenções no sistema e apresenta perdas reduzidas, aumentando a eficiência. No Brasil, os reatores dedicados às lâmpadas de vapor de sódio, que são amplamente utilizadas na iluminação pública, fazem parte do Programa de etiquetagem do PROCEL.

- Ignitor, no caso de lâmpadas de vapor de sódio ou multivapores metálicos.

Sua função é gerar um elevado pulso de tensão nos terminais da lâmpada para que os gases existentes no tubo de descarga sejam ionizados, permitindo assim, a circulação de corrente em seu interior.

- Capacitores.

É instalado juntamente aos reatores utilizados na iluminação pública com o objetivo de corrigir o fator de potência cujo valor mínimo estabelecido por norma é de 0,92.

- Relé fotoelétrico.

Tem a função de ligar e desligar a iluminação de acordo com o nível de luz presente no ambiente. Dessa maneira, é necessário que o relé fotoelétrico seja bem projetado e instalado para evitar desperdícios de energia e diminuir o índice de manutenção e troca. Quando não funciona adequadamente, mantém a lâmpada ligada desnecessariamente levando a um desgaste maior dos equipamentos em um horário em que a temperatura ambiente geralmente é maior. Percebe-se, portanto que o correto funcionamento do relé é imprescindível para a eficácia de qualquer ação de eficiência energética nessa área.

- Chave magnética.

Como a chave do relé fotoelétrico não tem capacidade de acionar diretamente o circuito de iluminação, utiliza-se a chave magnética para comando do circuito. Em geral, por medida de segurança, o dispositivo é construído de tal maneira que se houver uma falha no relé fotoelétrico, não haja desligamento da iluminação. Essa medida, porém, acarreta em maior consumo de energia, já que mantém a lâmpada acesa em momentos em que não é necessário. Por este motivo é que se pode observar a existência de luminárias acesas durante o dia.

- Braço de sustentação.

Sua função é dar sustentação ao conjunto luminária e lâmpada e tem papel importante na qualidade da iluminação cujo projeto deve levar em conta o avanço do braço na via e o ângulo de saída para evitar a poluição luminosa e o ofuscamento.

- Luminária.

É um dos elementos principais na iluminação pública cuja função é a de proteger a lâmpada contra as intempéries e a poeira e a de evitar o desperdício da luz direcionada para o céu. Assim, é indispensável que a luminária apresente um alto rendimento e tenha uma distribuição luminosa adequada para que a iluminação seja eficiente e para evitar a poluição luminosa.

- Lâmpada.

É o componente principal, ou seja, aquele que cumpre a função de iluminação propriamente dita. O projeto de iluminação pública deve levar em conta o fluxo luminoso, o índice de reprodução de cor (IRC), a temperatura de cor e a vida útil na escolha do tipo de lâmpada e sua potência para cada caso. Em iluminação pública costuma-se levar em conta também o conceito de vida mediana que está diretamente ligado à frequência de manutenções. A tabela 10 apresenta as principais lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública e suas especificações técnicas.

Tabela 10 - Principais tipos de lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública

Características	Tipos de lâmpadas				
	Vapor de Sódio Alta Pressão	Vapor de Mercúrio	Multivapores Metálicos	Mista	Incandescente
Potência (W)	70 150 250 400	80 125 250 400	70 150 250 400	160 250 500	100 150 200
Eficiência luminosa (lm/W)	80 a 150	45 a 58	72 a 80	19 a 27	13 a 17
Vida Mediana (horas)	18.000 a 32.000	9.000 a 15.000	8.000 a 12.000	8.000 a 12.000	1.000
Equipamento auxiliar	Reator e Ignitor	Reator	Reator e Ignitor	Nenhum	Nenhum
Reprodução de cor (%)	22 a 25	40 a 55	65 a 85	61 a 63	100
Temperatura de Cor Correlata (K)	1.900 a 2.100	3.350 a 4.300	3.000 a 6.000	3.400 a 4.100	2.700

(Fonte: SILVA, L. L. F.)

3.3. Tarifação e Faturamento

A tarifação e o faturamento na iluminação pública são regulamentados pela ANEEL. As tarifas aplicadas neste caso podem ser classificadas como monômias, ou seja, somente a energia ativa consumida é cobrada, não importando a demanda e não havendo distinção de horário de pico e fora de pico. Elas são classificadas em B4a, quando as instalações do sistema de iluminação pertencem ao Poder Público e B4b, quando o ponto de entrega é no bulbo da lâmpada, ou seja, as instalações pertencem à concessionária de energia. A diferença

entre as tarifas B4a e B4b fica em torno de 9% e com essa diferença a concessionária deve disponibilizar recursos para a prestação de serviço de iluminação às prefeituras.

Em relação ao faturamento diz a Resolução ANEEL n° 414/2010: *“No caso de fornecimento efetuado a partir de circuito exclusivo, a distribuidora deve instalar os respectivos equipamentos de medição, quando houver conveniência técnica ou solicitação do Poder Público”*.

“O tempo a ser considerado para consumo diário pode ser diferente do estabelecido no caput, após estudo realizado pelo consumidor e a distribuidora junto ao Observatório Nacional, devidamente aprovado pela ANEEL.”

“Caso sejam instalados equipamentos automáticos de controle de carga que comprovadamente reduzam o consumo de energia elétrica do sistema de Iluminação Pública, o concessionário deverá proceder à revisão da estimativa de consumo, levando em conta a redução proporcionada por tais equipamentos”.

“Para fins de faturamento, a energia elétrica consumida pelos equipamentos auxiliares de iluminação pública deve ser calculada com base nas normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em dados do fabricante dos equipamentos ou em ensaios realizados em laboratórios credenciados por órgão oficial, devendo as condições pactuadas constarem do contrato”.

A resolução estabelece que *“Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento”*. Percebe-se que, apesar de estabelecer uma base de 11 horas e 52 minutos diários para o cálculo do faturamento, salvo casos especiais, a norma permite a revisão desse valor em vista de um cálculo mais justo. Porém, descobrir o número de horas preciso para o faturamento e cálculo da tarifa justo é bastante complicado porque o tempo de funcionamento da iluminação depende do período do ano (sazonalidade), das condições climáticas, arborização e qualidade do relé fotoelétrico. Portanto, apesar da resolução estabelecer que tanto consumidores quanto concessionárias possam apresentar uma quantidade de horas para a computação da tarifa de tal forma que seja mais justa, esta se trata de uma verificação muito complicada de se fazer, pois depende de muitos fatores, alguns deles não controláveis, como por exemplo, as condições climáticas.

Capítulo 4 – A Tecnologia dos Diodos Emissores de Luz (LEDs)

Os diodos emissores de luz (LEDs) são componentes eletrônicos de estado sólido compostos por materiais semicondutores que convertem energia elétrica em radiação luminosa. Os LEDs são formados pela junção de dois cristais semicondutores dopados com materiais diferentes de tal forma que um fique com elétrons em excesso e o outro com lacunas em excesso. Ao fluir uma corrente pelo componente, os elétrons livres ocupam as lacunas disponíveis liberando energia na forma de radiação luminosa.

Segundo PIMENTA, o primeiro registro oficial da descoberta da tecnologia LED foi feita na edição de fevereiro de 1907 da *Electrical World* pelo pesquisador inglês Henry Joseph Round. A partir daí, vários cientistas passaram a fazer experiências com diferentes materiais eletroluminescentes, porém, até os anos 1950, não havia resultados práticos que justificassem sua utilização como fontes de luz alternativas. Nos anos 1960, surgiu o primeiro LED comercial de luz vermelha usado como lâmpada de indicação de equipamentos em geral. Nos anos 1970, viu-se o surgimento de LEDs com radiação de luz diferente do vermelho, por exemplo, amarelo. Na década de 1980, surgiram os primeiros LEDs de potência com níveis de iluminação dez vezes maior que os predecessores. No início da década de 1990, apareceram os primeiros LEDs de luz azul a partir dos quais foi possível a criação de LEDs de luz branca, utilizando chips recobertos com material fosforescentes, assim como é feito nas lâmpadas fluorescentes convencionais.

A figura 6 mostra os detalhes de arquitetura de dois módulos diferentes de LED. A arquitetura (a) é mais utilizada para lâmpadas LED indicadoras em aplicações eletrônicas. Já a arquitetura (b) é a encontrada em LEDs de alta potência utilizados, por exemplo, para a iluminação de vias, que é o objeto de interesse desse trabalho. Esta arquitetura é composta pelo cátodo e o ânodo, o chip de GaInN construído sobre uma placa de alumínio ou cobre, que pode ser soldado em uma placa de circuito impresso para melhorar a dissipação do calor, um chip de silício para proteger o chip de GaInN de descargas eletrostáticas e uma cápsula de silicone cuja função é direcionar as ondas emitidas para as lentes de plástico que difundirão a luz para o meio externo.

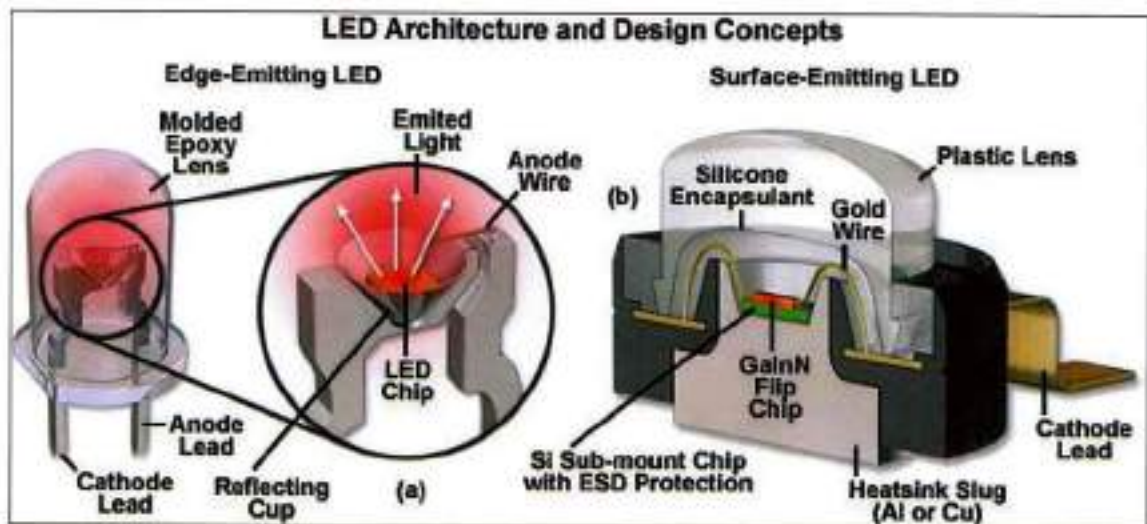


Figura 6 - Arquitetura de módulos de LED

Os módulos a LED utilizados em iluminação pública são compostos pela combinação de vários módulos de LED mostrado na figura 6(b), dispostos em série ou paralelo dependendo da tensão e corrente de alimentação.

O diodo emissor de luz orgânico (OLED) é um diodo emissor de luz, porém é composto por materiais orgânicos ou polímeros no lugar dos materiais semicondutores. A estrutura do OLED é mostrada na figura 7.

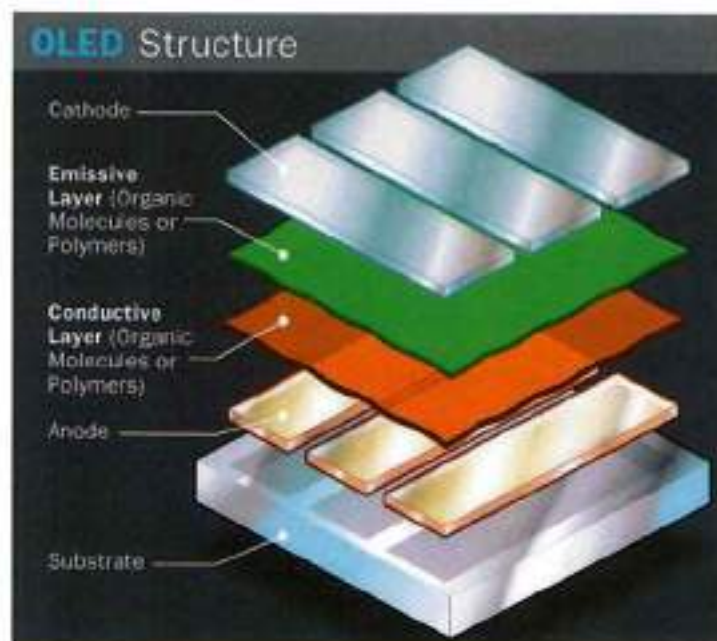


Figura 7 - Estrutura de um OLED

Como pode ser visto na figura 7, o OLED é composto por cinco elementos: o substrato que tem a função de suportar fisicamente o componente; o ânodo que remove elétrons com a

passagem de corrente; a camada orgânica condutiva que transporta as lacunas formadas no ânodo; a camada orgânica emissiva cuja função é a de transportar os elétrons do cátodo e onde a radiação luminosa é emitida; o cátodo que injeta elétrons no componente com a passagem de corrente. Atualmente há OLEDs com três camadas de material orgânico. Além das duas camadas já citadas, há uma terceira que auxilia o transporte de elétrons do cátodo à camada emissiva.

A figura 8 apresenta os componentes básicos de uma luminária a LED voltada para iluminação pública.

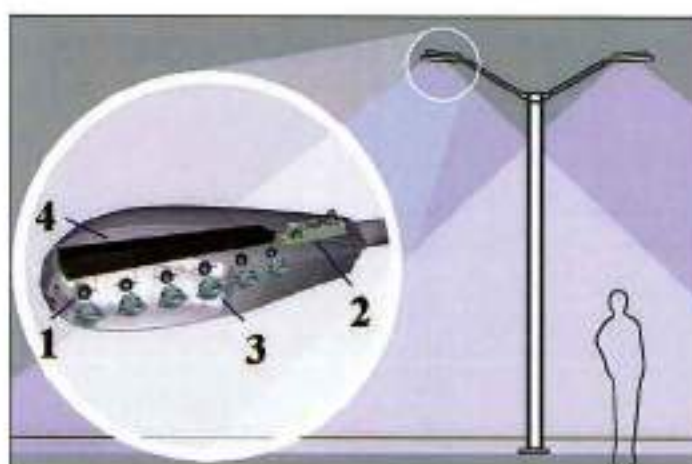


Figura 8 - Componentes de uma luminária a LED

1) Módulos LED

Geralmente são utilizados diversos módulos LED (de 20 a mais de 200 em função do fluxo luminoso desejado) dispostos em fileiras de LEDs em série e as fileiras em paralelo, dependendo da tensão e corrente de alimentação.

2) Fonte de alimentação (Driver)

Equipamento que converte a tensão alternada da rede e fornece, em sua saída, tensão contínua de alimentação dos LEDs. Além disso, ele também fornece proteção contra sobretensões e controle da corrente de operação.

3) Lente ou Colimador

Tem a função de fazer o direcionamento da luz provinda do módulo LED. Ele pode concentrar o feixe luminoso em uma determinada direção ou distribuir o fluxo luminoso para que a iluminação fique mais uniforme.

4) Dissipador de Calor

Componente importante para o bom funcionamento da luminária a LED, tem a tarefa de retirar e transferir para o ambiente o calor gerado pela operação dos LEDs. É essencial a escolha do dissipador adequado para a luminária, pois o fluxo luminoso diminui com a elevação de temperatura.

4.1. Estado Atual da Tecnologia

Antes de utilização restrita como indicadores em equipamentos, atualmente os LEDs possuem uma larga gama de utilização. Eles são usados na sinalização de semáforos, iluminação de interiores, telas de aparelhos, decoração e mais recentemente na iluminação de telas LCD de televisores, os chamados televisores LED, e na iluminação pública de vias.

De acordo com ERICSON, a produção dos LEDs não tem interferência e não traz prejuízos ao meio ambiente. Além disso, outras vantagens do LED são que não há emissão de radiação infravermelha nem ultravioleta durante seu funcionamento, o que diminui a atração de insetos, e seu descarte não precisa de tratamento ou cuidados especiais, já que não contém mercúrio, que é um metal tóxico ao ser humano, e assim pode ser considerado lixo comum. A tabela 10 mostra a quantidade de mercúrio encontrado em lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública.

Tabela 10 - Quantidade de mercúrio nas lâmpadas convencionais de iluminação pública

LÂMPADAS USADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA (Fonte: ABILUX, 2001)			
Lâmpadas contendo mercúrio	Variação de potências	Quantidade média de mercúrio	Variação das médias de mercúrio por potência
Mista	160 W a 500 W	0,017 g	0,011 g a 0,045 g
Vapor de Mercúrio	80 W a 1000 W	0,032 g	0,013 g a 0,080 g
Vapor de Sódio	70 W a 1000 W	0,019 g	0,015 g a 0,030 g
Vapor Metálico	35 W a 2000 W	0,045 g	0,010 g a 0,170 g

As barreiras para a utilização dos LEDs nas aplicações mais recentes são o alto custo de aquisição já que as descobertas que possibilitaram as novas aplicações são bastante recentes e o volume de produção ainda é pequeno, a falta de informações referentes ao uso da tecnologia e a insuficiência de normas para a avaliação desses componentes.

A existência de normas para avaliar o funcionamento da tecnologia LED é indispensável para aumentar a aceitação do mercado e assim diminuir os custos de produção. Elas permitem a comparação entre produtos de diferentes fabricantes e a inspeção e verificação dos produtos pelos órgãos reguladores.

Assim, a partir de 2006 começaram a surgir as primeiras normas internacionais relativas à tecnologia LED. Em 2008, nos Estados Unidos, através dos comitês da *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), da *American National Standards Institute* (ANSI) e da *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) foram publicados três importantes normas: ANSI C78.377, IESNA LM-79 e IESNA LM-80. A primeira define oito faixas de classificação de temperatura de cor correlata para LEDs de cor branca, similar às existentes para lâmpadas fluorescentes compactas. A segunda estabelece os métodos para determinar o fluxo luminoso de luminárias a LED e lâmpadas LED integradas que operem com tensão de linha ou com fonte CC. A norma não cobre equipamentos que requerem um circuito externo para operar. A última estabelece os métodos para avaliar o decréscimo do fluxo luminoso no tempo de lâmpadas LED sem levar em conta a luminária. Outras normas ainda estão em desenvolvimento e devem ser publicadas nos próximos anos. No Brasil, ainda não há normas relativas às lâmpadas LED, porém devido ao rápido aumento da demanda no mercado nacional, o Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Telecomunicações e Iluminação (Cobei), em parceria com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux), deu início a trabalhos de tradução de normas internacionais para LEDs, a fim de publicar uma norma nacional até o final de 2010 [22].

O Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) publicou em fevereiro de 2010, um estudo no qual se verifica o estado da tecnologia de estado sólido para iluminação e as tendências tanto para LEDs como OLEDs com estimativas de evolução dos aspectos técnicos e de custo dessas tecnologias até 2030. A tabela 11 mostra dados obtidos para o LED de cor branca de duas características distintas obtidas em 2009 nesse estudo.

Tabela 11 - Dados obtidos em 2009 para módulos de LEDs de cor branca

LED Branco Frio	
Temperatura de Cor (K)	4748 - 7040
IRC	70 - 80
Eficiência luminosa (lm/W)	113
Preço (US\$/klm)	25
LED Branco Quente	
Temperatura de Cor (K)	2580 - 3710
IRC	80 -90
Eficiência luminosa (lm/W)	70
Preço (US\$/klm)	36

As medidas obtidas foram feitas com temperatura ambiente de 25°C, uma densidade de corrente injetada de 35 A/cm² e vida útil do módulo de aproximadamente 50.000 horas assumindo que a lâmpada mantenha 70% do fluxo luminoso.

Em laboratório, os resultados obtidos são promissores. No final de novembro de 2007, a LED Lighting Fixtures Inc. anunciou que seu protótipo de luminária a LED testado em regime permanente pela *National Institute of Standards and Technology* (NIST) em Washington D.C. alcançou a eficiência luminosa de 113,6 lm/W. A lâmpada produziu 659 lúmens com uma potência de 5,8 Watts e emissão de luz branca quente (2760 K) com índice de reprodução de cores alto, de 91,2.

Em julho de 2008 a Osram anunciou que havia alcançado a eficiência luminosa de 136 lm/W para LEDs de cor branca. Os chips utilizados tinham 1 mm², a 350 mA sob condições padrão. A temperatura de cor correlata medida foi de 5000 K.

Já no começo de 2010, a fabricante de LEDs, Cree anunciou que alcançou a marca de 186 lm/W de eficiência luminosa para um LED de cor branca. O fluxo luminoso medido foi de 197 lm, a temperatura de cor correlata obtida foi de 4577 K e corrente de 350 mA em temperatura ambiente. O índice de reprodução de cor não foi medido. O chip utilizado tinha 2 mm². É importante saber as dimensões do chip utilizado, pois para uma mesma corrente, um chip maior apresenta densidade de corrente menor levando a melhores resultados.

A mesma fabricante Cree anunciou em fevereiro de 2010, ter ultrapassado a marca de 200 lm/W para um LED de cor branca em seu programa de Pesquisa e Desenvolvimento. O LED produziu 208 lm com temperatura de cor correlata de 4579 K. Os testes foram conduzidos sob condições padrão de teste de LEDs, com corrente de 350 mA em temperatura ambiente.

Com relação à aplicação específica em iluminação pública, uma fabricante chinesa, a Ningbo Liaoyuan Lighting Co., demonstrou, também no início de 2010, um conjunto de luminária e lâmpada para iluminação de vias com potência de 150 W e eficiência luminosa de 98,3 lm/W.

Para o OLED os resultados obtidos em pesquisas também são bastante promissores. Em março de 2008, a Osram construiu um painel de 100 cm² com eficiência luminosa de 46 lm/W, luminância de 1000 cd/m², IRC de 80 e vida útil estimada em 5.000 horas. Em maio de 2009, os pesquisadores da *Technical University of Dresden* e Novaled AG alcançaram 90 lm/W com luminância de 1000 cd/m² em um painel de luz branca.

Atualmente o mercado de OLEDs está focado no desenvolvimento de mostradores de equipamentos eletrônicos, por exemplo, celulares, televisores e computadores. Apesar de se cogitar o uso de OLEDs na iluminação em geral, incluindo-se a externa, ainda não há notícias de testes com luminárias de OLEDs para este uso final. Isso porque ainda não se conseguiu combinar uma alta luminância e eficiência luminosa com elevada vida útil. Dessa maneira, a tecnologia ainda não é atrativa para esse fim.

A tabela 12 mostra a comparação entre as tecnologias LED e OLED e os outros tipos de lâmpadas em suas características luminotécnicas e vida útil.

Tabela 12 - Comparação entre LED e OLED e outros tipos de lâmpadas

Tipo de Lâmpada	Efic. Luminosa (lm/W)	Vida Útil (h)	IRC	Temperatura de Cor (K)
Incandescente	15	1.000	100	2700
Mista	25	8.000	100	3500
Multi-vapor Metálico	80	10.000	80 - 89	3000 - 5900
Vapor de Mercúrio	50	15.000	40 - 59	4000
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	100	8.000	20 - 39	2000
Vapor de Sódio de Alta Pressão	130	28.000	20 - 39	2000
LED Branco de Alta Potência	100	50.000	Variável	Variável
LED Branco de Baixa Potência	150	50.000	Variável	Variável
OLED Branco	40	50.000	Variável	Variável

A fabricante Philips demonstra em [25] algumas vantagens no uso de luminárias a LED na iluminação pública. Para isso ela montou uma luminária com 50 LEDs de cor branca

fria (6500 K) da sua linha LUXEON Rebel instaladas em fileiras em diversos ângulos para atingir a área coberta desejada como pode ser visto na figura 9.



Figura 9 - Luminária a LED apresentada pela Philips para iluminação de vias

Nesse artigo foram descritos os resultados obtidos com lâmpadas de cor branca fria operadas com corrente de 350 mA, porém é possível utilizar lâmpadas de cor branca com outras temperaturas de cor correlata e operadas com correntes maiores de até 1000 mA. É necessário frisar que nesses casos os resultados obtidos não seriam iguais.

A tabela 13 mostra uma comparação entre essa solução e as convencionais utilizadas em sistemas de iluminação pública.

Tabela 13 - Comparação da luminária LED e as convencionais para iluminação de vias

	LUXEON Rebel	Sódio de Alta Pressão	Vapor de Mercúrio
Fluxo (lm)	3325	5510	4340
Potência nominal (W)	67	90	138
Eficiência luminosa (lm/W)	50	61	31
Iluminância média (lux)	14	19	14
Fator de uniformidade	0,4	0,32	0,23
Vida útil (horas)	60.000	20.000 – 30.000	6.000 – 10.000

(Fonte: PHILIPS).

As distribuições de iluminância (curvas isolux) para as luminárias a LED e a vapor de mercúrio são mostradas nas figuras 10 e 11 respectivamente.

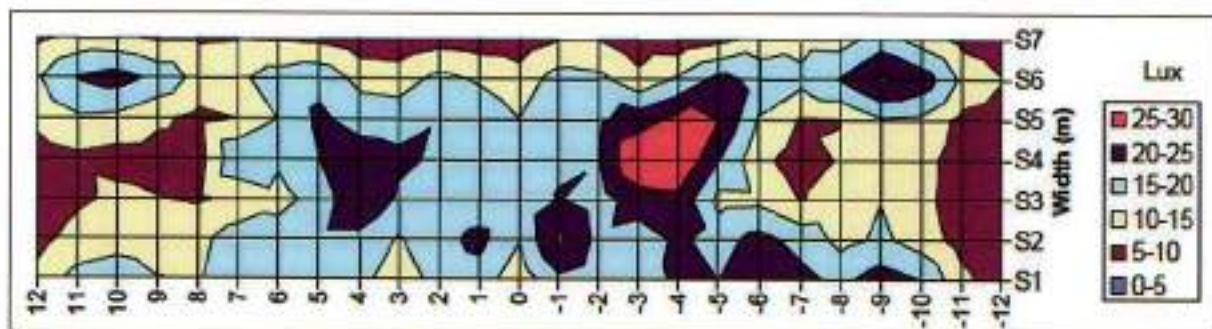


Figura 10 - Distribuição de iluminância para a luminária a LED

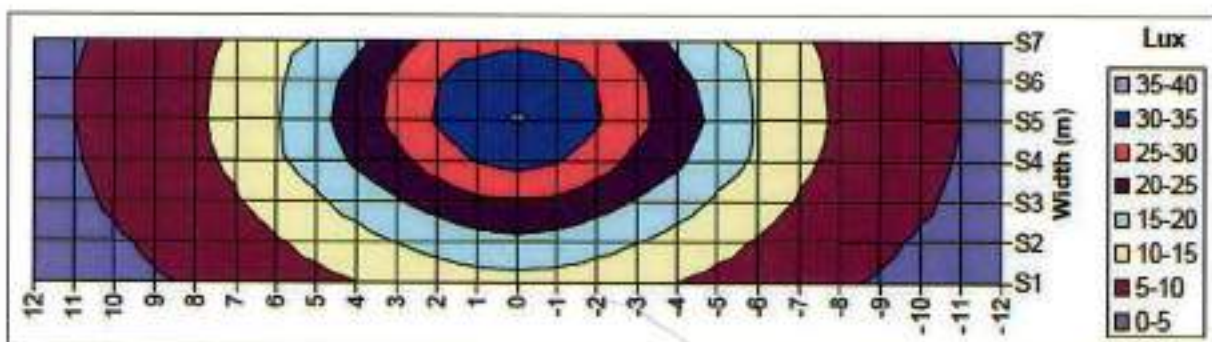


Figura 11 - Distribuição de iluminância para o vapor de mercúrio

Percebe-se pelas curvas isolux que para a iluminação com vapor de mercúrio a região logo abaixo da luminária possui um alto valor de iluminância que diminui à medida que se distancia da fonte de luz. Portanto, há pouca uniformidade nessa iluminação. Já com o LED a distribuição da iluminância é mais uniforme. Ela diminui à medida que se distancia da fonte da luz, porém na mesma superfície analisada não há áreas com iluminância na faixa de 0 a 5 lux como ocorre com o vapor de mercúrio. Isso se verifica observando-se o valor do fator de uniformidade, o qual é maior no caso do LED. Apesar de não haver as curvas isolux para o vapor de sódio de alta pressão, pelo valor dessa relação tem-se que a uniformidade para iluminação a LED é maior que com o vapor de sódio. A uniformidade da iluminação é um elemento muito importante para o conforto visual de pedestres e motoristas nas vias e por isso é um dos fatores principais da norma brasileira de iluminação pública.

Outra pesquisa realizada em 2008 no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná [28] fez alguns ensaios comparando alguns modelos de luminárias a LED e uma luminária com lâmpada de sódio de 70 W muito utilizada em vias públicas de baixo tráfego.

As luminárias foram fixadas em uma esfera integradora, em seguida foram energizadas e após 15 minutos, tempo necessário para que as lâmpadas atinjam o máximo fluxo luminoso, os resultados obtidos nos instrumentos de medição foram analisados. Os

instrumentos utilizados foram um fotômetro, um medidor de iluminância e temperatura de cor e um analisador de potência. Eles são mostrados nas figuras 12 e 13.



Figura 12 - Esfera integradora utilizada nos ensaios

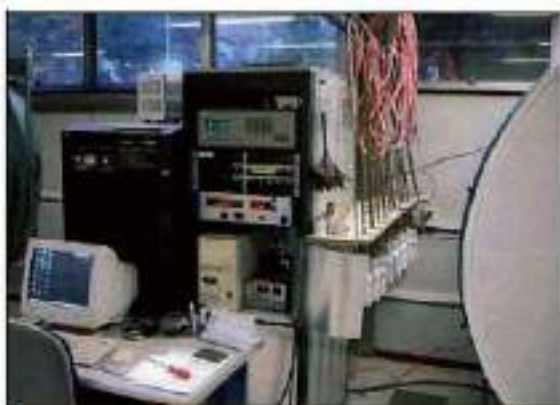


Figura 13 - Instrumentos de coleta de dados

- Luminária com lâmpada de vapor de sódio de 70 W:



Figura 14 - Luminária de vapor de sódio de 70 W

Tabela 11 - Dados obtidos referentes à lâmpada de vapor de sódio

Modelo	Vapor Sódio 70 + Reator 14
Potência (W)	84
Fluxo Luminoso (lm)	3.500
Eficiência Luminosa (lm/w)	42
Vida Mediana (h)	24.000
Temperatura de Cor (K)	1.900

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.)

Observação: apesar de o ensaio ter medido um fluxo luminoso de 3500 lm, o fluxo luminoso apresentado no catálogo do fabricante da lâmpada é de 6000 lm. A divergência se deve provavelmente à baixa eficiência do refletor da luminária e pode estar relacionada a sua vida útil (tempo em horas em que há redução de 25% do fluxo luminoso da lâmpada).

- Luminária HB-LED protótipo:

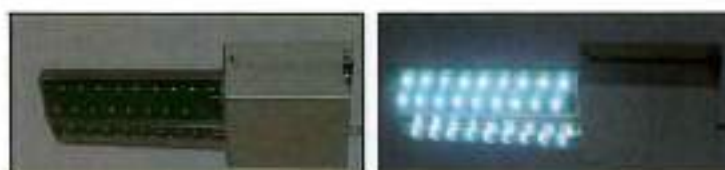


Figura 15 - Luminária HB-LED ensaiada

Tabela 12 - Dados obtidos referentes à luminária HB-LED protótipo

Modelo	HB-LED Protótipo
Potência (W)	39,8
Fluxo Luminoso (lm)	612
Eficiência Luminosa (lm/w)	15,4
Vida Mediana (h)	50.000
Temperatura de Cor (K)	5.126

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.)

O fluxo luminoso obtido ficou muito aquém do obtido na luminária com lâmpada de vapor de sódio e do valor recomendável para esse tipo de ambiente de 4000 lm.

- Luminária a LED LU2:

Essa luminária foi desenvolvida pela fabricante chinesa Bang Bell Eletronics (BBE) para substituir diretamente uma luminária com lâmpada de vapor de sódio de 70W ou de vapor de mercúrio e é mostrada na figura 16.



Figura 16 - Luminária a LED LU2

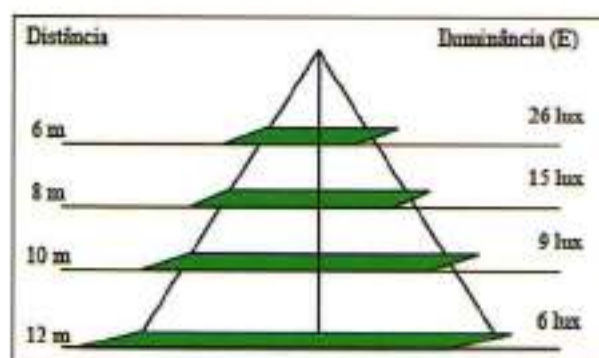


Figura 17 - Iluminância da luminária a LED LU2

Pode-se verificar que essa luminária é capaz de iluminar a uma altura de até 12 metros, já que a iluminância é maior que o mínimo estabelecido pela norma para vias com tráfego leve ou médio. É claro que se deve verificar também a uniformidade da iluminação que é o outro critério importante da norma.

Tabela 13 - Dados do fabricante para a luminária LU2

Modelo	HB-LED LU2
Potência (W)	66
Fluxo Luminoso (lm)	4.200
Eficiência Luminosa (lm/w)	63,6
Vida Mediana (h)	50.000
ICR	>75
Temperatura de Cor (K)	3.000 ~ 7.000

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.)

- Luminária a LED SL-75W:

A luminária é fabricada pela Leotek Eletronics Co. e o valor de 75W no nome do modelo indica a potência de lâmpada de vapor de sódio que ela pode substituir. Ela pode ser vista na figura 18.



Figura 18 - Luminária a LED Leotek SL-75W

Tabela 14 - Dados do fabricante para a luminária SL-75W

Modelo	HB-LED SL-75W
Potência (W)	48
Fluxo Luminoso (lm)	3.200
Eficiência Luminosa (lm/w)	66,7
Vida Mediana (h)	50.000
Temperatura de Cor (K)	5.500

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.).

- Luminária a LED SSTL-05:

Luminária produzida por outra fabricante chinesa, a Shenzhen, tem uma aparência mais próxima das luminárias comuns com lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. Ela é mostrada na figura 19.



Figura 19 - Luminária a LED SSTL-05

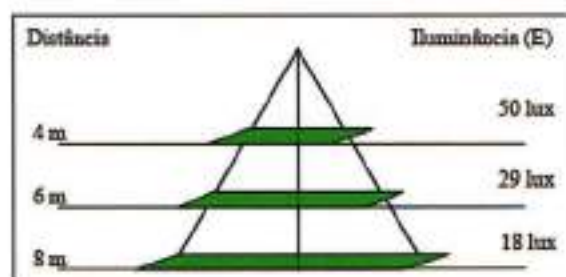


Figura 20 - Iluminância da luminária SSSL-05

Tabela 15 - Dados do fabricante referentes à luminária SSSL-05

Modelo	HB-LED SSSL-05
Potência (W)	50
Fluxo Luminoso (lm)	3.000
Eficiência Luminosa (lm/w)	60,0
Vida Mediana (h)	50.000
Temperatura de Cor (K)	5.000

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.).

A tabela 16 faz a comparação dos resultados obtidos através das medições e dos dados fornecidos pelo fabricante para as luminárias a LED e a de vapor de sódio. É importante salientar que como algumas das luminárias não foram medidas, seus valores fornecidos podem não condizer com os que seriam obtidos na prática, portanto a comparação deve ser vista com ressalvas. Além disso, como os ensaios só consideraram o fluxo máximo das luminárias, não foi levada em conta uma possível diminuição do fluxo para operação contínua assim como isso também não foi especificado pelos fabricantes, o que dificulta a utilização desses equipamentos.

Tabela 16 - Comparação entre as luminárias

Dados Técnicos	VS 70W	HB-LED Protótipo	BBE LU2	Leotek SL-75W	Shenzhen SSSL-05
Potência (W)	84	39,8	66	48	50
Fluxo Luminoso (lm)	3.500	612	4.200	3.200	3.000
Eficiência (lm/W)	42	15,4	63,6	66,7	60
Vida Mediana (horas)	24.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Temp. Cor (K)	1900	5.126	3.000 7.000	5.500	5.000

(Fonte: NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R.).

Observa-se na comparação apresentada na tabela 16 que a luminária a LED LU2 da BBE pode substituir sem prejuízo no fluxo luminoso a luminária a vapor de sódio de 70W com uma demanda e conseqüentemente consumo aproximadamente 20% menor. Mesmo que a luminária a vapor de sódio consiga produzir seu fluxo nominal de 6000 lm, a eficiência luminosa dessas duas luminárias fica bastante próxima de 71 lm/W para VS e 63,6 lm/W para a LU2. As luminárias da Leotek e da Shenzhen apresentam um menor fluxo luminoso, mas podem substituir a luminária de vapor de sódio em vias com tráfego leve e altura de postes de até uns 10 ou 12 metros dependendo do caso.

Por fim, é preciso salientar que já existem no mercado luminárias com fluxo luminoso comparável ao das luminárias com lâmpada de vapor de sódio compostas por mais de 150 LEDs e fluxo inicial maior que 15000 lúmens, que são adequadas à substituição das lâmpadas de maior potência.

4.1.1 Possíveis Problemas com LEDs

- Discrepância entre os valores de iluminância divulgados pelos fabricantes e os relatados pelos usuários.

Devido à grande predominância dos fabricantes nesse mercado, com pouca atuação de pesquisas independentes e normas de avaliação dos LEDs, há o surgimento de uma barreira para a adoção dessa tecnologia. Como o objetivo das fabricantes é valorizar dados de seus produtos que a mostrem superior às concorrentes, surgem grandes diferenças entre os dados divulgados e os verificados na aplicação prática desses produtos. Isso ocorre porque na maioria das vezes os valores publicados são os obtidos em laboratório, que por ser um ambiente controlado, não traduz todos os fatores da operação contínua. Além disso, gera, com razão, certa desconfiança o fato dos dados serem divulgados pelas fabricantes sem certificação de um órgão isento e sem a revelação dos métodos utilizados, pois o objetivo é esconder informações que possam ser úteis aos concorrentes.

- Problemas de saúde e danos à retina causados por radiações de baixo comprimento de onda.

Estudos indicam que a intensa exposição a radiações de luz de baixo comprimento de onda (faixa entre a cor violeta e azul do espectro visível) pode causar danos à retina e este dano é mil vezes maior que para altos comprimentos de onda [37]. Além disso, já foi observado que para baixos níveis de iluminação, os LEDs de cor azul possuem um brilho muito intenso e incomodam o observador de tal maneira que podem causar irritação, mal-estar e até problemas no sono. Isso ocorre porque em baixos níveis de iluminação, há a predominância da curva escotópica na visão humana (Anexo 03) na qual a faixa de radiação predominante é a de baixos comprimentos de onda.

Como a radiação de luz branca pode ficar próxima à faixa de radiação da cor azul, é necessário verificar se a iluminação de locais públicos através de luminárias a LED pode trazer riscos aos usuários.

- Alta queda de fluxo luminoso em relação ao inicial após algum tempo de operação.

Esse decaimento está ligado à influência da temperatura de junção do LED no seu rendimento. Em operação contínua, uma parte da energia elétrica transferida ao LED é transformada em luz e outra perdida em forma de calor. Esse calor gera uma elevação da temperatura no componente eletrônico e, se não for dissipado apropriadamente, leva à queda do rendimento (menor fluxo luminoso) e à diminuição da vida útil podendo fazer com que ele pare de funcionar completamente.

- Mudança na cor da luz emitida pelo LED ao longo de seu tempo de operação.

Esse problema também está relacionado à temperatura de junção no componente eletrônico e sua estratégia de dissipação de energia na forma de calor. Foram relatadas mudanças na cor da luz emitida por LEDs tanto de baixa como alta potência.

Em [27] o *Rensselaer Polytechnic Institute* nos Estados Unidos avaliou o desempenho a longo prazo de modelos de LEDs brancos de alta potência de três

diferentes fabricantes disponíveis no mercado em relação à manutenção do fluxo luminoso e cor da luz emitida.

Os pesquisadores desconsideraram as primeiras mil horas de operação e, para três temperaturas diferentes de operação, mediram o fluxo luminoso e a cromaticidade da luz emitida durante cinco mil horas de operação. Os valores de fluxo foram colocados em porcentagem do fluxo após as primeiras 1000 horas de operação.

Os fabricantes e os modelos de LED utilizados não foram especificados. Cada um deles foi designado por A, B e C. Os resultados obtidos para cada um deles são mostrados nas figuras 21, 22 e 23.

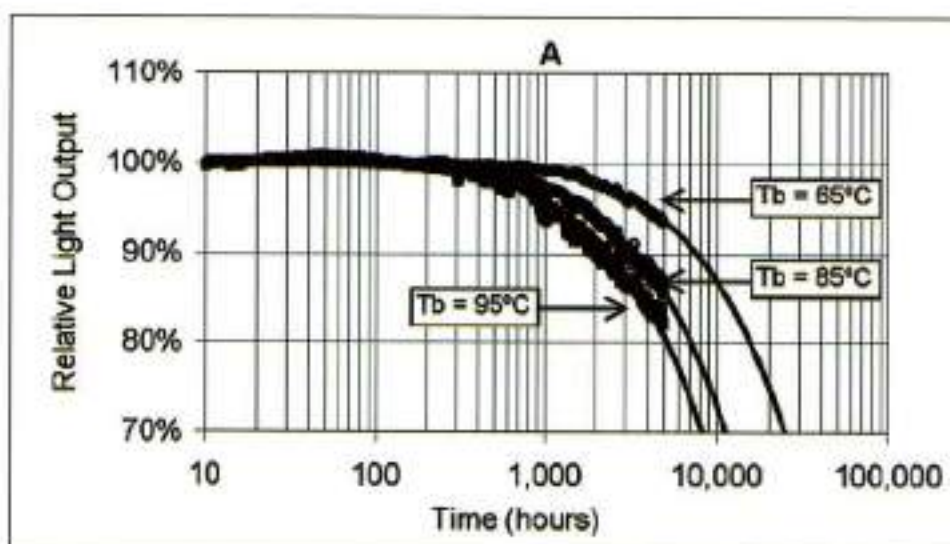


Figura 21 - Fluxo luminoso para a fabricante A

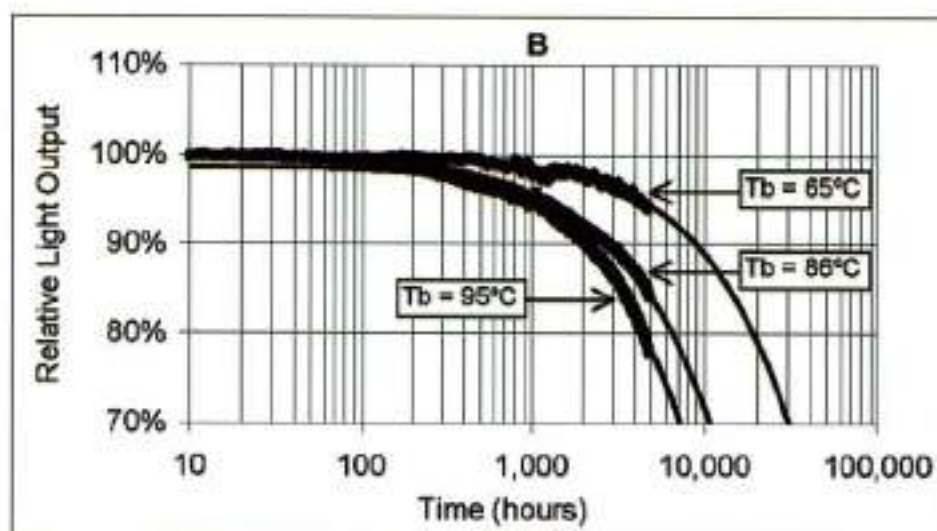


Figura 22 - Fluxo luminoso para a fabricante B

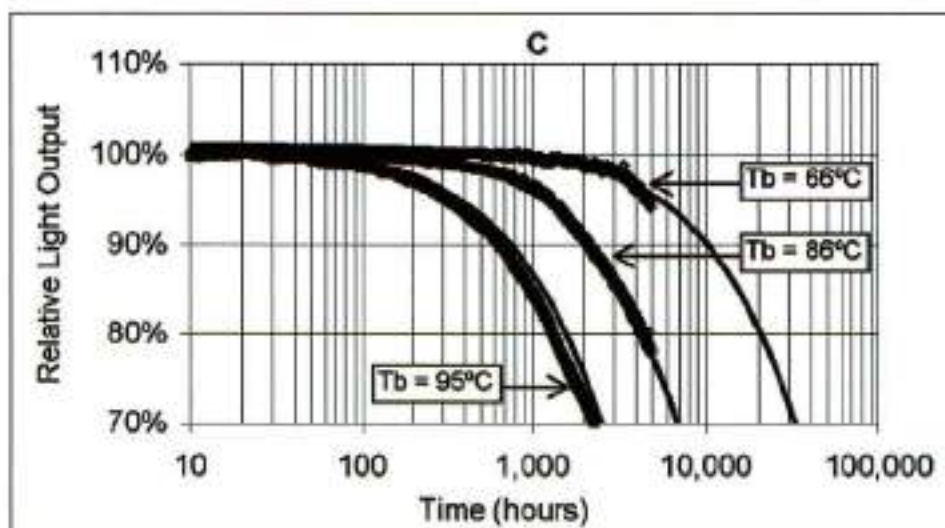


Figura 23 - Fluxo luminoso para a fabricante C

Onde T_b é a temperatura na placa de circuito na qual o LED está fixo. Para estabelecer a vida útil do LED para cada temperatura, foram feitas interpolações dos pontos medidos e depois estas foram extrapoladas até o ponto em que o fluxo atingia 70% do fluxo de referência. O conceito utilizado nesse caso é o estabelecido pela *Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST)* que determina que a vida útil de um dispositivo de iluminação a LED é o tempo no qual o fluxo luminoso decai a 70% do fluxo inicial e denominado de L70.

A figura 24 apresenta a curva da vida útil desses três modelos de LEDs em função da temperatura na placa T_b . Pode-se observar que o decaimento da vida útil do LED é aproximadamente exponencial com a temperatura.

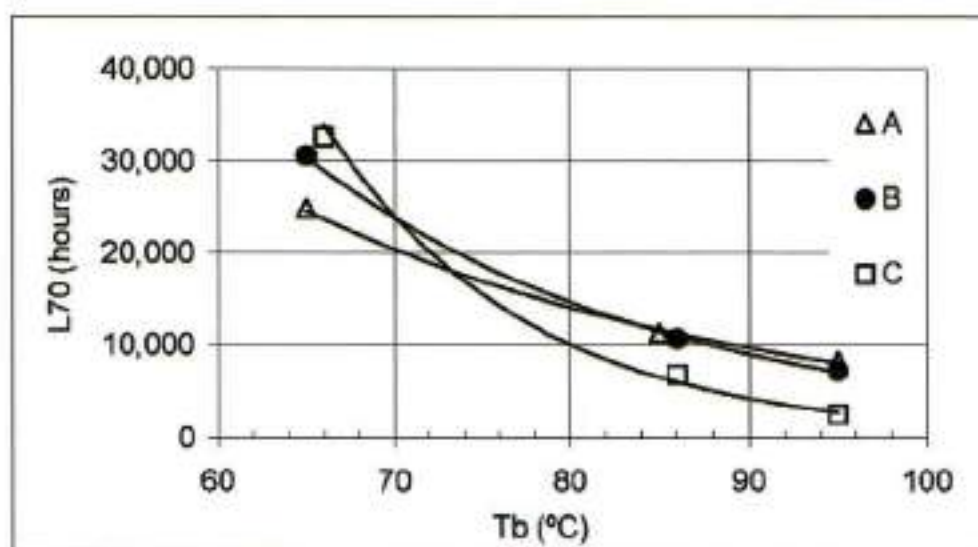


Figura 24 - Gráfico de L70 em função da temperatura na placa

Portanto, como a temperatura de junção influencia significativamente na vida útil e esta depende principalmente da temperatura ambiente na qual o componente irá operar e das condições de ventilação e dissipação do calor, é muito importante avaliar esses dois fatores no projeto de iluminação para garantir que o componente dure o tempo que se espera dele. Num projeto de eficiência energética esse fator ganha ainda mais importância, pois um projeto que desconsidere esses fatores pode acarretar no prolongamento do tempo de retorno de investimento e até em prejuízo.

Num segundo momento, os pesquisadores avaliaram a mudança na cor da radiação emitida para esses mesmos modelos nas três temperaturas de operação. A cromaticidade dos LEDs no início da operação e ao fim das 6000 horas de ensaio foram apresentadas através de coordenadas do diagrama de cromaticidade do *International Commission on Illumination* (CIE) (Anexo 01) e as mudanças na cromaticidade foram avaliadas através dos números de passos das elipses de MacAdam (Anexo 02). Os resultados obtidos para cada fabricante são exibidos nas tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante A

		A		
		65°C	85°C	95°C
Start	CIE x	0.2854	0.2853	0.2895
	CIE y	0.2917	0.2928	0.2930
End	CIE x	0.2950	0.3077	0.3224
	CIE y	0.3095	0.3294	0.3468
Color shift		11-step	23-step	32-step

(Fonte: NARENDRAN, N. et al.).

Tabela 18 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante B

		B		
		65°C	86°C	95°C
Start	CIE x	0.3123	0.3125	0.3136
	CIE y	0.3395	0.3410	0.3371
End	CIE x	0.2923	0.3119	0.3051
	CIE y	0.2993	0.3348	0.3164
Color shift		21-step	4-step	11-step

(Fonte: NARENDRAN, N. et al.).

Tabela 19 - Valores de cromaticidade para o LED do fabricante C

		C		
		66°C	86°C	95°C
Start	CIE x	0.3144	0.3240	0.3169
	CIE y	0.3260	0.3400	0.3267
End	CIE x	0.3103	0.3170	0.3030
	CIE y	0.3204	0.3233	0.2974
Color shift		3-step	8-step	15-step

(Fonte: NARENDRAN, N. et al.).

A norma ANSI recomenda que os fabricantes de lâmpadas fiquem no limite de quatro passos, porém pode-se perceber que somente em duas ocasiões esse limite foi respeitado: o LED B operando com temperatura de placa em 86°C e o LED C, em 66°C. Considerando que para três passos 99,44% da população geral percebe uma mudança em relação à cor original, conclui-se que em todos os casos analisados há uma mudança na cor da luz emitida pelos LEDs. Em alguns casos essa mudança foi bastante significativa ultrapassando 20 ou até 30 passos das elipses de MacAdam.

4.2. Futuro da Tecnologia de Lâmpadas a LED

No mesmo estudo citado anteriormente encomendado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) encontram-se algumas projeções relativas à evolução dos parâmetros técnicos, sendo o principal deles a eficiência luminosa (lm/W), e à redução dos custos de aquisição das lâmpadas. Esse estudo foi feito em conjunto com a *Next Generation Lighting Industry Alliance* (NGLIA), a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), vários laboratórios e pesquisadores e apresenta as expectativas para a tecnologia de 2010 até 2030. Para as curvas apresentadas não se considerou a competição entre equipamentos a LED e OLED, portanto as estimativas de economia de energia foram feitas separadamente para cada tecnologia.

O estudo considerou quatro faixas de índice de reprodução de cores: baixo (menor que 40), médio (entre 40 e 75), alto (entre 76 e 90) e muito alto (maior que 90). A figura 25 mostra as projeções de evolução da eficiência luminosa para o LED e a figura 26, para o OLED.

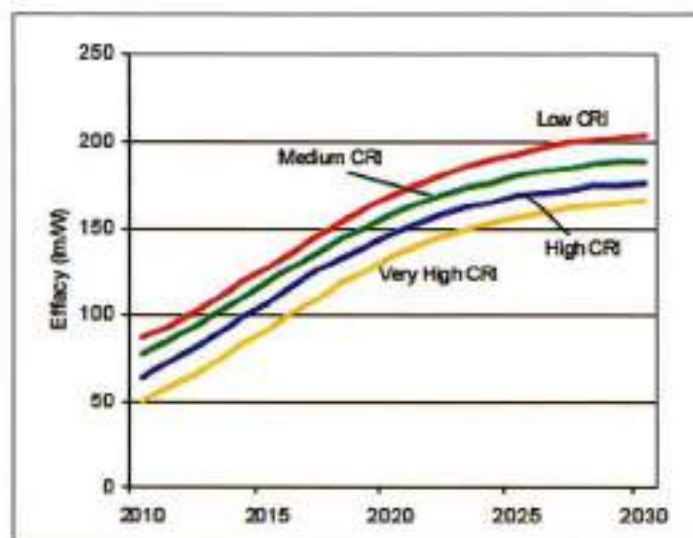


Figura 25 - Projeções para a eficiência luminosa de LEDs

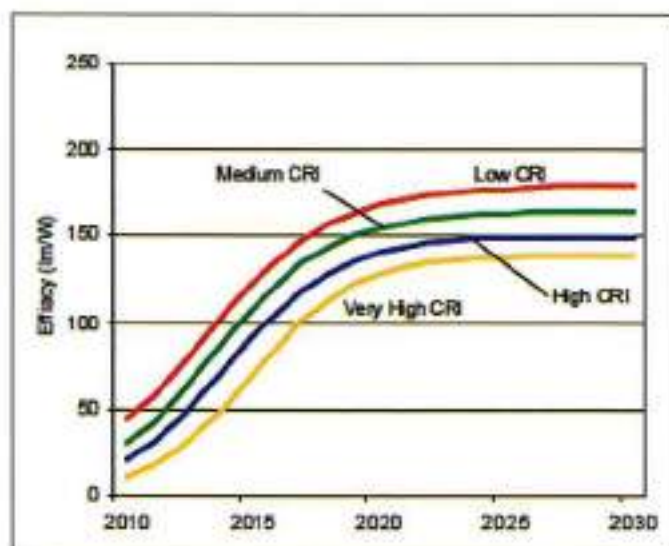


Figura 26 - Projeções para a eficiência luminosa de OLEDs

Percebe-se que por ser uma tecnologia mais recente, os OLEDs tem um desempenho pior que o dos LEDs. Além disso, espera-se que a máximo desempenho dos OLEDs seja menor que o dos LEDs de uma mesma faixa de classificação. Acredita-se que o desenvolvimento para as faixas de alto índice de reprodução de cores será mais difícil e por isso, menor que o esperado para LEDs com baixo índice de reprodução de cores, ou seja, com menor qualidade de iluminação.

Além disso, pode-se observar pela figura 25 que em menos de 5 anos a eficiência energética dos LEDs de menor IRC tendem a se igualar ou até superar a eficiência das

lâmpadas de vapor de sódio de alta potência, cujo valor fica entre 100 e 130 lm/W. Já para os LEDs com alto IRC essa faixa de eficiência deve ser atingida em menos de 10 anos.

As figuras 27 e 28 mostram as previsões para o custo (em \$/klm) dessas duas tecnologias. As curvas foram plotadas em escala monologarítmica devido à diferença em escala entre 2010 e 2030.

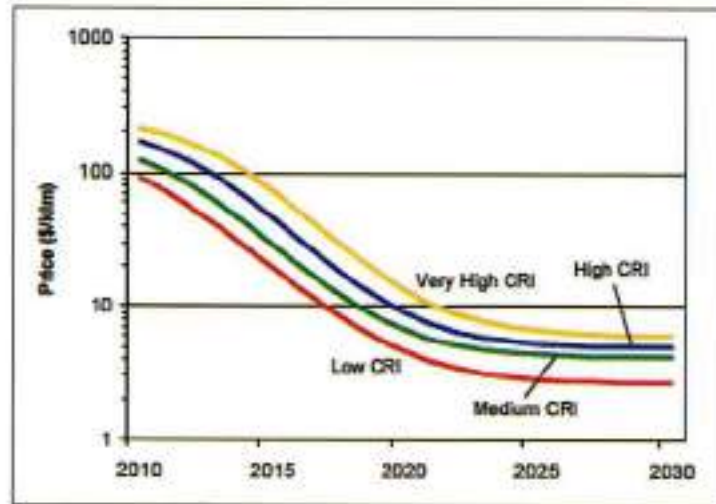


Figura 27 - Projeção de preços para o LED

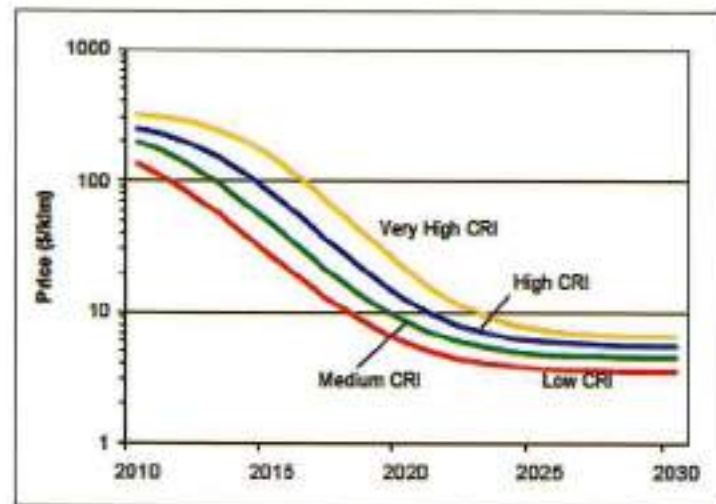


Figura 28 - Projeção de preços para o OLED

Observando-se as curvas de previsão dos custos por klm apresentados, percebe-se que o custo para o LED com baixo IRC cairá para aproximadamente 30% do atual em aproximadamente 5 anos e para o LED com alto IRC esse período será de aproximadamente 8 anos. Isso significa que o preço dos LEDs para iluminação pública estará competitivo em relação ao das luminárias a vapor de sódio em menos de 10 anos, sendo possível que este

tempo fique menor com o crescimento dos projetos com luminárias a LED (aumento da escala de produção) devido a incentivos fiscais e à conscientização e valorização do uso eficiente da energia.

Por fim, as figuras 29 e 30 mostram as expectativas para a vida útil (em milhares de horas) das lâmpadas para cada uma dessas tecnologias.

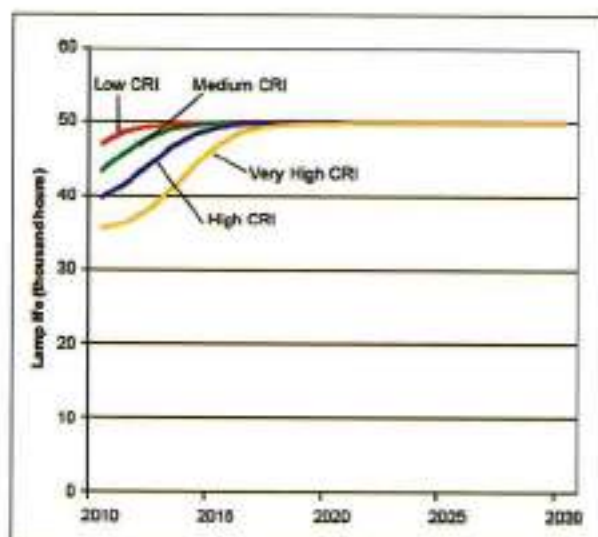


Figura 29 - Projeções para a vida útil das lâmpadas a LED

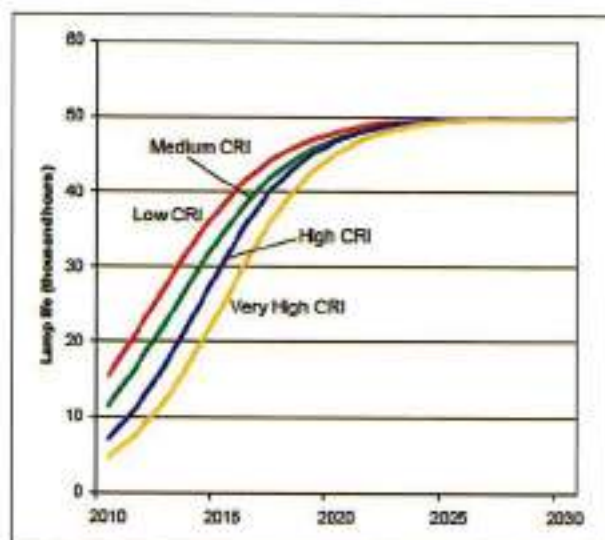


Figura 30 - Projeções para a vida útil das lâmpadas a OLED

Acredita-se que em longo prazo os OLEDs alcançarão a mesma vida útil de 50.000 horas assim como os LEDs como é mostrado nas figuras 29 e 30. Todas as previsões são para produtos comercializados no mercado, portanto é possível que resultados melhores sejam obtidos em laboratório onde as condições de operação em regime não são levadas em conta.

Apesar do DOE prever uma vida útil máxima de 50 mil horas para os LEDs, já existem produtos no mercado com vida útil estabelecida pelos fabricantes superior ao previsto chegando até a 70 mil horas.

4.3. Experiências com LED em Iluminação Pública no Brasil e no Mundo

- Ponte I-35W – Minneapolis, Estados Unidos (2008 - 2009).

Após o colapso e queda da antiga ponte I-35W que cruzava o rio Mississippi em agosto de 2007, o Departamento de transportes de Minnesota (Mn/DOT) planejou a construção de uma nova ponte para substituí-la. No projeto dessa nova ponte foi determinado que a iluminação da rodovia no trecho da ponte seria feita com luminárias a LED. Os trechos antes e após a ponte seriam iluminados com luminárias de vapor de sódio que é o padrão dos projetos de iluminação pública.

Dessa maneira, foram instaladas, em setembro de 2008, dezesseis luminárias a LED do Tipo V com 200 LEDs no total e um fluxo nominal total de 16500 lúmens em postes espaçados de 45 metros aproximadamente (150 feet) distribuídos por todo o trecho. Além disso, foram instaladas quatro luminárias a LED do tipo III com 240 LEDs no total e fluxo de 19000 lúmens sendo duas em cada extremidade desse trecho da ponte. Para o estudo econômico e o impacto da implantação da tecnologia a LED, as medições de potência e consumo de energia foram comparadas à de luminárias a vapor de sódio de 250W comuns nesse tipo de via.

Uma das grandes preocupações durante o projeto foi a manutenção do fluxo luminoso ao longo do tempo pelas luminárias a LED. Por isso, periodicamente, serão feitas vistorias para checar a manutenção da qualidade de iluminação da via.

Tabela 20 - Luminárias utilizadas no projeto

Quantidade	Distribuição	Luminária	Potência da luminária (W)	Potência total (W)
20	Tipo III	Vapor de Sódio 250W	291	-
Demanda de iluminação na ponte (VS)				5814
4	Tipo III	LED - 12 Vetores	289	1156
16	Tipo V	LED - 10 Vetores	244	3904
Demanda de iluminação na ponte (LED)				5060

Tabela 21 - Horas de operação e consumo total para as luminárias

	Horas de operação anual	Consumo anual (kWh)	Energia economizada
Vapor de sódio	4380 (12 horas/dia)	25465	-
LED	4380 (12 horas/dia)	22163	13%

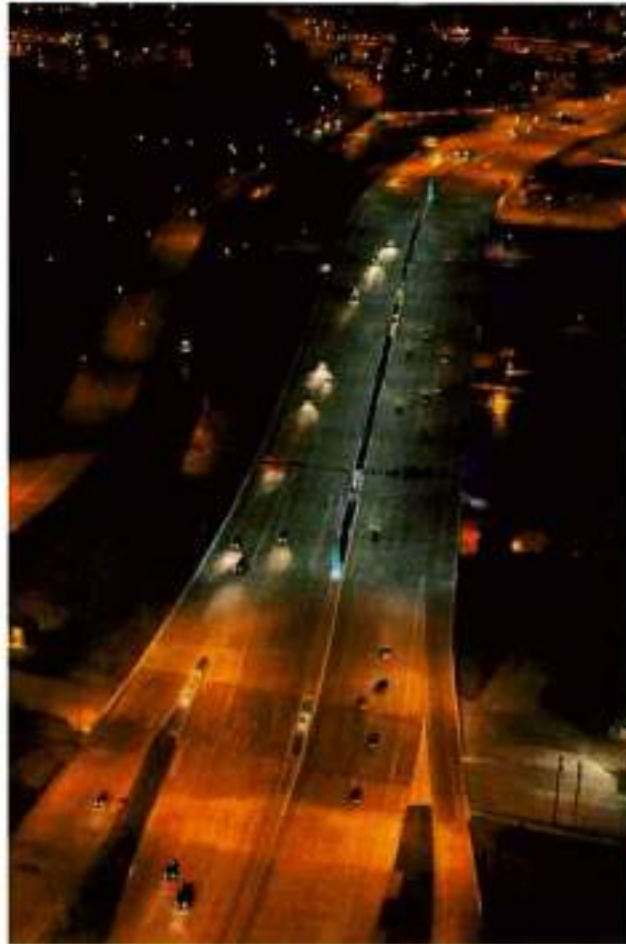


Figura 31 - Visão aérea da ponte I-35W

A figura 31 mostra a visão aérea da ponte durante a noite. É possível observar bem que somente o trecho da ponte foi iluminado com LEDs já que se trata de um projeto de caráter experimental com o objetivo de avaliar o funcionamento dessa tecnologia. A luz nesse trecho é de cor branca bastante contrastante com a luz amarelada dos trechos antes e após a ponte que são iluminadas com lâmpadas de vapor de sódio.

A tabela 22 apresenta os custos de aquisição em dólares para cada luminária considerada no cálculo. A luminária a LED tem um custo quase 6 vezes maior que a de vapor de sódio.

Tabela 22 - Custo de aquisição das luminárias

Produto	Custo por unidade (US\$)	Quantidade	Custo total (US\$)
Vapor de sódio 250W	440	20	8800
LED Tipo V	2250	16	36000
LED Tipo III	2500	4	10000

Como a vida útil das luminárias depende também dos esforços mecânicos (ventos, vibrações, etc.) aos quais elas estão submetidas, a necessidade de trocá-las pode ocorrer antes da vida útil estabelecida pelo fabricante. A tabela 23 mostra o tempo de retorno de investimento em função do tempo do ciclo de troca das luminárias de vapor de sódio.

Tabela 23 – Tempo de retorno em função do tempo de troca das luminárias de vapor de sódio

Ciclo de troca (anos)	5	4	3	2	1
Economia anual com as trocas (US\$)	549,00	686,25	915,00	1372,50	2745,00
Economia anual de energia (US\$)	180,67	180,67	180,67	180,67	180,67
Economia anual total (US\$)	729,67	866,92	1095,67	1553,17	2925,67
Payback simples (anos)	55,1	46,4	36,7	25,9	13,7

(Fonte: DOE²⁹, 2009. Obs. A tarifa de energia usada no cálculo foi de US\$0,0674/ kWh aplicada na iluminação pública).

Pode-se observar que mesmo não se considerando a taxa de atualização de capital, o tempo de retorno é bastante elevado sendo o menor deles de quase 14 anos se for necessário substituir as luminárias uma vez por ano. Para um ciclo de substituição de 5 anos que é o esperado, o tempo de retorno ultrapassa 50 anos, o que torna o investimento completamente inviável.

Por outro lado, os resultados do questionário *online* aplicado aos motoristas relativo à qualidade da iluminação com as luminárias a LED foram bastante positivos. Entre eles, mais de 70% dos entrevistados respondeu que a iluminação na ponte melhorava a habilidade de ver a rodovia e os objetos nela. Além disso, pouco mais de 50% dos entrevistados declarou que a nova iluminação provocava menor ofuscamento. Quase 40% deles afirmaram que o ofuscamento era igual ou praticamente igual ao enfrentado nos demais trechos. Mais de 70% dos usuários responderam que se sentiram seguros ao dirigir na ponte. Quase 80% dos entrevistados recomendariam esse tipo de iluminação em outros locais.

Portanto, apesar de trazer melhorias na qualidade de iluminação da via de um modo geral, o alto custo dessa tecnologia (quase 6 vezes maior que a convencional), comparado ao

valor de energia economizada, inviabiliza atualmente a adoção das luminárias a LED em novos projetos ou substituição de luminárias já existentes.

- Ruas residenciais de Lija Loop – Portland, Estados Unidos (2008 – 2009).

Em outubro de 2008, as luminárias a vapor de sódio de alta pressão empregadas na iluminação das ruas da região de Lija Loop foram substituídas por luminárias a LED de menor consumo. A região possui oito luminárias com espaçamento entre elas de 38 a 45 metros aproximadamente (125 a 150 pés). A figura 32 mostra a vista aérea da região e a figura 33 apresenta as luminárias a LED em operação.



Figura 32 - Vista aérea da região de Lija Loop



Figura 33 - Luminária a LED em Lija Loop

Tabela 24 - Comparação entre as luminárias

Características	Luminárias	
	Vapor de sódio	LED
Potência do conjunto (W)	120	53
Fluxo inicial da lâmpada (lm)	9500	3780
TCC (K)	2100	5210
IRC	22	68
Eficiência do conjunto (%)	71	100
Eficiência luminosa (lm/W)	56	71

(Fonte: DOE³⁰, 2009)

A tabela 24 traz uma comparação entre a luminária de vapor de sódio existente e a de LED escolhida para substituí-la. Pode-se notar que apesar da eficiência luminosa da luminária a LED ser maior, considerando-se a eficiência do conjunto em 100%, que não é real, seu fluxo inicial é muito menor. O consumo da luminária a LED é 55% menor, porém o fluxo luminoso inicial é aproximadamente 60% menor, o que pode impossibilitar a utilização dessas luminárias já que as iluminâncias média e mínima, ou iluminâncias dependendo da norma, podem ficar abaixo dos valores estabelecidos.

Tabela 25 - Valores medidos de iluminância

Iluminâncias	Luminárias	
	Vapor de sódio	LED
Máxima (lux)	23,68	5,38
Mínima (lux)	2,15	1,08
Média (lux)	8,61	3,23
Máx/Mín	9,8	5,4
Média/Mín	3,4	2,8
Desvio Padrão (lux)	6,46	1,08

(Fonte: DOE³⁰, 2009)

Tabela 26 - Valores de PBS para diferentes cenários

Cenário	Payback Simples (anos)
Retrofit	20,1
Nova instalação	7,6

Percebe-se que nesse caso, mesmo para uma nova instalação, o tempo de retorno do investimento fica relativamente elevado chegando a quase 8 anos. Para uma substituição de

luminárias existentes e em funcionamento, esse tempo ultrapassa 20 anos. Considerando o aspecto econômico a adoção da tecnologia LED é completamente inviável. Se for levado em conta o aspecto técnico, o LED também pode ser inviável já que o fluxo luminoso produzido para que haja uma redução da energia consumida fica muito abaixo da tecnologia convencional.

Apesar disso, os resultados da avaliação da iluminação com as novas lâmpadas através de um questionário respondido pelos residentes foram positivos. Mais de 80% dos moradores afirmaram que a nova iluminação aumentava a capacidade de enxergar a via e os objetos nela. Mais de 60% deles responderam que as luminárias a LED criavam um menor ofuscamento que as luminárias convencionais e aproximadamente 75% deles colocaram que havia menos áreas escuras no chão que em outras ruas com iluminação padrão. Por fim, mais de 70% das pessoas disseram que se sentiam seguras ao trafegar pela via com a iluminação nova seja a pé ou de carro e recomendariam a aplicação dessa nova iluminação em outras localidades.

- Cidade de Raleigh, Carolina do Norte – Estados Unidos (2008 – 2009).

Em outubro de 2008, foram substituídas nove luminárias com lâmpadas de vapor de sódio, sendo duas com potência de 200 W e sete com potência de 250 W, por nove luminárias a LED de potência nominal de 167 W em uma rua na região central da cidade utilizando os postes já existentes e sem mudança na altura de instalação das luminárias. As figuras 34 e 35 mostram a iluminação dessa rua com iluminação convencional e a LED, respectivamente.



Figura 34 - Rua com iluminação convencional



Figura 35 - Rua com iluminação a LED

Os resultados técnicos observados foram a redução de 51% na iluminância em alguns pontos da rua, redução de 8% na iluminância em alguns pontos das calçadas, redução de 43% na iluminância média considerando a rua inteira, redução em 42% da energia consumida e maior uniformidade na iluminação.

As luminárias são compostas por 60 LEDs com corrente de 700 mA. Seu custo (US\$ 485) é aproximadamente sete vezes maior que o da luminária a vapor de sódio (US\$ 70). Outras observações incluem a melhora da visibilidade para os usuários, nenhum problema relatado após um ano de operação e a maior leveza e facilidade na instalação das luminárias a LED.

- Europa

A partir de maio de 2008 foram instaladas em dez países europeus, incluindo Bélgica, Portugal e Alemanha, 65 protótipos de luminárias a LED compostas por 96 LEDs distribuídas em duas asas a uma altura de oito metros.

Os dados nominais da luminária são mostrados na tabela 27.

Tabela 27 - Dados da luminária instalada

TCC (K)	3200
Eficiência luminosa (lm/W)	66,67
IRC	80
Potência da luminária (W)	115,2

Os resultados observados foram uma melhor avaliação da iluminação pelos usuários nos locais de instalação quando comparada à iluminação convencional e devido a essa maior acuidade visual, o aumento da sensação de segurança.

- Cidade de Palhoça, Santa Catarina – Brasil.

Devido ao alto consumo de energia em iluminação pública, começou-se a estudar, a partir de setembro de 2009, a possibilidade de substituir a iluminação a vapor de sódio pela tecnologia LED no bairro-cidade universitária Pedra Branca. A substituição foi iniciada em março de 2010 e inaugurada em junho do mesmo ano. Em princípio, foram substituídas 75 luminárias distribuídas em 16 quilômetros de ruas. A tabela 28 mostra a comparação entre o sistema convencional e o novo a LED.

Tabela 28 - Comparação entre os sistemas de iluminação

Características dos sistemas de iluminação		
Resultados	Vapor de sódio	LED
Potência de cada luminária	250 W	73 W
Potência total	27 kW	6 kW
Distância entre postes	15 metros	20 metros
Altura dos postes	8 metros	5 metros
Iluminância média	-	23 lux
Uniformidade	-	0,35

Com a diminuição da altura de instalação das luminárias foi possível aumentar o espaçamento entre os postes sem perder qualidade de iluminação. Os resultados obtidos de iluminância média e uniformidade satisfazem até mesmo os valores requisitados pela norma brasileira para iluminação de vias com tráfego intenso de veículos e pedestres.

- Rua Avanhadava, Bairro República, São Paulo – Brasil.

A Secretaria de Serviços, por meio do Departamento de Iluminação Pública (Ilume) remodelou a iluminação pública da rua Avanhadava utilizando luminárias a LED. As luminárias antigas de vapor de sódio de 250 W foram substituídas por 15 luminárias a LED com potência de 149 W.

O Ilume irá aferir, junto aos frequentadores do local, uma pesquisa sobre a eficiência e a qualidade da nova iluminação.

Além dos casos apresentados neste trabalho, há relatos de projetos de iluminação de vias com luminárias a LED em diversos países do mundo como Canadá, México, China e outros países europeus.

Capítulo 5 – Comparação da Iluminação com Luminárias a Vapor de Sódio e a LED

5.1. Metodologia e Objetivo

Na primeira parte deste capítulo, através de um software de cálculo luminotécnico (DIALux), foram realizadas simulações para avaliar os níveis de iluminação de alguns tipos de via com luminárias a LED e compará-los à iluminação convencional com luminárias a vapor de sódio.

Para isso, foram consideradas duas situações bastante distintas: a primeira foi a iluminação de uma via urbana de baixo tráfego de pedestres e veículos, por exemplo, uma rua localizada em um bairro residencial e a segunda foi a iluminação de uma via urbana com tráfego intenso de pedestres e veículos como uma rua ou avenida comercial da cidade. Além disso, foram fixadas algumas distâncias entre postes e para cada uma, calculou-se a configuração que apresentava os melhores resultados de iluminância média e uniformidade conforme a norma brasileira de iluminação pública.

Os dados utilizados na otimização através do DIALux estão resumidos nas tabelas 29 e 30.

Tabela 29 - Dados da otimização para uma via urbana de baixo tráfego

Dados da Otimização - Via de Baixo Tráfego					
Dados da via		Dados fixos		Otimização	
Largura das calçadas (m)	2	$E_{med\ min}$ (lux)	2	Altura de instalação (m)	6 a 15 - Passo de 1 m
Nº de faixas	2	Uniformidade	0,2	Avenço do ponto de luz (m)	0 a 2 - Passo de 0,5 m
Largura da via (m)	7	Fator de manutenção	0,7	Ângulo de saída (°)	0 a 15 - Passo de 5°
Distância do poste à via (m)	0,5	Arranjo das luminárias	Unilateral		

Tabela 30 - Dados da otimização para uma via urbana de tráfego intenso

Dados da Otimização - Via de Tráfego Intenso					
Dados da via		Dados fixos		Otimização	
Largura das calçadas (m)	4	$E_{med\ min}$ (lux)	16	Altura de instalação (m)	5 a 20 - Passo de 1 m
Nº de faixas	4	Uniformidade	0,25	Avanço do ponto de luz (m)	0 a 2 - Passo de 0,5 m
Largura da via (m)	12	Fator de manutenção	0,7	Ângulo de saída (°)	0 a 15 - Passo de 5°
Distância do poste à via (m)	0,5	Arranjo das luminárias	Alternado e Oposto		

As figuras 36, 37 e 38 apresentam os arranjos de luminárias considerados neste trabalho e utilizados como dados de entrada na otimização de acordo com as tabelas 29 e 30. A figura 39 traz a ilustração de um ponto de luz padrão com a representação dos parâmetros citados nas tabelas 29 e 30.

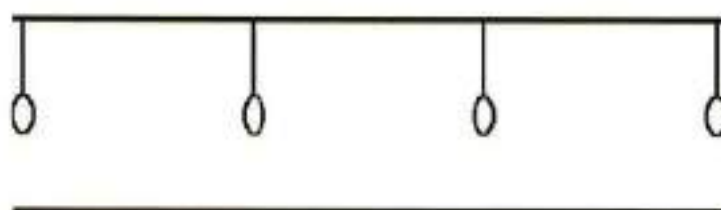


Figura 36 - Arranjo unilateral

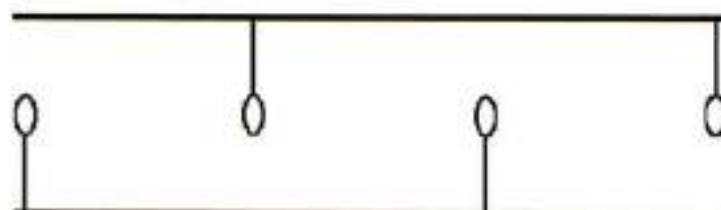


Figura 37 - Arranjo alternado

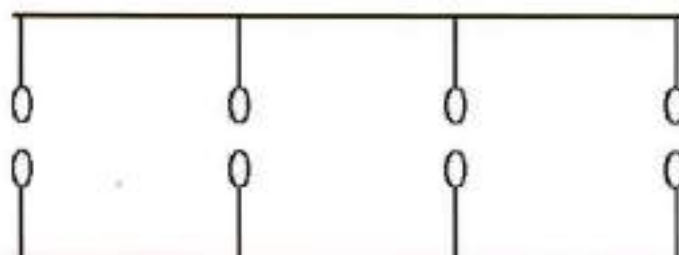


Figura 38 - Arranjo frontal (oposto)

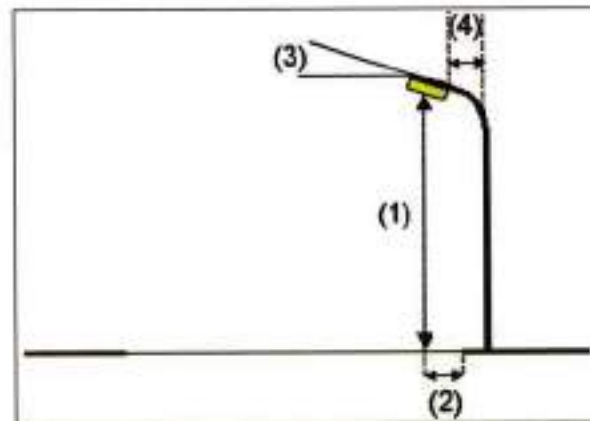


Figura 39 - Ponto de luz padrão de iluminação pública

Onde:

- (1) Altura de instalação da luminária (*Mounting Height*).
- (2) Avanço do ponto de luz na via (*Overhang*).
- (3) Ângulo de saída do braço de sustentação (*Boom Angle*).
- (4) Comprimento do braço de sustentação (*Boom Length*).

A escolha das luminárias na simulação ficou limitada às luminárias disponíveis no banco de dados do programa. A escolha do arranjo unilateral para a via de baixo tráfego e dos arranjos oposto e alternado para a via de tráfego intenso se deu pela recomendação da CPFL nesses casos [34].

O objetivo dessas simulações foi verificar, para a melhor configuração obtida com cada luminária, a diferença entre os níveis de iluminância e o fator de uniformidade para a iluminação com luminárias convencionais de vapor de sódio e as novas a LED e a respectiva economia de energia.

Na segunda parte, foi feito um estudo econômico do emprego das luminárias a LED tanto para o caso de um novo projeto de iluminação quanto para um de retrofit, ou seja, a substituição direta das luminárias a vapor de sódio por luminárias a LED visando à redução do consumo de energia.

5.2. Resultados das Simulações

5.2.1. Resultados para uma Via de Baixo Tráfego

As tabelas 31 a 37 mostram os resultados da otimização para os diferentes espaçamentos entre postes. Além dos parâmetros elétricos exigidos pela norma brasileira, ela apresenta também os dados da configuração de instalação das luminárias que obteve o melhor resultado de iluminância média. Os valores sublinhados não atendem aos requisitos da norma.

Tabela 31 - Resultados da otimização para entrepostes de 20 metros

Distância entre postes de 20 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	6,0	2,0	0	3,89	14	28	0,28
VS70 B	83,2	6000	72,1	6,0	1,5	5	3,16	13	31	0,24
LED A	33,6	2160	64,3	7,0	0,5	15	1,63	3,52	5,37	0,46
LED B	42	3600	85,7	6,0	2,0	0	2,56	6,5	10	0,39
LED C	72	5400	75,0	6,0	1,5	0	3,38	9,53	15	0,35

Tabela 32 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostes de 20 metros

Comparação entre LED e vapor de sódio mais eficiente para 20 metros			
Luminária	Econ. energia (%)	Diminuição fluxo nom. (%)	Diminuição Emed (%)
LED A	59,62	67,27	74,86
LED B	49,52	45,45	53,57
LED C	13,46	18,18	31,93

Percebe-se que para uma distância entre postes de 20 metros, todas as luminárias a LED consideradas apresentaram pelo menos uma configuração de instalação que atende aos requisitos de iluminância média mínima (2 lux), iluminância mínima em um ponto da via (1 lux), uniformidade (0,2) e razão entre iluminâncias de pontos adjacentes (0,4) para uma via de baixo tráfego de pedestres e veículos. A economia de energia obtida em relação à luminária de vapor de sódio mais eficiente é menor que a diminuição da iluminância mínima e aproximadamente igual à redução do fluxo nominal inicial.

Tabela 33 - Resultados da otimização para entrepostos de 30 metros

Distância entre postes de 30 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	8,0	0	0	2,39	7,78	15	0,31
VS70 B	83,2	6000	72,1	10,0	0	0	2,01	6,78	13	0,30
LED A	33,6	2160	64,3	6,0	0,5	15	<u>0,88</u>	2,57	6,11	0,34
LED B	42	3600	85,7	8,0	2,0	5	2,31	3,53	5,35	0,65
LED C	72	5400	75,0	7,0	1,5	5	3,28	6,53	12	0,50

Tabela 34 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostos de 30 metros

Comparação entre LED e vapor de sódio mais eficiente para 30 metros			
Luminária	Econ. energia (%)	Diminuição fluxo nom. (%)	Diminuição Emed (%)
LED B	49,52	45,45	54,63
LED C	13,46	18,18	16,07

Para a distância entre postes de 30 metros, a luminária a LED de menor consumo já não atende ao critério da iluminância mínima em um ponto da via. A economia de energia obtida continua menor que a diminuição da iluminância média, porém esses valores já ficam mais próximos.

Tabela 35 - Resultados da otimização para entrepostos de 40 metros

Distância entre postes de 40 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	11,0	0	0	1,38	4,59	8,3	0,30
VS70 B	83,2	6000	72,1	15,0	0	0	1,14	3,67	5,9	0,31
LED A	33,6	2160	64,3	9,0	1,0	10	<u>0,58</u>	<u>1,53</u>	3,06	0,38
LED B	42	3600	85,7	8,0	0	5	<u>0,95</u>	2,51	5,23	0,38
LED C	72	5400	75,0	9,0	1,0	10	1,67	3,51	6,34	0,48

Tabela 36 - Comparação entre vapor de sódio e LED para entrepostos de 40 metros

Comparação entre LED e vapor de sódio mais eficiente para 40 metros			
Luminária	Econ. energia (%)	Diminuição fluxo nom. (%)	Diminuição Emed (%)
LED C	13,46	18,18	23,53

Para um distanciamento dos postes de 40 metros, somente a luminária de maior consumo, e conseqüentemente de maior fluxo luminoso inicial, conseguiu atender aos requisitos técnicos citados anteriormente. A luminária a LED de 3600 lúmens precisaria ter o distanciamento um pouco reduzido para atender ao requisito de iluminância mínima e assim permitir uma economia maior de energia.

Tabela 37 - Resultados da otimização para entrepostos de 50 metros

Distância entre postes de 50 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	15,0	0	0	0,89	2,69	4,67	0,33
VS70 B	83,2	6000	72,1	15,0	0	5	0,69	2,55	5,08	0,27
LED C	72	5400	75,0	10,0	0,5	5	0,97	2,5	4,87	0,39

Para uma distância de 50 metros, nenhuma das luminárias testadas atendeu à exigência de iluminância mínima da norma. É importante notar que a luminária a LED, cujo fluxo inicial é menor que o das luminárias a vapor de sódio, está mais próxima dos valores exigidos pela norma brasileira. Além disso, os valores de iluminância média e máxima obtidos com as luminárias a vapor de sódio e a LED já não apresentam diferenças significativas.

Analisando os resultados obtidos percebe-se que devido ao maior fluxo inicial, as luminárias a vapor de sódio apresentam níveis de iluminância em geral maiores que os encontrados com luminárias a LED, se forem comparadas luminárias “equivalentes”, ou seja, luminárias a vapor de sódio e as respectivas a LED utilizadas para substituí-las e gerar redução no consumo. Já as luminárias a LED possuem uma uniformidade superior, pois, como a luminária é composta por várias pequenas fontes de luz, ela direciona a radiação de cada LED melhorando a distribuição da luz como um todo.

5.2.2. Resultados para uma Via de Tráfego Intenso

As tabelas 38 e 39 trazem a comparação dos níveis de iluminação em uma via urbana padrão com tráfego intenso, cujos requisitos da norma brasileira são: iluminância média mínima de 16 lux, iluminância mínima de 1 lux, uniformidade de 0,25 e razão entre iluminâncias de pontos adjacentes de 0,7. A comparação não levou em conta as luminárias a

LED de menor consumo porque os níveis de iluminação ficaram muito aquém dos indicados pela norma brasileira de iluminação pública. As luminárias a vapor de sódio geralmente utilizadas nessa situação não são as de 70 W e sim as de potências maiores, por exemplo, 150 W, 250 W e até 400 W. Como não foi possível simular uma luminária a LED de maior potência, cujo fluxo inicial fosse mais próximo ao dessas luminárias de maior potência, a comparação se ateve às luminárias a vapor de sódio e a LED "equivalentes".

Tabela 38 – Resultados da otimização para o arranjo frontal e distância de 20 metros

Resultados da Otimização - Arranjo Frontal (Oposto)										
Distância entre postes de 20 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	7	2	5	5,03	18	38	0,28
LED C	72	5400	75,0	5	0,5	10	5,66	<u>14</u>	22	0,40

Tabela 39 - Resultados da otimização para o arranjo alternado e distância de 20 metros

Resultados da Otimização - Arranjo Alternado										
Distância entre postes de 20 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	7	2	5	5,43	18	32	0,30
LED C	72	5400	75,0	5	0,5	10	4,79	<u>14</u>	24	0,34

Tanto no arranjo oposto quanto no alternado, a luminária a LED analisada não foi capaz de atender os requisitos mínimos exigidos. Provavelmente, é necessária uma pequena redução da distância entre postes adjacentes para que a iluminância média mínima atinja o valor de 16 lux exigidos.

Tabela 40 - Resultados da otimização para o arranjo frontal e distância de 15 metros

Resultados da Otimização - Arranjo Frontal (Oposto)										
Distância entre postes de 15 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	5	0,5	10	6,75	25	46	0,27
LED C	72	5400	75,0	5	1,5	5	6,09	19	27	0,32

Tabela 41 - Resultados da otimização para o arranjo alternado e distância de 15 metros

Resultados da Otimização - Arranjo Alternado										
Distância entre postes de 15 metros										
Luminária	Pot. do conj. (W)	Fluxo nom. (lm)	Efic. luminosa (lm/W)	Altura de instalação (m)	Avanço (m)	Âng. de saída (°)	Emin (lux)	Emed (lux)	Emax (lux)	Uo
VS70 A	83,2	6600	79,3	5	0,5	10	6,47	25	43	0,26
LED C	72	5400	75,0	5	1,5	5	6,77	19	30	0,36

Com a diminuição da distância entre postes adjacentes para 15 metros, a luminária a LED considerada foi capaz de atender aos valores estabelecidos pela norma. Apesar de apresentar iluminância média menor que a da luminária a vapor de sódio, devido a maior uniformidade, o valor da iluminância mínima ficou maior. É preciso salientar que existem outras configurações para as luminárias a vapor de sódio cujos valores de iluminância média são menores, mas a uniformidade é maior.

5.3. Estudo Econômico da Utilização do LED

Apesar das vantagens ambientais e da iluminação em geral, a adoção da tecnologia LED em um projeto de iluminação pública depende muito da viabilidade econômica. A avaliação econômica é importante, nesse caso, porque os recursos utilizados na implantação dessa tecnologia em um novo projeto ou em retrofit são públicos e, portanto não podem ser desperdiçados.

A tabela 42 apresenta um levantamento dos custos por ponto de luz envolvidos na instalação ou substituição de luminárias a vapor de sódio. Por se tratar de valores médios estimados, os resultados obtidos são apenas aproximados. Para uma maior precisão é

necessária uma especificação técnica mais detalhada dos equipamentos utilizados, assim como uma estimativa mais pormenorizada dos custos de mão-de-obra e transporte, já que eles variam de acordo com a localidade considerada.

Tabela 42 - Principais custos envolvidos em uma substituição (em R\$ por unidade)

	VSAP70W	VSAP100W	VSAP150W	VSAP250W
Lâmpada	20,00	25,00	30,00	35,00
Reator	25,00	25,00	32,00	45,00
Luminária	100,00	100,00	120,00	200,00
Relé	20,00			
Braço	50,00			
Conexão e fios	15,00			
Mão-de-obra	40,00			
Transporte & indiretos	5% do total			
Custo por ponto	284,21	289,47	323,16	426,32

(Fonte: SILVA, L. L. F.)

Para a realização do estudo econômico, algumas condições foram assumidas:

- Os custos do relé, braço, conexão e fios, mão-de-obra, transporte e indiretos são iguais para a instalação de luminárias a vapor de sódio e a LED.
- A manutenção das luminárias por meio de limpeza externa e interna dos difusores é feita periodicamente e adequadamente.
- Os drivers das luminárias a LED têm vida útil compatível com os módulos a LED.
- Não ocorrem falhas de equipamentos auxiliares ou problemas devido a descargas elétricas ou transitórios na rede elétrica.
- Taxa de atualização de capital de 12 % ao ano.
- Operação das luminárias de 12 horas por dia, arredondando o período para faturamento de 11 horas e 52 minutos por dia estabelecido pela ANEEL.

- O valor da tarifa de energia considerada foi o valor médio das tarifas para iluminação pública aplicadas em todo o país como mostrado na tabela 43. Esse valor corresponde a 166,53 R\$/MWh.

Tabela 43 - Tarifas médias por classe de consumo no período de agosto/2010.



Tarifas Médias por Classe de Consumo / Região (R\$/MWh)

Período: 10&8

Nome Cubo		Data da Última Atualização				
Fornecimento de Energia Elétrica		13/10/2010 22:03:42				
Classe de Consumo/Região	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	290,48	286,94	295,78	305,64	296,39	299,18
Industrial	218,17	223,04	243,16	246,58	240,19	239,57
Comercial, Serviços e Outras	279,80	308,17	312,24	286,87	278,54	289,44
Rural	205,36	221,36	220,98	203,55	192,28	203,17
Poder Público	292,02	337,76	332,61	307,50	307,29	315,12
Iluminação Pública	158,12	178,93	171,59	166,22	155,32	166,53
Serviço Público	183,28	204,70	216,27	214,73	208,03	208,73
Consumo Próprio	322,14	324,70	316,32	290,82	286,03	299,09
Rural Aquicultor	241,98	183,98	189,36	192,77	85,47	175,28
Rural Irrigante	114,08	142,32	176,92	174,68	340,43	152,63
Totais por Região	249,72	262,84	279,38	273,96	258,45	267,31

(Fonte: ANEEL)

- Substituição das lâmpadas a vapor de sódio a cada 4 anos, o que equivale a 17.500 horas de operação, período menor que a vida mediana das lâmpadas.
- Não se está considerando as prováveis manutenções das luminárias a LED durante seu funcionamento, por exemplo, a limpeza interna e externa das luminárias, que acarretam em custos de mão-de-obra e deslocamentos.

- $\frac{C_{LED}}{C_{conjVS}} = 5$, pois foi o menor valor encontrado nos casos anteriormente relatados, ou seja, trata-se do melhor caso.

Sendo:

C_{LED} : custo de aquisição de uma luminária a LED.

C_{conjVS} : custo do conjunto luminária, reator e lâmpada de vapor de sódio.

$$C_{conjVS} = C_{lâmp} + C_{lum} + C_{reator}$$

$C_{lâmp}$: custo de aquisição de uma lâmpada a vapor de sódio.

C_{lum} : custo da luminária para lâmpada a vapor de sódio.

C_{reator} : custo do reator.

É necessário frisar, porém, que dependendo das luminárias a vapor de sódio e a LED escolhidas essa relação de custos pode passar de 20.

A tabela 44 apresenta um levantamento de preços para luminárias a LED disponíveis para encomenda no Brasil. Os valores incluem IPI e ICMS, que poderiam ser mitigados como incentivo a adoção das luminárias a LED na iluminação pública.

Tabela 44 - Levantamento de preços de luminárias a LED

Fabricante	Modelo	Flx. luminoso (lm)	Inom (mA)	Preço (R\$)
Simon Lighting	LAYNA	4223	350	5347,50
Simon Lighting	LAYNA	6600	700	5347,50
Bang Bell Electronics	VL-APL56	4200	300 a 325	1452,00
Bang Bell Electronics	VL-APL112	8400	600 a 650	2262,00
Bang Bell Electronics	VL-APL168	12800	900 a 1000	3207,00

5.3.1. Caso 1 – Projeto de Retrofit

Para o caso de retrofit foi considerada somente a substituição simples de luminárias a vapor de sódio por novas a LED sem mudanças na estrutura já existente composta por postes, fiação e relés, pois é o procedimento mais comum nos projetos de instalação de luminárias a LED e a substituição da estrutura já existente acarretaria em custos extras em geral desnecessários porque as luminárias a LED não necessitam de adaptações para sua instalação.

De acordo com LOPES, em condições normais de operação, as luminárias devem permanecer na rede por no mínimo 20 anos sem substituição. Dessa maneira, para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da porcentagem recuperada do investimento será considerado que somente as lâmpadas de vapor de sódio são substituídas periodicamente antes de atingir sua vida mediana. Já para o período de substituição das luminárias a LED será considerada sua vida útil conforme norma IESNA LM-80 que determina que a vida útil seja o tempo em horas para que o fluxo luminoso diminua em 30% do inicial. O DOE estima que atualmente esta vida útil fique entre 35.000 e 50.000 horas, apesar de já haver produtos com vida útil especificada maior, chegando a 70.000 horas.

A tabela 45 mostra os valores de potência total considerados para as luminárias a vapor de sódio com lâmpadas de 70, 150 e 250 W.

Tabela 45 – Potência total das luminárias a vapor de sódio

Potência de luminárias a VS		
Lâmpada VS (W)	Perda máxima no reator pela NBR13593 (W)	Potência total (W)
70	15	85
150	26	176
250	37	287

Foram analisados os seguintes casos:

- 1) Luminária VS de 70W e redução no consumo de 20 %.
- 2) Luminária VS de 70W e redução no consumo de 40 %.
- 3) Luminária VS de 70W e redução no consumo de 60 %.
- 4) Luminária VS de 150W e redução no consumo de 20 %.
- 5) Luminária VS de 150W e redução no consumo de 40 %.
- 6) Luminária VS de 150W e redução no consumo de 60 %.
- 7) Luminária VS de 250W e redução no consumo de 20 %.
- 8) Luminária VS de 250W e redução no consumo de 40 %.
- 9) Luminária VS de 250W e redução no consumo de 60 %.

Em todos os casos foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL) tanto em um período de 11 anos, aproximadamente 48.200 horas de operação, quanto em um período de 16 anos, aproximadamente 70.000 horas. Com o intuito de facilitar os cálculos, por se tratar de uma

avaliação aproximada da viabilidade das luminárias a LED, foram escolhidos períodos de estudo em anos inteiros e próximos aos valores de vida útil dos LEDs: 50.000 (mais comum) e 70.000 horas (maior encontrado) respectivamente.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{C_{ee}}{(1+i)^t} + \sum_{k=1}^m \frac{C_{troca}}{(1+i)^{4k}} \quad (1)$$

Com:

I: investimento. Nesse caso o valor do investimento é o custo de aquisição da luminária a LED.

i: taxa de atualização do capital.

C_{ee}: custo da energia economizada. Onde:

$$C_{ee} = \frac{Ee/100 \cdot P_{vs} \cdot 4380 \cdot CE}{10^6} [RS/ano] \quad (2)$$

Ee: porcentagem de redução do consumo.

P_{vs}: potência total da luminária VS em W.

CE: custo médio da energia em RS/MWh.

C_{troca}: custo total da troca de uma lâmpada a vapor de sódio.

$$C_{troca} = C_{lamp} + C_{mob} + C_{travz}$$

C_{mob}: custo da mão-de-obra em uma substituição.

C_{travz}: custos de transporte e indiretos em uma substituição.

n: período em anos de estudo. No caso foram utilizados 11 e 16 anos.

m: quantidade de trocas de lâmpadas dentro do período de estudo. Para o caso de *n* igual a 11 anos, *m* é 2. Para *n* igual a 16 anos, *m* é 3.

A tabela 46 apresenta a energia economizada em MWh por ano em função da redução percentual do consumo em relação às luminárias a vapor de sódio mais comuns nos sistemas de iluminação pública. A tabela 47 converte essa energia economizada para seu valor em reais utilizando-se o valor médio das tarifas aplicadas pela ANEEL em todo o país como mostrado na tabela 43.

Tabela 46 – Energia economizada por ano em função da potência da lâmpada e da redução do consumo.

Economia de Energia em MWh por Ano			
Redução do consumo (%)	Lâmpada VS (W)		
	70	150	250
	Consumo total da luminária (W)		
	85	176	287
20	0,074	0,154	0,251
40	0,149	0,308	0,503
60	0,223	0,463	0,754

Tabela 47 - Valor em reais da energia economizada por ano.

Economia de Energia em R\$ por Ano			
Redução do consumo (%)	Lâmpada VS (W)		
	70	150	250
	Consumo total da luminária (W)		
	85	176	287
20	12,40	25,67	41,87
40	24,80	51,35	83,74
60	37,20	77,02	125,60

A tabela 48 mostra a porcentagem do investimento recuperado em cada caso considerando a vida útil da luminária a LED de 11 anos e o respectivo valor de VPL. A tabela 49 apresenta os mesmos resultados para a vida útil de 16 anos.

Tabela 48 - Resultados do estudo econômico para período de 11 anos

Período de Análise de 11 anos		
Caso	Invest. recuperado (%)	VPL (R\$)
1	19,21	-585,73
2	29,37	-512,10
3	39,52	-438,47
4	25,17	-680,99
5	41,92	-528,51
6	58,67	-376,09
7	23,62	-1069,33
8	41,38	-820,72
9	59,13	-572,17

Tabela 49 - Resultados do estudo econômico para período de 16 anos

Período de Análise de 16 anos		
Caso	Invest. recuperado (%)	VPL (R\$)
1	23,22	-556,67
2	35,15	-470,19
3	47,07	-383,71
4	30,17	-635,48
5	49,85	-456,39
6	69,52	-277,36
7	28,17	-1005,68
8	49,02	-713,68
9	69,88	-421,75

Pode observar que mesmo considerando o custo da luminária a LED somente 5 vezes maior que o da luminária a vapor de sódio e vida útil próxima a 70.000 horas, a economia obtida com a redução de consumo e das manutenções e trocas não é suficiente para recuperar o investimento da substituição das luminárias a vapor de sódio pelas a LED.

Além disso, verifica-se que a redução da demanda, e conseqüentemente do consumo, em 20% leva a uma recuperação do investimento de 20 a 30%; uma redução de 40%, a uma recuperação em torno de 30 a 50% e uma redução de 60%, a uma recuperação de 40 a 70% sendo a recuperação maior quanto maior a vida útil, o custo da energia e o custo com as manutenções e menor o custo de aquisição das luminárias a LED.

A tabela 50 apresenta, para o período de estudo de 16 anos e para cada caso, o custo da luminária a LED para que VPL seja nulo e a razão entre esse custo e o custo total do conjunto de vapor de sódio.

Tabela 50 - Custo da luminária a LED para VPL nulo

Custo da lum. LED para VPL nulo - 16 anos			
Caso	C _{LED} (R\$)	C _{conjvs} (R\$)	C _{LED} /C _{conjvs}
1	168,30	145	1,16
2	254,80	145	1,76
3	341,30	145	2,35
4	274,50	182	1,51
5	453,60	182	2,49
6	632,60	182	3,48
7	394,30	280	1,41
8	686,30	280	2,45
9	978,30	280	3,49

Através dos dados da tabela 50 observa-se que para redução de consumo de 20% (casos 1, 4 e 7) o custo da luminária a LED não pode ser 50% maior que o do conjunto de vapor de sódio para que haja recuperação do investimento. Para uma redução de 40% (casos 2, 5 e 8), esse valor chega a 150% e para redução de 60% (casos 3, 6 e 9), 250%. Atualmente, o custo da luminária a LED fica entre 400% e 1900% maior que o do conjunto luminária, reator e lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.

5.3.2. Caso 2 – Nova Instalação de IP

Para o caso de projeto de uma nova instalação de iluminação pública foram utilizados os resultados obtidos na otimização com o DIALux para uma via de baixo tráfego. O caso de via com tráfego intenso não foi considerado, pois, nessa situação, são utilizadas lâmpadas com potências maiores, que não foram analisadas. Dessa maneira, foram comparadas, para cada luminária a LED e a luminária a vapor de sódio VS70 A, as maiores distâncias de entrepostos cujos níveis de iluminação atendiam aos critérios requeridos pela NBR5101. Com esses valores, calculou-se o mínimo múltiplo comum para se avaliar a equivalência do número de pontos de luz entre cada luminária a LED e a luminária VS70 A como pode ser visto nas tabelas 51, 52 e 53.

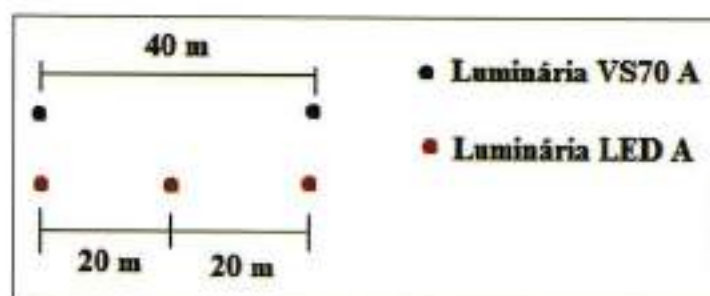


Figura 40 - Equivalência de luminárias para LED A e VS70 A

Tabela 51 - Maior entrepostos e razão de luminárias para LED A e VS70 A

Luminária	Entrepostos (m)	Nº Lum.	Razão lum.
VS70	40	2	1
LED A	20	3	1,5

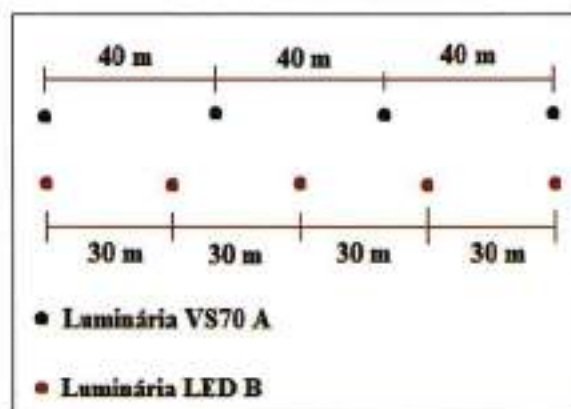


Figura 41 - Equivalência de luminárias para LED B e VS70 A

Tabela 52 - Maior entrepostes e razão de luminárias para LED B e VS70 A

Luminária	Entrepostes (m)	Nº Lum.	Razão lum.
VS70	40	4	1
LED B	30	5	1,25

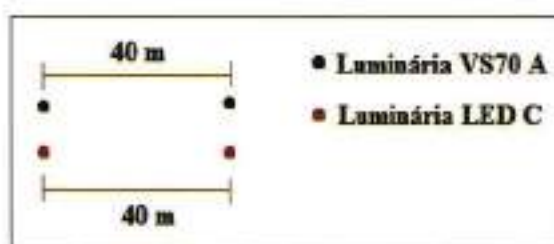


Figura 42 - Equivalência de luminárias para LED C e VS70 A

Tabela 53 - Maior entrepostes e razão de luminárias para LED C e VS70 A

Luminária	Entrepostes (m)	Nº Lum.	Razão lum.
VS70	40	2	1
LED C	40	2	1

A tabela 54 apresenta a diminuição da demanda e consumo, já em reais por ano, proveniente da utilização das luminárias a LED levando-se em consideração a equivalência da quantidade de luminárias a LED e vapor de sódio.

Tabela 54 - Redução da demanda e consumo para cada luminária a LED

Redução da demanda e consumo		
Luminária	Em W	Em R\$/ano
LED A	32,8	23,92
LED B	30,7	22,39
LED C	11,2	8,17

As tabelas 55 e 56 apresentam os valores do investimento recuperado e VPL para cada luminária a LED considerando-se o período em análise de 11 e 16 anos respectivamente.

Tabela 55 - Porcentagem do investimento recuperado e VPL para período de 11 anos

Período de Análise de 11 anos		
Luminária	Invest. recuperado (%)	VPL (R\$)
LED A	19,63	-850,22
LED B	23,81	-635,62
LED C	18,7	-496,37

Tabela 56 - Porcentagem do investimento recuperado e VPL para período de 16 anos

Período de Análise de 16 anos		
Caso	Invest. recuperado (%)	VPL (R\$)
LED A	23,51	-809,22
LED B	28,53	-596,21
LED C	22,74	-471,69

Assim como no caso de Retrofit, a escolha de luminárias a LED em detrimento de luminárias de vapor de sódio mostrou-se inviável economicamente, mesmo para a possibilidade de vida útil do LED de 70.000 horas. O maior valor de recuperação do investimento não alcançou os 30%, indicando que há grande prejuízo na adoção dessa tecnologia.

A tabela 57 apresenta o custo da luminária a LED para que todo o investimento seja recuperado, ou seja, VPL nulo, no período de 16 anos.

Tabela 57 - Custo da luminária a LED para VPL nulo

Investimento para VPL nulo - 16 anos			
Caso	Custo LED	Cconjvs	Relação
LED A	212,48	145,00	1,47
LED B	271,88	145,00	1,88
LED C	276,89	145,00	1,91

Observa-se que apesar das luminárias LED A e LED B apresentarem uma maior redução na demanda e no consumo de energia, seus custos devem ser menores que a da luminária LED C, pois a diminuição do consumo implica em menor iluminância na pista e com isso, a distância de entrepostes possível é menor. Dessa maneira, uma maior quantidade

de pontos de luz é necessária para atender os requerimentos da norma o que eleva os custos iniciais.

- Custos susceptíveis de redução

Com a redução do consumo devido à utilização das luminárias a LED, existe a diminuição dos custos com o menor dimensionamento de cabos, disjuntores e transformadores. Essa redução depende da quantidade de luminárias agrupadas na rede de alimentação para o caso de rede secundária exclusiva para o sistema de iluminação pública, ou seja, alimentada na rede de média tensão da concessionária, e também das outras cargas ligadas, para o caso de alimentação na rede secundária de baixa tensão.

De acordo com (LOPES), para os sistemas de iluminação pública do Estado de São Paulo, os cabos de saída, que fazem a interligação entre o trafo e a proteção de IP, são cabos de cobre de 25 mm² - 0,6/1,0 kV – 70°C.

Para os cabos de alimentação, nas redes aéreas são utilizados cabos de alumínio, com seção de 16 mm², isolados com PE – 70°C (polietileno) para 0,6/1,0 kV e, nas redes subterrâneas, cabos de cobre, com seções de 16, 25 e 35 mm², isolados com PVC – 70°C (cloro de polivinila) para 0,6/1,0 kV (LOPES).

Os cabos de derivação conduzem a energia da rede de distribuição até os equipamentos auxiliares da lâmpada. São cabos de cobre com seção de 2 x 2,5 mm², isolados com PVC para 450/750 V e capa também de PVC. São fornecidos em diversos comprimentos com tomadas padronizadas em uma das pontas. A corrente no condutor é muito inferior à capacidade de corrente do condutor e o comprimento do cabo não excede a 25 m, o que resulta em pequenas perdas neste trecho (LOPES).

O disjuntor tem a função de proteger o circuito contra sobrecargas e curto-circuito. São bipolares com dispositivos térmico, para as sobrecargas, e magnético, para curto-circuito, com corrente de disparo entre 5 e 10 vezes I_n (corrente nominal). São utilizados nas correntes de 50, 70 e 100 A, para os trafos de 7,5, 10 e 15 kVA respectivamente e 2 x 70 A para os trafos de 25 kA, todos com capacidade de curto-circuito (I_{cc}) de 5 kA (LOPES).

Portanto, a diminuição da demanda com a instalação das luminárias a LED pode ter como consequência o menor dimensionamento dos equipamentos, como os cabos de alimentação, os cabos de saída, o disjuntor e o transformador. Já o cabo de derivação não seria alterado, pois já é utilizado o cabo de menor seção estabelecida por

norma. Essa diferença no dimensionamento pode levar a uma redução nos custos de instalação das luminárias a LED, que não foi avaliada neste trabalho, pois ela depende das especificações de cada projeto.

Capítulo 6 – Conclusões

Apesar das vantagens do LED em relação às luminárias de vapor de sódio, que é a tecnologia mais utilizada na iluminação pública por sua elevada eficiência luminosa, sua implantação nos sistemas de iluminação pública seja em um projeto de retrofit, seja em uma nova instalação, ainda não é viável economicamente mesmo considerando a vida útil do LED elevada de 70.000 horas e um cenário favorável em que seu custo de aquisição é 5 vezes o custo da luminária a vapor de sódio. Além disso, a diminuição da demanda, e consequentemente do consumo, obtida com as luminárias a LED resulta necessariamente na redução do fluxo luminoso emitido e assim do nível de iluminância sobre a via, que é um dos requisitos principais da norma brasileira de iluminação pública, a NBR5101 de 1992, o que pode tornar sua adoção tecnicamente inviável em alguns casos.

Contudo, a tecnologia a LED ainda continua em grande desenvolvimento e espera-se que em menos de 5 anos, os LEDs de baixo IRC disponíveis no mercado dobrem sua eficiência luminosa e que seu custo por klm caia a menos da metade do atual. Já para os LEDs de alto IRC, a expectativa é a de que em menos de 10 anos sua eficiência luminosa supere a da lâmpada de vapor de sódio e seu custo também se reduza a menos da metade. Portanto, trata-se de uma tecnologia para o futuro que se tornará competitiva a curto e médio prazo.

Uma outra possibilidade para o LED, devido a sua longa vida útil, é a sua utilização na iluminação de locais isolados onde o acesso é difícil ou não há possibilidade de conexão à rede elétrica. Para isso, há a necessidade do uso de fontes alternativas de energia, entre elas a eólica e a solar, esta última facilitada pelo fato de gerar tensão em corrente contínua e a alimentação do LED ser também em corrente contínua, eliminando a necessidade de retificadores. Além disso, por sua grande flexibilidade de tons de cor da luz emitida, o LED já é muito utilizado na iluminação decorativa, na qual o mais importante é o efeito visual da iluminação e a viabilidade econômica fica em segundo plano.

Referências

- [1] *Iluminação Pública com LED. Produtos: LED de Alto Brilho*. Disponível em: www.vialuz.net. Último acesso em 15/04/2010.
- [2] SunLab Power. *Iluminação Pública. Módulos a LED para iluminação de ruas, pátios e grandes áreas*. Disponível em: www.sunlab.com.br. Último acesso em 15/04/2010.
- [3] *LED: o futuro da iluminação? Iluminação pública*. Dossier. Disponível em: www.schreder.com. Último acesso em 05/06/2010.
- [4] ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. *Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação*. Disponível em: www.abilux.com.br. Último acesso em 22/04/2010.
- [5] Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Disponível em: www.eletronbras.com/elb/procel. Último acesso em 12/11/2010.
- [6] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional*. Disponível em: www.epe.gov.br. Último acesso em 22/04/2010.
- [7] Ministério de Minas e Energia. Site: www.mme.gov.br. Último acesso em 31/07/2010.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica. Site: www.aneel.gov.br. Último acesso em 12/11/2010.
- [9] GELLINGS, C. W.; CHAMBERLIN, J. H. *Demand-Side Management, Concepts and Methods*. Oklahoma, PennWell Publishing Company, 1993.
- [10] LIMAYE, D. R.; RABL, V. *International Load Management, Methods and Practices*. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1988.
- [11] O Setor Elétrico. *Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil*, 2009.
- [12] Revista LEDs Magazine. Disponível em: www.ledsmagazine.com/. Último acesso em 10/11/2010.
- [13] ERICSON, N. “LEDs Tecnologia do futuro a serviço do presente”. *Revista Lume Arquitetura*, Ed. 31.
- [14] LOPES, S. B. *Eficiência energética em sistemas de iluminação pública*. Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2002.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Iluminação Pública*. Rio de Janeiro, 1992, NBR5101.

- [16] ANEEL. *Perguntas e Respostas sobre Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica*. Brasília, 2007.
- [17] CAMPOS, A. *Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso*. Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2004.
- [18] How Stuff Works. Site: www.howstuffworks.com/. Último acesso em 01/07/2010.
- [19] OSRAM. *Iluminação: Conceitos e Projetos*. Disponível em: http://www.osram.com.br/osram_br/. Último acesso em 25/08/2010.
- [20] SILVA, L. L. F. *Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- [21] International Energy Agency. *Light's Labour's Lost Policies for Energy-efficient Lighting*, 2006.
- [22] Elétrica.info. *Norma para LEDs deve ser publicada até dezembro*. Disponível em: www.eletrica.info/norma-para-leds-deve-ser-publicada-ate-dezembro/. Último acesso em 21/06/2010.
- [23] ZEISS. *Interactive Flash Tutorials: Light-Emitting Diode Operation*. Disponível em: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/tutorials/leddiagram/index.html>. Último acesso em 21/06/2010.
- [24] DELGADO, R. M. *Demand-Side Management Alternatives*, Proceedings of the IEEE, Vol. 73, 1985.
- [25] PHILIPS. *White Paper: Street Lighting*.
- [26] U.S. Department of Energy. *Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications 2010 to 2030*. Washington D. C., 2010.
- [27] NARENDRAN, N.; GU, Y.; JAYASINGHE, L.; FREYSSINIER, J. P.; ZHU, Y. *Long-term Performance of White LEDs and Systems*. Nova York, 2007.
- [28] NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R. *LEDs para Iluminação Pública*, Curitiba, 2008.
- [29] U.S. Department of Energy. *Demonstration Assessment of Light-Emitting Diode (LED) Roadway Lighting at the I-35W Bridge, Minneapolis, MN*. Washington D. C., 2009.
- [30] U.S. Department of Energy. *Demonstration Assessment of Light-Emitting Diode (LED) Street Lighting on Lija Loop in Portland, OR*. Washington D. C., 2009.
- [31] Climate Leadership Group C40 Cities. *Lighting – Oslo, Norway – 10.000 Intelligent streetlights save 1440 tCO2 and reduce energy consumption by 70%*. Disponível em:

http://www.c40cities.org/bestpractices/lighting/oslo_streetlight.jsp. Último acesso em 10/05/2010.

[32] PIMENTA, J. L. *LED – Uma Fonte de Luz Promissora*. Disponível em: http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed23/ed_23_Aula.pdf. Último acesso em 10/05/2010.

[33] HUMPHREYS, C. J. *Solid-State Lighting*, 2008.

[34] CPFL Energia. *Projeto – Iluminação Pública*, 2006. Norma Técnica. Disponível em: <http://www.cpfl.com.br/>. Último acesso em 12/11/2010.

[35] TOSS, M. *Estudo e Desenvolvimento de um Reator Eletrônico para Lâmpada de Alta Pressão de Vapor Metálico com Sistema de Eliminação da Ressonância Acústica*. Dissertação submetida à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2004.

[36] *LED: boa aplicação das fontes...* Dossier. Disponível em: www.schreder.com. Último acesso em 12/11/2010.

[37] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *ICNIRP Statement on Light-Emitting Diodes (LEDs) and Laser Diodes: Implications for Hazard Assessment*, 2000.

[38] DA COSTA, G. J. C. *Iluminação Econômica Cálculo e Avaliação*, Editora EDIPUCRS, Porto Alegre, 1998, 503 p.

[39] ANEEL. *Resolução Normativa N°414*, 2010.

[40] BARGHINI, A. *Influência da Iluminação Artificial sobre a Vida Silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos*. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2008.

Anexo 01 – Diagrama de Cromaticidade ou Espaço de Cores do CIE

Colorimetria é a medida quantitativa das cores através de normas definidas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) que desde 1931 estabelece parâmetros para a classificação e medição das cores.

A percepção das cores é um processo complexo que depende de diferentes fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. O olho humano é capaz de diferenciar cores devido à existência de três tipos diferentes de células cones, cada tipo sendo sensível a uma faixa de comprimentos de onda diferente, centradas respectivamente no vermelho, verde e azul (RGB). A partir desta fundamentação a CIE (Comissão Internacional de Iluminação) decidiu exprimir a medida de uma cor em função de três componentes chamadas tristímulus que correspondem respectivamente aos sinais relativos produzidos por esta cor nestes 3 tipos de células cone.

A figura 43 representa a resposta em comprimento de onda dos três tipos de cones presentes no olho humano. Os tristímulus (RGB) são representados por 3 valores x, y e z, que correspondem respectivamente à medida dos sinais produzidos por uma dada cor nestes 3 detectores. Assim, em termos dos tristímulus, uma dada cor F seria representada pela equação:

$$F = x.R + y.G + z.B \quad (A1.1)$$

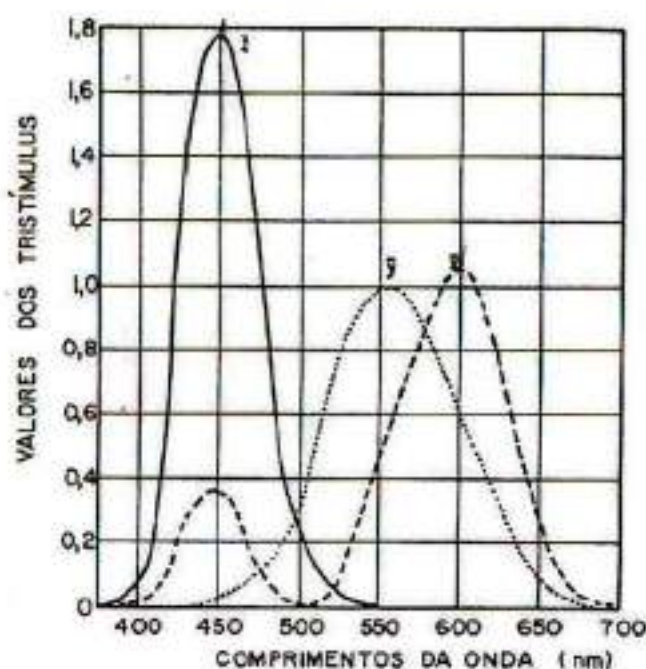


Figura 43 - Variações dos tristímulus com os comprimentos de onda

Logo, para a representação de uma cor F, precisaríamos de um sistema cartesiano com três dimensões. Para viabilizar a representação de uma cor em um sistema cartesiano com duas dimensões podemos utilizar a seguinte normalização:

$$X = \frac{x}{x+y+z} \quad (\text{A1.2})$$

$$Y = \frac{y}{x+y+z} \quad (\text{A1.3})$$

$$Z = \frac{z}{x+y+z} \quad (\text{A1.4})$$

$$\text{Com } X + Y + Z = 1 \quad (\text{A1.5})$$

Com isto, precisamos de apenas dois dos coeficientes tricromáticos para representar qualquer cor do espectro, que o terceiro fica determinado por (A1.5).

Os coeficientes tricromáticos para todas as cores foram arranjados pela CIE em um diagrama cartesiano bidimensional conhecido como "Diagrama de Cromaticidade" (Figura 44). O lugar geométrico de cada cor neste diagrama é chamado de "locus". A curva sólida que envolve todo o diagrama é chamada de "*Spectrum Locus*" e corresponde às coordenadas das cores espectrais puras sendo os valores X, Y dos tristímulus obtidos a partir do gráfico da figura 43.

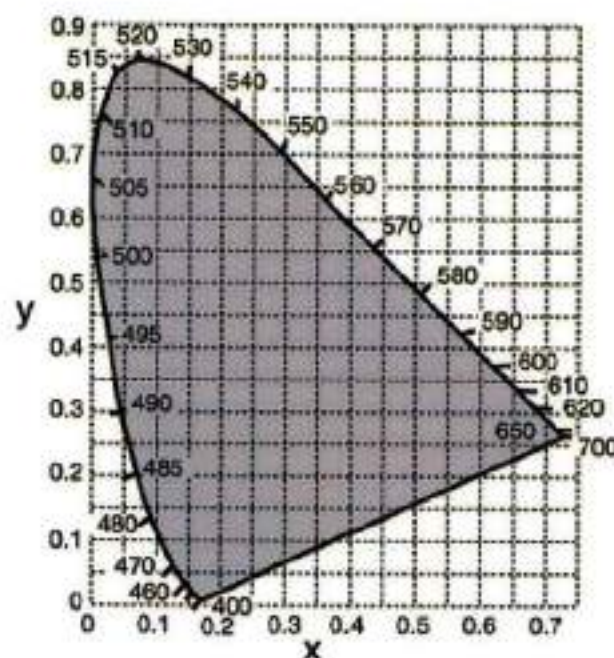


Figura 44 - Diagrama de cromaticidade da CIE

Anexo 02 – Elipses de MacAdam

Uma questão importante no estudo da percepção de cores pelos olhos humanos é definir, dada duas cores, o quão diferente elas são. Na tentativa de elucidar essa questão, David MacAdam criou um experimento no qual um observador treinado via duas cores diferentes a uma luminância de aproximadamente 48 cd/m². Uma das cores era fixada, mas a outra era ajustável e a tarefa do observador era ajustá-la até que ficasse igual à cor fixa. Como qualquer outro instrumento, o olho humano possui limitações, por isso o ajuste não era perfeito. MacAdam descobriu, entretanto, que todos os ajustes feitos pelo observador formavam uma elipse no diagrama de cromaticidade do CIE (Anexo 01). Foi descoberto também que o tamanho e a orientação das elipses variavam dependendo da cor fixada.

As elipses de MacAdam são definidas através de “passos” que na realidade significam “desvios padrão”. Se uma grande amostra da população pudesse ser utilizada no experimento e o observador pudesse repetir suas observações sem nenhuma margem de incerteza, então os “passos” traduziriam as probabilidades para a população em geral como mostrado na tabela 58.

Tabela 58 - Probabilidade em função dos passos

Elipses de MacAdam	
Passos	Probabilidade (%)
1	68,26
2	95,44
3	99,44

Ou seja, a partir dos limites da elipse de um passo, ou um desvio padrão, 68,26% da população em geral consegue perceber uma mudança em relação à cor original. Para a elipse de dois passos, 95,44% da população percebem essa mudança e para a elipse de três passos, praticamente toda população, 99,44%, percebem diferença em relação à cor original. Existem normas da ANSI para vários pontos de cromaticidade e ela recomenda que os fabricantes de lâmpadas permaneçam dentro do limite da elipse de quatro passos. O conceito das elipses é ilustrado na figura 45.

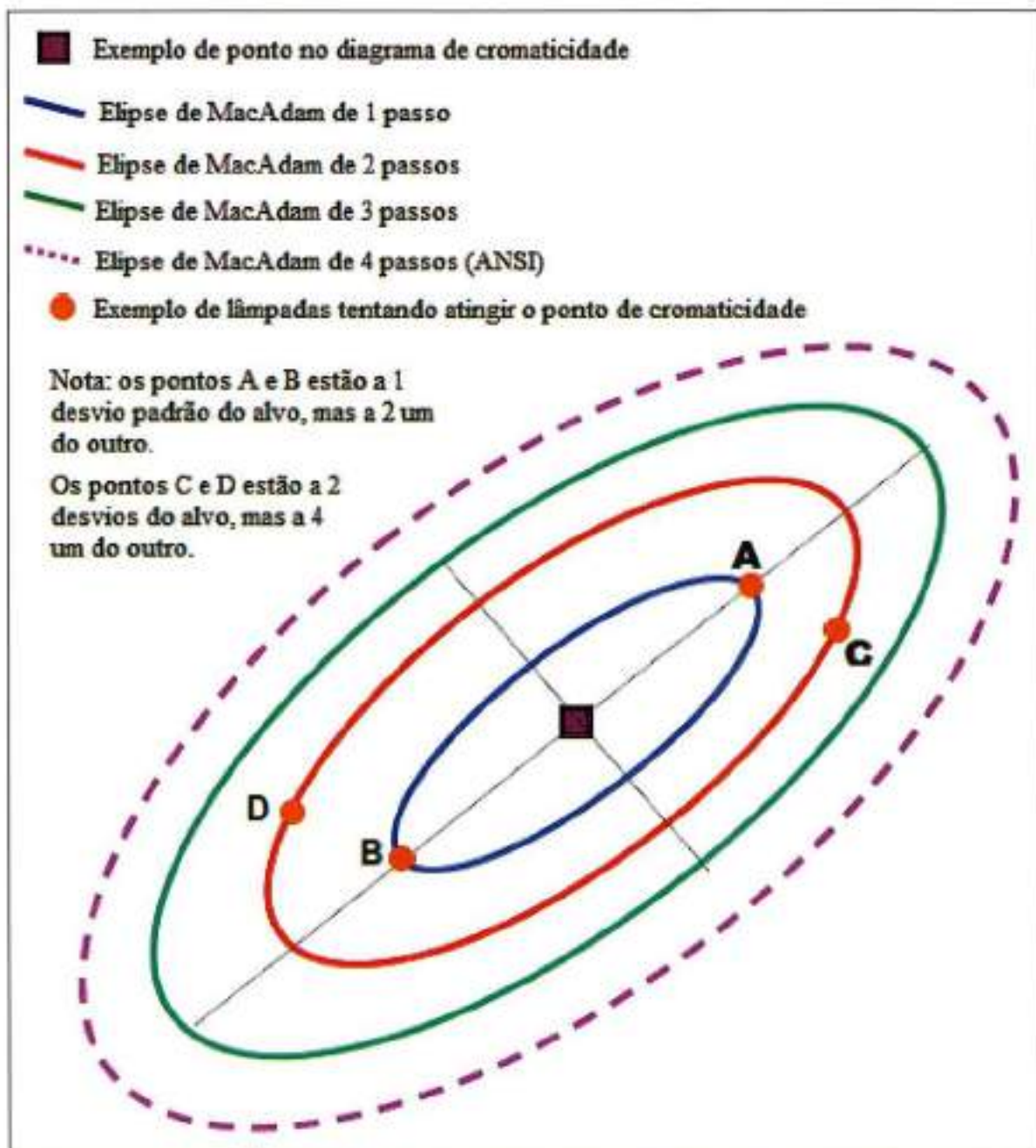


Figura 45 - Exemplo de elipses de MacAdam para certo ponto de cromaticidade

Anexo 03 – Visão Humana: Curvas Fotópica e Escotópica

Uma característica muito importante do processo visual humano é a capacidade de modificar a abertura da pupila, adaptando-se a níveis de luminosidade diferentes. Tal processo é conhecido por ADAPTAÇÃO [38]. Quando existe muita luz, a pupila se contrai e a focalização de objetos se processa principalmente na zona central da retina, próxima ao nervo ótico. Quando há pouca luz, a pupila se dilata, permitindo que a imagem se forme ao longo de sua periferia, não havendo focalização para um ponto específico. Ao se analisar mais minuciosamente a retina, revela-se que ela é constituída por dois tipos distintos de sensores nervosos, os cones e os bastonetes. A diferença entre eles é sua localização e sua sensibilidade à luz. Os cones são muito menos sensíveis à luz do que os bastonetes, permitindo a visão para grandes luminosidades e, sua densidade é maior no centro da retina, região conhecida de fóvea. Eles originam a chamada visão central, responsável pela visão de cores ou fotópica. Já os bastonetes, são adaptados para baixos níveis de luminosidade, atuam na visão de claros e escuros ou escotópica, apresentando uma maior densidade na região periférica da retina (TOSS).

Um exame realizado por FRAUNHOFER [38] permitiu verificar que a sensibilidade da retina não só varia com a diferença de luminosidade, mas também é variável para diferentes comprimentos de onda da radiação. Através de seu trabalho foi possível traçar a curva de eficácia luminosa espectral durante a visão de cores (visão fotópica), onde o ponto máximo ocorre em 554 nm (área verde-amarelo), ver Figura 46. Posteriormente, PURKINJE, realizando outras medições, constatou que para baixas luminosidades (visão escotópica), a curva de eficácia luminosa se deslocava para os menores comprimentos de onda e que o máximo ocorria com comprimento de onda de 507 nm (área azul-amarelo) (TOSS).

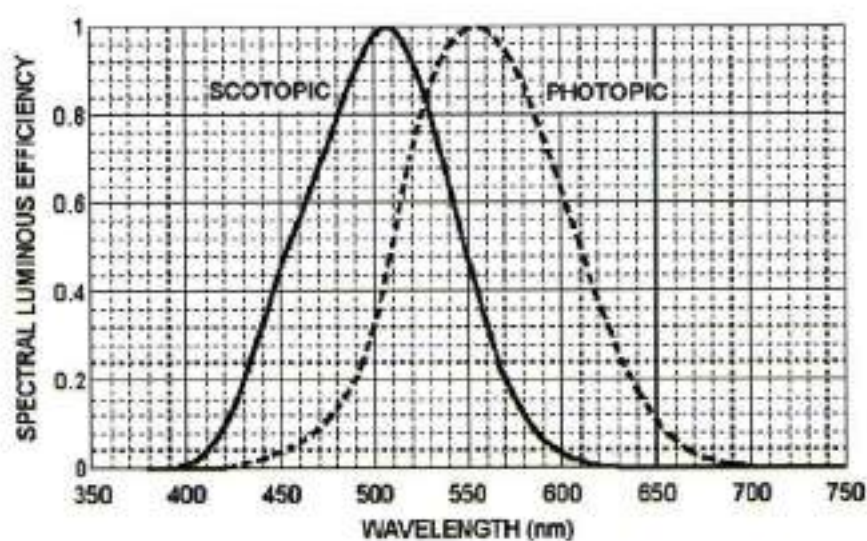


Figura 46 - Curvas de resposta para visão fotópica e escotópica definidas pelo CIE

A tabela 59 apresenta a comparação entre os valores de eficiência luminosa das lâmpadas mais comuns para as curvas fotópica e escotópica da visão humana.

Tabela 59 - Eficiência luminosa para as curvas fotópicas e escotópicas

Fonte de Luz	Fotópica Eficiência (lm/W)	Escotópica Eficiência (lm/W)
Incandescente	14,7	20,3
Sódio Alta Pressão	127,0	80,6
Vapor Metálico	107,0	181,0
Fluorescente	54,5	108,0

(Fonte: IAEEL newsletter 2/95.)

Anexo 04 – Resultados do DIALux

- Luminária VS70 A:



Figura 47 - Luminária VS70 A

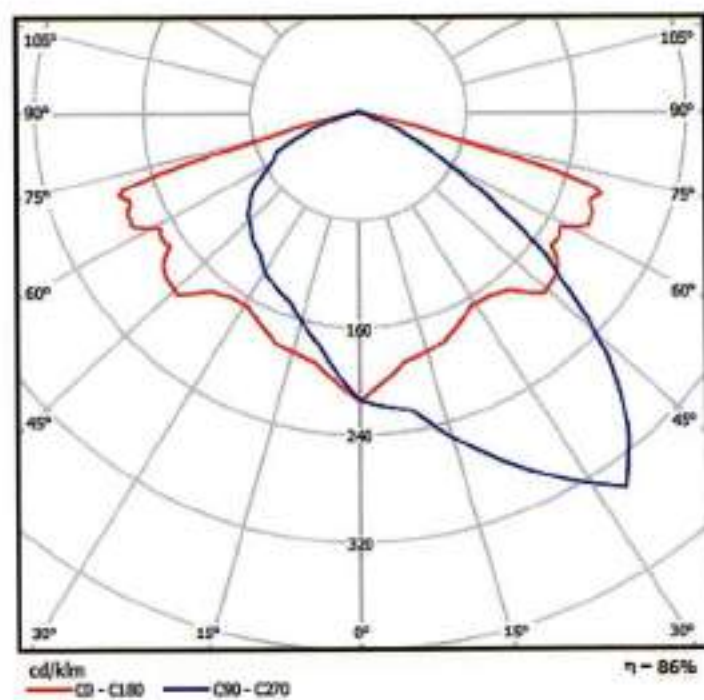


Figura 48 - Diagrama Polar da luminária VS70 A

Arranjo Unilateral:

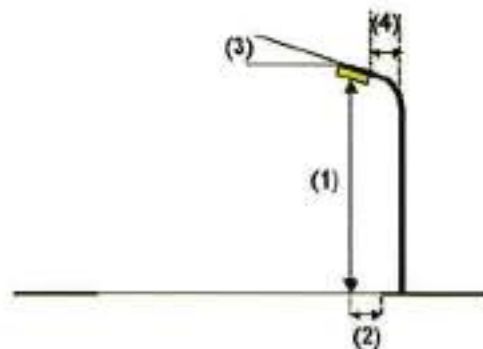
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

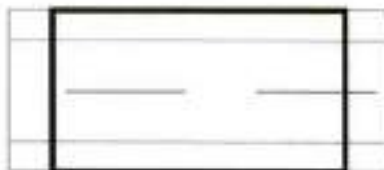
Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2
 Luminaire Luminous Flux: 6600 lm
 Luminaire Wattage: 83.2 W
 Arrangement: Single row, bottom
 Pole Distance: 20.000 m
 Mounting Height (1): 5.781 m
 Height: 6.000 m
 Overhang (2): 2.000 m
 Boom Angle (3): 0.0 °
 Boom Length (4): 2.500 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 492 cd/klm
 at 80°: 15 cd/klm
 at 90°: 2.01 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
 Arrangement complies with luminous intensity class G3.
 Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	13	13	12	8.90	7.99	7.99	8.90	12	13	13	
8.938	20	18	17	14	12	12	14	17	18	20	
7.563	26	22	20	18	13	13	18	20	22	26	
6.188	28	22	19	14	11	11	14	19	22	28	
4.813	28	18	13	10	7.53	7.53	10	13	18	28	
3.438	23	15	9.98	7.44	5.83	5.83	7.44	9.98	15	23	
2.063	17	12	7.62	5.70	4.49	4.49	5.70	7.62	12	17	
0.688	12	8.84	6.10	4.75	3.89	3.89	4.75	6.10	8.84	12	
	m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
14	3.89	28	0.298	0.140

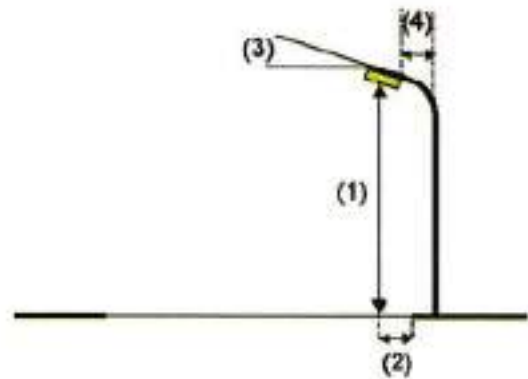
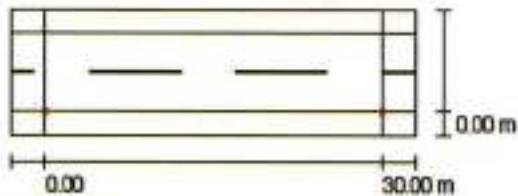
Distância entre postes de 30 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2	
Luminaire Luminous Flux:	8600 lm	Maximum luminous intensities
Luminaire Wattage:	83.2 W	at 70°: 492 cd/klm
Arrangement:	Single row, bottom	at 80°: 15 cd/klm
Pole Distance:	30.000 m	at 90°: 2.01 cd/klm
Mounting Height (1):	7.781 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
Height:	8.000 m	Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Overhang (2):	0.000 m	Arrangement complies with glare index class D.6.
Boom Angle (3):	0.0 °	
Boom Length (4):	0.500 m	



10.313	6.82	7.21	5.64	4.41	4.18	4.18	4.41	5.64	7.21	6.82
8.938	9.72	8.77	7.44	6.16	5.23	5.23	6.16	7.44	8.77	9.72
7.563	13	11	10	7.27	5.78	5.78	7.27	10	11	13
6.188	14	12	11	7.37	5.62	5.62	7.37	11	12	14
4.813	<u>15</u>	11	9.89	6.30	4.55	4.55	6.30	9.89	11	<u>15</u>
3.438	<u>15</u>	9.73	7.62	4.65	3.47	3.47	4.65	7.62	9.73	<u>15</u>
2.063	13	8.36	5.85	3.72	2.79	2.79	3.72	5.85	8.36	13
0.688	12	6.99	4.29	3.00	<u>2.39</u>	<u>2.39</u>	3.00	4.29	6.99	12
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
7.78	2.39	15	0.307	0.156

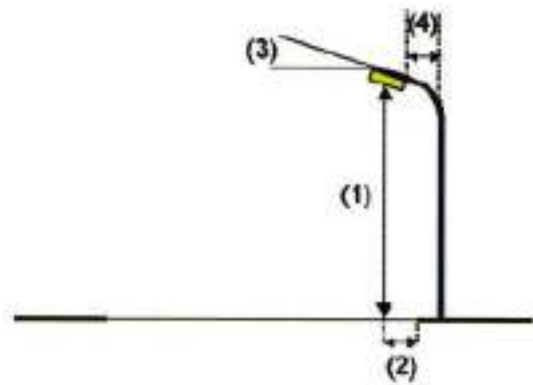
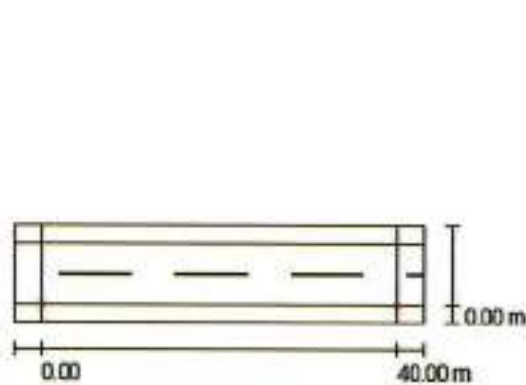
Distância entre postes de 40 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



- Luminaire: Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2
- Luminaire Luminous Flux: 6600 lm
- Luminaire Wattage: 83.2 W
- Arrangement: Single row, bottom
- Pole Distance: 40.000 m
- Mounting Height (1): 10.781 m
- Height: 11.000 m
- Overhang (2): 0.000 m
- Boom Angle (3): 0.0 °
- Boom Length (4): 0.500 m

- Maximum luminous intensities
- at 70°: 492 cd/klm
- at 80°: 15 cd/klm
- at 90°: 2.01 cd/klm
- Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
- Arrangement complies with luminous intensity class G3.
- Arrangement complies with glare index class D.6.

- Current Selection
- Further Selections



10.313	6.42	5.92	5.10	5.04	4.10	3.54	3.11	3.11	3.54	4.10
8.938	7.47	6.99	5.78	5.78	4.40	3.72	3.21	3.21	3.72	4.40
7.563	7.92	7.38	6.18	5.80	4.39	3.61	3.09	3.09	3.61	4.39
6.188	8.28	7.30	5.69	5.51	3.98	3.22	2.69	2.69	3.22	3.98
4.813	8.20	6.89	5.12	4.83	3.35	2.55	2.18	2.18	2.55	3.35
3.438	<u>8.30</u>	6.34	4.40	3.78	2.79	2.06	1.80	1.80	2.06	2.79
2.063	7.45	5.79	4.00	3.10	2.37	1.75	1.55	1.55	1.75	2.37
0.688	6.93	4.86	3.41	2.58	1.99	1.55	<u>1.38</u>	<u>1.38</u>	1.55	1.99
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Current Selection
 Further Selections

10.313	5.04	5.10	5.92	6.42
8.938	5.78	5.79	6.99	7.47
7.563	5.80	6.18	7.38	7.92
6.188	5.51	5.69	7.30	8.28
4.813	4.83	5.13	6.90	8.20
3.438	3.79	4.40	6.34	<u>8.30</u>
2.063	3.10	4.00	5.79	7.45
0.688	2.58	3.41	4.86	6.93
m	30.000	32.857	35.714	38.571

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 14 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
4.59	1.38	8.30	0.302	0.167

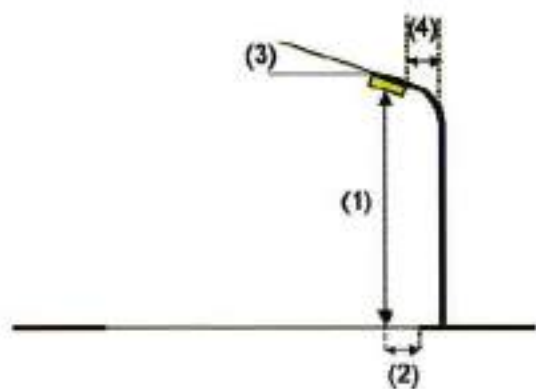
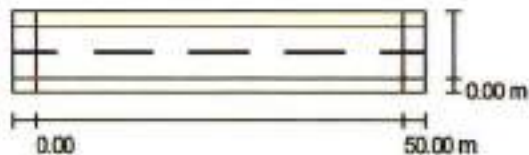
Distância entre postes de 50 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.000 m)
Roadway 1	(Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2
Luminaire Luminous Flux:	8600 lm
Luminaire Wattage:	83.2 W
Arrangement:	Single row, bottom
Pole Distance:	50.000 m
Mounting Height (1):	14.781 m
Height:	15.000 m
Overhang (2):	0.000 m
Boom Angle (3):	0.0 °
Boom Length (4):	0.500 m

Maximum luminous intensities	
at 70°:	492 cd/klm
at 80°:	15 cd/klm
at 90°:	2.01 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.6.

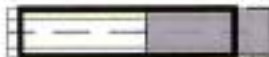
- Current Selection
- Further Selections



10.313	4.37	4.26	3.60	3.36	3.29	2.80	2.44	2.13	1.98	2.13
8.938	4.56	4.43	3.59	3.45	3.24	2.70	2.33	2.04	1.88	2.04
7.563	<u>4.67</u>	4.48	3.52	3.22	3.09	2.53	2.12	1.83	1.68	1.83
6.188	<u>4.67</u>	4.27	3.42	2.85	2.81	2.32	1.83	1.56	1.42	1.56
4.813	4.66	4.01	3.12	2.56	2.29	1.96	1.57	1.32	1.22	1.32
3.438	4.58	3.77	2.80	2.25	1.96	1.70	1.38	1.14	1.07	1.14
2.063	4.21	3.53	2.68	2.10	1.75	1.50	1.23	1.03	0.96	1.03
0.688	4.01	3.10	2.45	1.87	1.54	1.32	1.10	0.94	<u>0.89</u>	0.94
m	1.471	4.412	7.353	10.294	13.235	16.176	19.118	22.059	25.000	27.941

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

- Current Selection
- Further Selections



10.313	2.44	2.80	3.29	3.36	3.60	4.26	4.37
8.938	2.33	2.70	3.24	3.45	3.59	4.43	4.56
7.563	2.12	2.53	3.09	3.22	3.52	4.48	<u>4.67</u>
6.188	1.83	2.32	2.81	2.85	3.42	4.27	<u>4.67</u>
4.813	1.57	1.96	2.29	2.56	3.12	4.01	4.66
3.438	1.38	1.70	1.96	2.25	2.80	3.77	4.58
2.063	1.23	1.50	1.75	2.10	2.68	3.53	4.21
0.688	1.10	1.32	1.54	1.87	2.46	3.10	4.01
m	30.882	33.824	36.765	39.706	42.647	45.588	48.529

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 17 x 8 Points

E_{av} [lx]
2.69

E_{min} [lx]
0.89

E_{max} [lx]
4.67

u_0
0.330

E_{min} / E_{max}
0.190

Arranjo Bilateral Frontal:

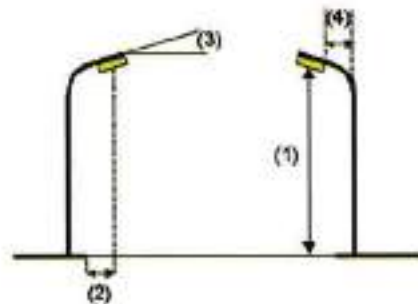
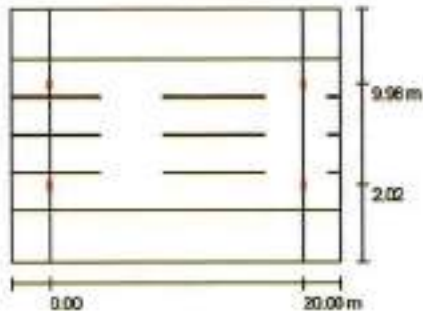
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
 Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips SGS252 GB 1xSON.TPP70W CR P2
 Luminaire Luminous Flux: 6800 lm
 Luminaire Wattage: 83.2 W
 Arrangement: Double row, opposing
 Pole Distance: 20.000 m
 Mounting Height (1): 6.782 m
 Height: 7.000 m
 Overhang (2): 2.000 m
 Boom Angle (3): 5.0 °
 Boom Length (4): 2.519 m

Maximum luminous intensities

at 70°: 506 cd/km
 at 80°: 65 cd/km
 at 90°: 1.09 cd/km

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.

Arrangement complies with glare index class D.6.



19.286	8.45	7.56	6.23	5.62	<u>5.03</u>	<u>5.03</u>	5.62	6.23	7.56	8.45
17.857	12	11	8.78	7.53	6.29	6.29	7.53	8.78	11	12
16.429	17	15	12	9.77	7.87	7.87	9.77	12	15	17
15.000	24	19	16	13	10	10	13	16	19	24
13.571	30	25	20	17	15	15	17	20	25	30
12.143	37	30	24	23	19	19	23	24	30	37
10.714	<u>38</u>	34	28	28	24	24	28	28	34	<u>38</u>
9.286	<u>38</u>	34	28	28	24	24	28	28	34	<u>38</u>
7.857	37	30	24	23	19	19	23	24	30	37
6.429	30	25	20	17	15	15	17	20	25	30
5.000	24	19	16	13	10	10	13	16	19	24
3.571	17	15	12	9.77	7.87	7.87	9.77	12	15	17
2.143	12	11	8.78	7.53	6.29	6.29	7.53	8.78	11	12
0.714	8.45	7.56	6.23	5.62	<u>5.03</u>	<u>5.03</u>	5.62	6.23	7.56	8.45
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx]
18

E_{min} [lx]
5.03

E_{max} [lx]
38

u_0
0.286

E_{min} / E_{max}
0.132

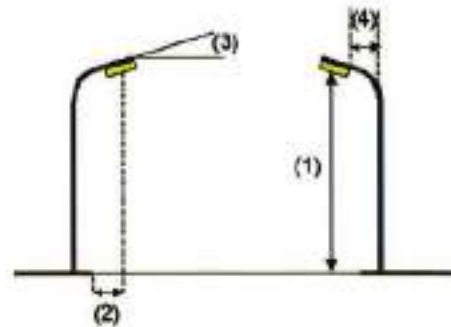
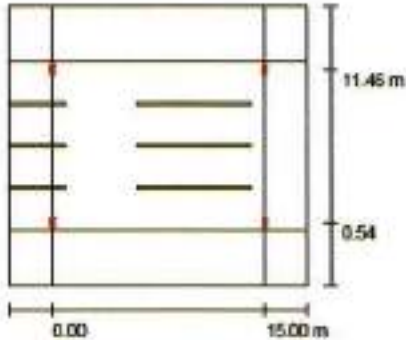
Distância entre postes de 15 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
 Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2
 Luminaire Luminous Flux: 6600 lm
 Luminaire Wattage: 83.2 W
 Arrangement: Double row, opposing
 Pole Distance: 15.000 m
 Mounting Height (1): 4.784 m
 Height: 5.000 m
 Overhang (2): 0.500 m
 Boom Angle (3): 10.0 °
 Boom Length (4): 1.038 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 475 cd/klm
 at 80°: 128 cd/klm
 at 90°: 4.02 cd/klm
 Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
 Arrangement complies with luminous intensity class G2.
 Arrangement complies with glare index class D.6.



19.286	12	9.78	8.12	7.41	<u>6.75</u>	<u>6.75</u>	7.41	8.12	9.78	12
17.857	20	16	12	10	8.78	8.78	10	12	16	20
16.429	29	22	16	13	11	11	13	16	22	29
15.000	39	29	21	18	15	15	18	21	29	39
13.571	44	38	29	26	20	20	26	29	38	44
12.143	44	41	38	35	29	29	35	38	41	44
10.714	<u>46</u>	43	38	37	33	33	37	38	43	<u>46</u>
9.286	<u>46</u>	43	38	37	33	33	37	38	43	<u>46</u>
7.857	44	41	38	35	29	29	35	38	41	44
6.429	44	38	29	26	20	20	26	29	38	44
5.000	39	29	21	18	15	15	18	21	29	39
3.571	29	22	16	13	11	11	13	16	22	29
2.143	20	16	12	10	8.78	8.78	10	12	16	20
0.714	12	9.78	8.12	7.41	<u>6.75</u>	<u>6.75</u>	7.41	8.12	9.78	12
m	0.750	2.250	3.750	5.250	6.750	8.250	9.750	11.250	12.750	14.250

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx] 25 E_{min} [lx] 6.75 E_{max} [lx] 48 $u0$ 0.274 E_{min} / E_{max} 0.148

Arranjo Bilateral Alternado:

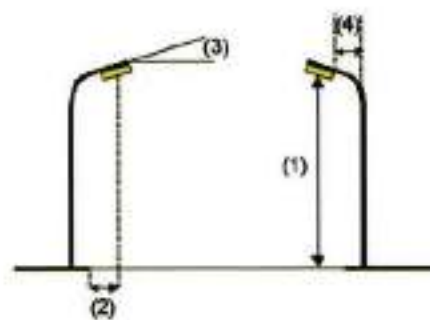
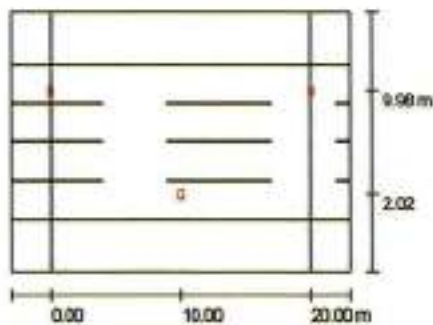
Distância entre postes adjacentes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 4.000 m)
Roadway 1	(Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips SGS252 GB 1xSON-TPP70W CR P2	Maximum luminous intensities
Luminaire Luminous Flux:	8600 lm	at 70°: 506 cd/klm
Luminaire Wattage:	83.2 W	at 80°: 65 cd/klm
Arrangement:	Double row, with offset	at 90°: 1.09 cd/klm
Pole Distance:	20.000 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
Mounting Height (1):	6.782 m	Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Height:	7.000 m	Arrangement complies with glare index class D.6.
Overhang (2):	2.000 m	
Boom Angle (3):	5.0 °	
Boom Length (4):	2.519 m	



19.286	0.05	7.15	6.23	6.02	<u>5.43</u>	<u>5.43</u>	6.02	6.23	7.15	8.05
17.857	11	9.99	8.78	8.27	7.39	7.30	8.27	8.78	9.99	11
16.429	15	14	12	11	9.86	9.86	11	12	14	15
15.000	21	18	16	14	13	13	14	16	18	21
13.571	27	23	20	19	18	18	19	20	23	27
12.143	<u>32</u>	28	24	25	24	24	25	24	28	<u>32</u>
10.714	<u>32</u>	<u>32</u>	29	31	30	30	31	29	<u>32</u>	<u>32</u>
9.286	30	31	29	<u>32</u>	<u>32</u>	<u>32</u>	<u>32</u>	29	31	30
7.857	24	25	24	28	<u>32</u>	<u>32</u>	28	24	25	24
6.429	18	19	20	23	27	27	23	20	19	18
5.000	13	14	16	18	21	21	18	16	14	13
3.571	0.05	11	12	14	15	15	14	12	11	0.86
2.143	7.30	8.27	8.78	9.99	11	11	9.99	8.78	8.27	7.30
0.714	<u>5.43</u>	6.02	6.23	7.15	8.05	8.05	7.15	6.23	6.02	<u>5.43</u>
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx]
18

E_{min} [lx]
5.43

E_{max} [lx]
32

u_0
0.309

E_{min} / E_{max}
0.168

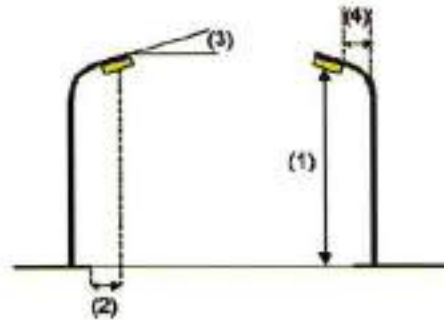
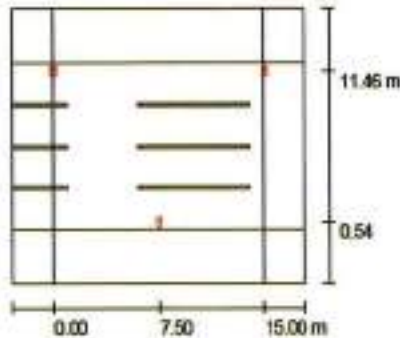
Distância entre postes adjacentes de 15 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
- Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



- Luminaire: Philips SGS252 GB 1xSON-TFP70W CR P2
- Luminaire Luminous Flux: 6800 lm
- Luminaire Wattage: 83.2 W
- Arrangement: Double row, with offset
- Pole Distance: 15.000 m
- Mounting Height (1): 4.784 m
- Height: 5.000 m
- Overhang (2): 0.500 m
- Boom Angle (3): 10.0 °
- Boom Length (4): 1.038 m

- Maximum luminous intensities
- at 70°: 475 cd/klm
- at 80°: 125 cd/klm
- at 90°: 4.02 cd/klm
- Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaires installed for use.
- Arrangement complies with luminous intensity class G2.
- Arrangement complies with glare index class D.6.



19.286	12	9.91	8.12	7.28	<u>6.47</u>	<u>6.47</u>	7.28	8.12	9.91	12
17.857	20	16	12	9.97	8.37	8.37	9.97	12	16	20
16.429	29	22	16	13	11	11	13	16	22	29
15.000	38	29	21	18	15	15	18	21	29	38
13.571	<u>43</u>	35	29	27	22	22	27	29	35	<u>43</u>
12.143	41	40	38	36	32	32	36	38	40	41
10.714	41	40	38	40	38	38	40	38	40	41
9.286	38	40	38	40	41	41	40	38	40	38
7.857	32	36	38	40	41	41	40	38	36	32
6.429	22	27	29	36	<u>43</u>	<u>43</u>	35	29	27	22
5.000	15	18	21	29	38	38	29	21	18	15
3.571	11	13	16	22	29	29	22	16	13	11
2.143	8.37	9.97	12	16	20	20	16	12	9.97	8.37
0.714	<u>6.47</u>	7.28	8.12	9.91	12	12	9.91	8.12	7.28	<u>6.47</u>
m	0.700	2.250	3.700	5.250	6.750	8.250	9.750	11.250	12.750	14.250

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
25	6.47	43	0.263	0.152

- Luminária VS70 B:



Figura 49 - Luminária VS70 B

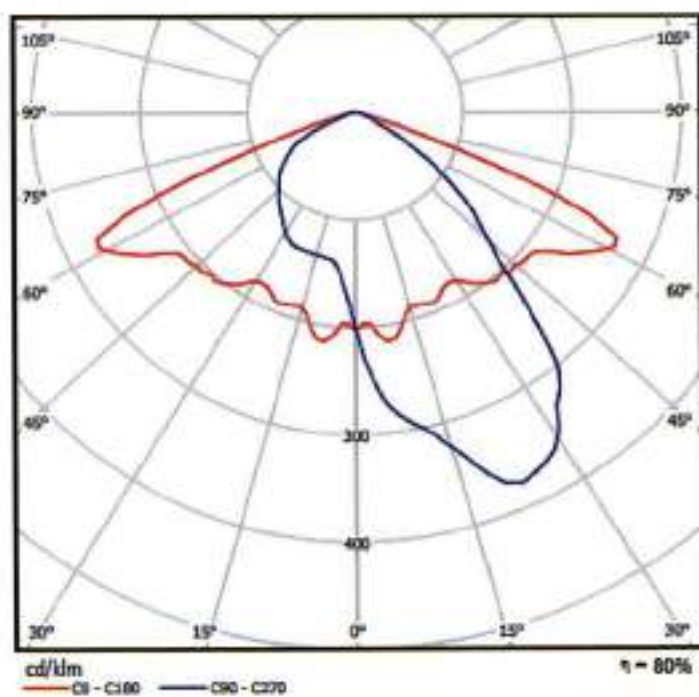


Figura 50 - Diagrama Polar da luminária VS70 B

Arranjo Unilateral:

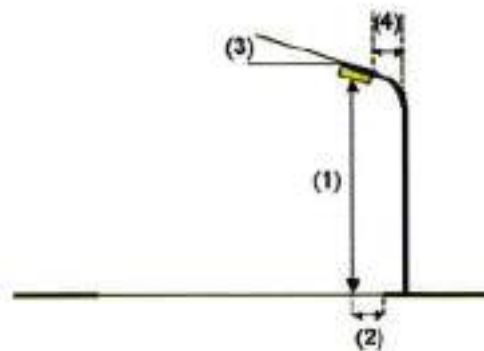
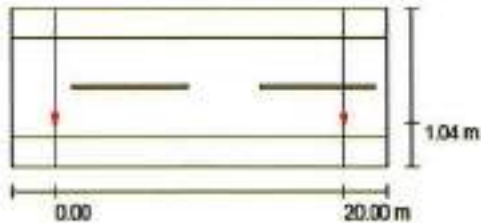
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

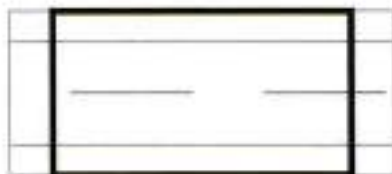
Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Idman 621HGV FG 1xSON-T70W TP P20X
 Luminaire Luminous Flux: 8000 lm
 Luminaire Wattage: 83.2 W
 Arrangement: Single row, bottom
 Pole Distance: 20.000 m
 Mounting Height (1): 5.024 m
 Height: 6.000 m
 Overhang (2): 1.500 m
 Boom Angle (3): 5.0 °
 Boom Length (4): 1.541 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 389 cd/klm
 at 80°: 37 cd/klm
 at 90°: 2.16 cd/klm
 Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
 Arrangement complies with luminous intensity class G3.
 Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	7.60	7.01	5.74	5.64	5.85	5.85	5.64	5.74	7.01	7.60
8.938	14	13	11	11	12	12	11	11	13	14
7.563	25	22	21	18	16	16	18	21	22	25
6.188	<u>31</u>	28	23	18	15	15	18	23	26	<u>31</u>
4.813	28	19	14	10	9.36	9.36	10	14	19	28
3.438	16	12	7.86	5.94	4.86	4.86	5.94	7.86	12	16
2.063	14	10	6.56	4.50	3.87	3.87	4.50	6.56	10	14
0.688	10	7.67	5.28	3.80	<u>3.16</u>	<u>3.16</u>	3.80	5.28	7.67	10
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min}/E_{max}
13	3.16	31	0.251	0.101

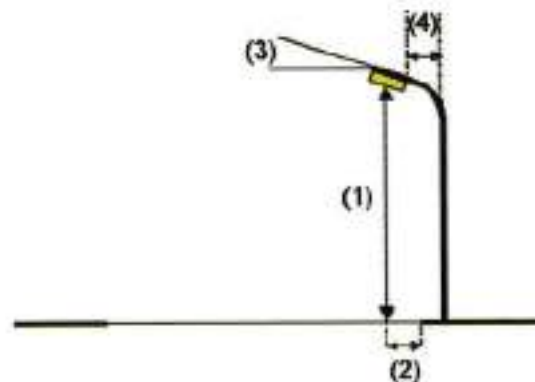
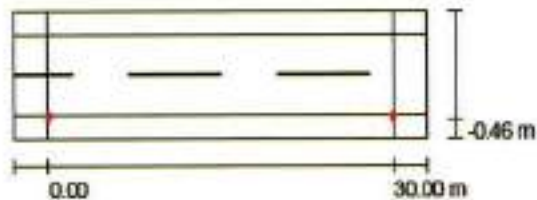
Distância entre postes de 30 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Idman 621HGV FG 1xSON-T70W TP P20X
 Luminaire Luminous Flux: 8000 lm
 Luminaire Wattage: 83.2 W
 Arrangement: Single row, bottom
 Pole Distance: 30.000 m
 Mounting Height (1): 9.965 m
 Height: 10.000 m
 Overhang (2): 0.000 m
 Boom Angle (3): 0.0 °
 Boom Length (4): 0.036 m

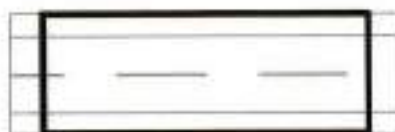
Maximum luminous intensities
 at 70°: 306 cd/klm
 at 80°: 5.26 cd/klm
 at 90°: 1.30 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

No luminous intensities above 95°.

Arrangement complies with luminous intensity class G5.

Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	5.13	4.55	4.03	4.20	4.38	4.38	4.20	4.03	4.55	5.13
8.938	7.96	6.99	6.44	6.18	6.26	6.26	6.18	6.44	6.99	7.96
7.563	11	9.48	9.33	8.28	7.30	7.30	8.28	9.33	9.48	11
6.188	12	11	10	8.64	7.17	7.17	8.64	10	11	12
4.813	13	10	9.14	7.44	5.99	5.99	7.44	9.14	10	13
3.438	11	8.23	6.47	5.08	4.10	4.10	5.08	6.47	8.23	11
2.063	7.26	5.23	3.95	3.15	2.78	2.78	3.15	3.95	5.23	7.26
0.688	5.67	4.66	3.27	2.40	2.01	2.01	2.40	3.27	4.66	5.67
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
6.78	2.01	13	0.296	0.155

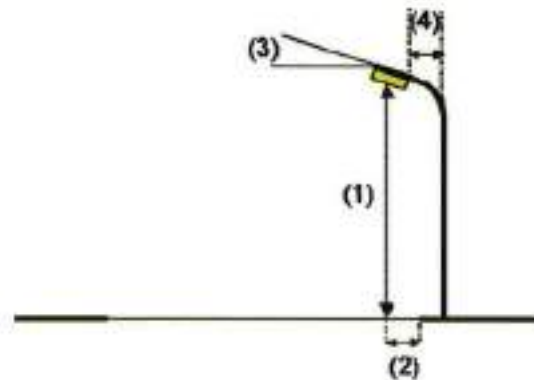
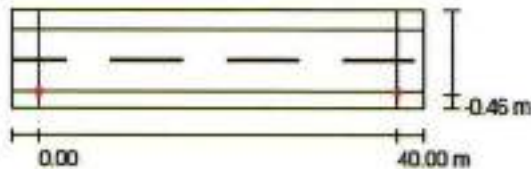
Distância entre postes de 40 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Idman 621HGV FG 1xSON-T70W TP P20X	
Luminaire Luminous Flux:	6000 lm	Maximum luminous intensities
Luminaire Wattage:	83.2 W	at 70°: 306 cd/km
Arrangement:	Single row, bottom	at 80°: 5.26 cd/km
Pole Distance:	40.000 m	at 90°: 1.30 cd/km
Mounting Height (1):	14.965 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
Height:	15.000 m	No luminous intensities above 95°.
Overhang (2):	0.000 m	Arrangement complies with luminous intensity class G5.
Boom Angle (3):	0.0 °	Arrangement complies with glare index class D.6.
Boom Length (4):	0.036 m	

Current Selection
 Further Selections



10.313	5.13	4.65	4.57	4.58	4.45	4.20	3.93	3.93	4.20	4.45
8.938	5.69	5.24	4.95	4.98	4.66	4.36	3.96	3.96	4.36	4.66
7.563	5.89	5.39	5.11	4.81	4.58	4.24	3.73	3.73	4.24	4.58
6.188	<u>5.90</u>	5.27	4.77	4.46	4.03	3.65	3.22	3.22	3.65	4.03
4.813	5.52	4.78	4.15	3.80	3.33	2.87	2.43	2.43	2.87	3.33
3.438	4.15	3.67	3.21	2.74	2.44	2.12	1.91	1.91	2.12	2.44
2.063	3.13	2.86	2.41	2.02	1.78	1.56	1.43	1.43	1.56	1.78
0.688	2.71	2.59	2.16	1.77	1.45	1.26	<u>1.14</u>	<u>1.14</u>	1.26	1.45
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Current Selection
 Further Selections



10.313	4.58	4.57	4.65	5.13
8.938	4.98	4.95	5.24	5.89
7.563	4.81	5.12	5.39	5.89
6.188	4.48	4.77	5.27	<u>5.90</u>
4.813	3.80	4.15	4.78	5.52
3.438	2.74	3.21	3.67	4.15
2.063	2.02	2.41	2.86	3.13
0.688	1.77	2.16	2.59	2.71
m	30.000	32.857	35.714	38.571

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 14 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
3.87	1.14	5.90	0.309	0.182

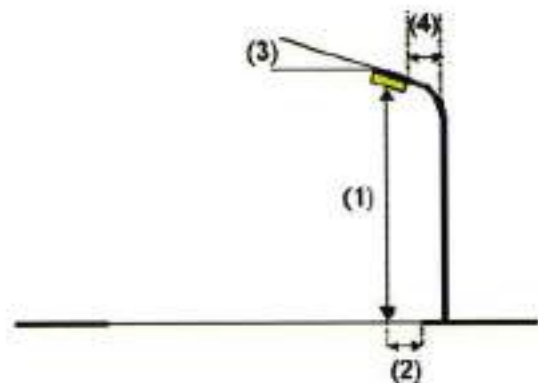
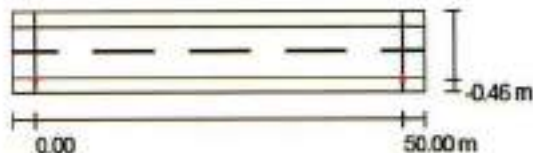
Distância entre postes de 50 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.000 m)
Roadway 1	(Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Idman 621HGV FG 1xSON-T70W TP P20X
Luminaire Luminous Flux:	6000 lm
Luminaire Wattage:	83.2 W
Arrangement:	Single row, bottom
Pole Distance:	50.000 m
Mounting Height (1):	14.924 m
Height:	15.000 m
Overhang (2):	0.000 m
Boom Angle (3):	5.0 °
Boom Length (4):	0.041 m

Maximum luminous intensities	
at 70°:	399 cd/klm
at 80°:	37 cd/klm
at 90°:	2.16 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.6.

Current Selection
 Further Selections



10.313	4.71	4.33	3.95	3.94	3.56	3.29	2.70	2.56	2.49	2.58
8.938	4.99	4.47	4.18	3.84	3.57	3.20	2.57	2.45	2.36	2.45
7.563	<u>5.08</u>	4.47	3.94	3.63	3.22	2.83	2.26	2.15	2.02	2.15
6.188	4.92	4.12	3.48	3.16	2.71	2.26	1.82	1.73	1.68	1.73
4.813	3.86	3.30	2.78	2.29	1.95	1.64	1.43	1.39	1.37	1.39
3.438	2.98	2.62	2.14	1.69	1.43	1.22	1.10	1.08	1.06	1.08
2.063	2.61	2.45	1.94	1.52	1.23	1.03	0.88	0.81	0.79	0.81
0.688	2.55	2.35	1.92	1.43	1.14	0.93	0.79	0.71	<u>0.69</u>	0.71
m	1.471	4.412	7.353	10.294	13.235	16.176	19.118	22.059	25.000	27.941

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Current Selection
 Further Selections



10.313	2.70	3.29	3.56	3.94	3.95	4.33	4.71
8.938	2.57	3.20	3.57	3.84	4.18	4.47	4.99
7.563	2.26	2.83	3.22	3.63	3.94	4.47	<u>5.08</u>
6.188	1.82	2.26	2.71	3.16	3.48	4.12	4.92
4.813	1.43	1.64	1.95	2.29	2.78	3.30	3.86
3.438	1.10	1.22	1.43	1.69	2.14	2.62	2.98
2.063	0.88	1.03	1.23	1.52	1.94	2.45	2.61
0.688	0.79	0.93	1.14	1.43	1.92	2.35	2.55
m	30.882	33.824	36.765	39.706	42.647	45.588	48.529

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 17 x 8 Points

E_{av} [lx]
 2.55

E_{min} [lx]
 0.69

E_{max} [lx]
 5.08

u_0
 0.269

E_{min}/E_{max}
 0.135

- Luminária LED A:



Figura 51 - Luminária LED A

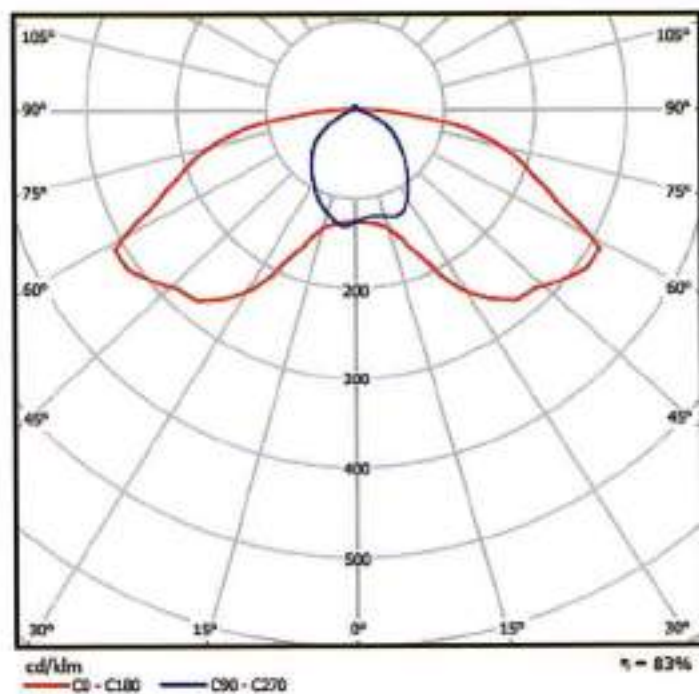


Figura 52 - Diagrama Polar da luminária LED A

Arranjo Unilateral:

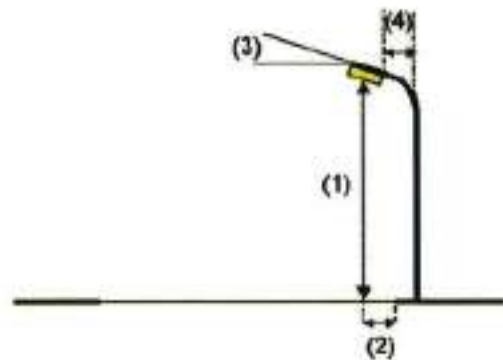
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.000 m)
Roadway 1	(Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements

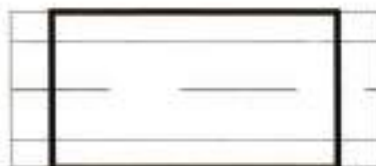


Luminaire:	Philips Residium LED BGS224 1xLLM1800/730
Luminaire Luminous Flux:	2160 lm
Luminaire Wattage:	33.6 W
Arrangement:	Single row, bottom
Pole Distance:	20.000 m
Mounting Height (1):	6.824 m
Height:	7.000 m
Overhang (2):	0.500 m
Boom Angle (3):	15.0 °
Boom Length (4):	1.047 m

Maximum luminous intensities	
at 70°:	295 cd/klm
at 80°:	180 cd/klm
at 90°:	52 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with glare index class D.4.



10.313	<u>1.63</u>	1.89	2.19	2.42	2.36	2.36	2.42	2.19	1.89	<u>1.63</u>
8.938	2.16	2.43	2.84	2.96	2.84	2.84	2.96	2.85	2.43	2.16
7.563	2.68	2.86	3.30	3.36	3.09	3.09	3.36	3.30	2.87	2.69
6.188	3.16	3.25	3.65	3.68	3.25	3.25	3.68	3.65	3.25	3.16
4.813	3.71	3.90	4.41	3.90	3.47	3.47	3.90	4.41	3.90	3.71
3.438	4.64	5.33	<u>5.37</u>	4.83	4.14	4.14	4.63	<u>5.37</u>	5.33	4.64
2.063	4.52	4.97	5.25	4.22	3.76	3.76	4.22	5.25	4.97	4.52
0.688	3.37	3.93	4.29	3.60	3.28	3.28	3.60	4.29	3.93	3.37
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
3.52	1.63	5.37	0.462	0.303

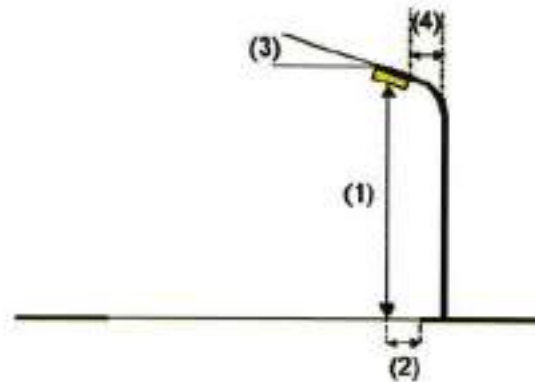
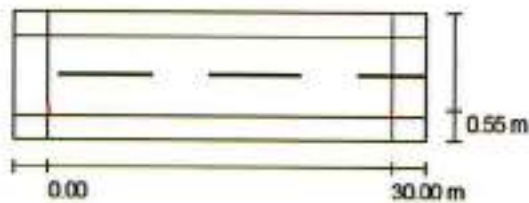
Distância entre postes de 30 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



- Luminaire: Philips Residium LED BGS224 1xLLM1800/730
- Luminaire Luminous Flux: 2160 lm
- Luminaire Wattage: 33.6 W
- Arrangement: Single row, bottom
- Pole Distance: 30.000 m
- Mounting Height (1): 5.824 m
- Height: 6.000 m
- Overhang (2): 0.500 m
- Boom Angle (3): 15.0 °
- Boom Length (4): 1.047 m

- Maximum luminous intensities
- at 70°: 295 cd/klm
- at 80°: 180 cd/klm
- at 90°: 52 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with glare index class D.4.



10.313	1.23	1.51	1.52	1.16	0.96	0.96	1.16	1.52	1.51	1.23
8.938	1.85	2.28	1.98	1.44	1.09	1.09	1.44	1.98	2.28	1.85
7.563	2.63	3.21	2.42	1.61	1.11	1.11	1.61	2.42	3.21	2.63
6.188	3.38	3.86	2.67	1.64	1.05	1.05	1.64	2.67	3.86	3.38
4.813	4.07	4.72	2.84	1.70	1.03	1.03	1.70	2.84	4.72	4.07
3.438	5.69	6.08	3.51	1.89	1.05	1.05	1.89	3.51	6.08	5.69
2.063	5.83	<u>6.11</u>	3.20	1.67	0.97	0.97	1.67	3.20	<u>6.11</u>	5.83
0.688	4.06	4.59	2.72	1.36	<u>0.88</u>	<u>0.88</u>	1.36	2.72	4.59	4.06
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
2.57	0.88	6.11	0.342	0.143

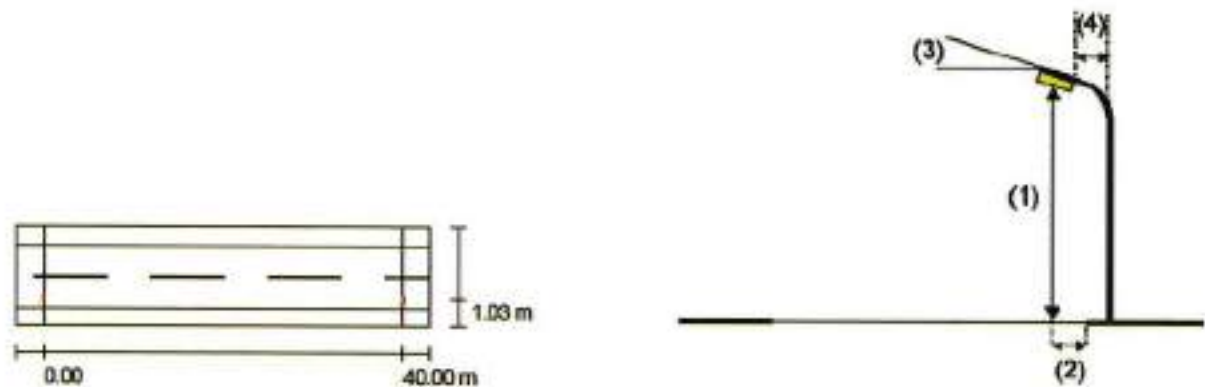
Distância entre postes de 40 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips Residium LED BGS224 1xLLM1800/730	
Luminaire Luminous Flux:	2160 lm	Maximum luminous intensities
Luminaire Wattage:	33.6 W	at 70°: 265 cd/klm
Arrangement:	Single row, bottom	at 80°: 160 cd/klm
Pole Distance:	40.000 m	at 90°: 27 cd/klm
Mounting Height (1):	8.821 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
Height:	9.000 m	Arrangement complies with luminous intensity class G1.
Overhang (2):	1.000 m	Arrangement complies with glare index class D.4.
Boom Angle (3):	10.0 °	
Boom Length (4):	1.532 m	

- Current Selection
- Further Selections



10.313	1.20	1.43	1.55	1.29	1.03	0.82	0.69	0.69	0.82	1.03
8.938	1.50	1.67	1.82	1.45	1.10	0.85	0.68	0.68	0.85	1.10
7.563	1.75	1.84	2.01	1.58	1.10	0.84	0.65	0.65	0.84	1.10
6.188	1.94	2.00	2.16	1.60	1.10	0.84	0.64	0.64	0.84	1.10
4.813	2.21	2.48	2.40	1.65	1.18	0.88	0.65	0.65	0.88	1.18
3.438	2.63	<u>3.06</u>	2.71	1.95	1.31	0.93	0.67	0.67	0.93	1.31
2.063	2.56	2.84	2.70	1.79	1.23	0.86	0.64	0.64	0.86	1.23
0.688	2.13	2.38	2.34	1.61	1.14	0.78	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>	0.78	1.14
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

- Current Selection
- Further Selections



10.313	1.29	1.55	1.43	1.21
8.938	1.45	1.82	1.68	1.50
7.563	1.56	2.01	1.84	1.75
6.188	1.60	2.16	2.00	1.94
4.813	1.65	2.40	2.48	2.21
3.438	1.95	2.72	<u>3.06</u>	2.63
2.063	1.79	2.70	2.84	2.56
0.688	1.61	2.34	2.38	2.13
m	30.000	32.857	35.714	38.571

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 14 x 8 Points

E_{av} [lx]
1.53

E_{min} [lx]
0.58

E_{max} [lx]
3.06

$u0$
0.382

E_{min}/E_{max}
0.190

- Luminária LED B:



Figura 53 - Luminária LED B

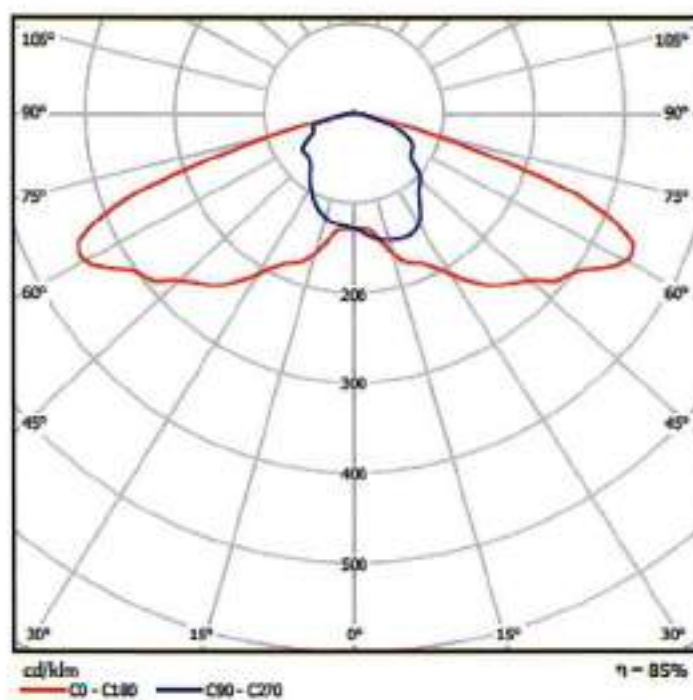


Figura 54 - Diagrama Polar da luminária LED B

Arranjo Unilateral:

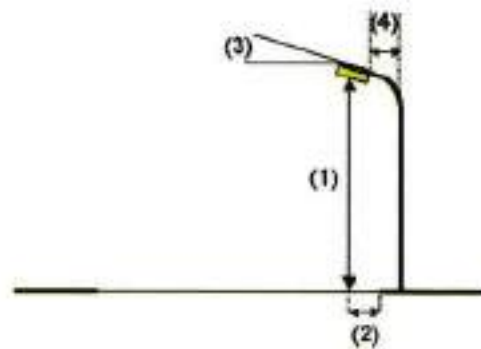
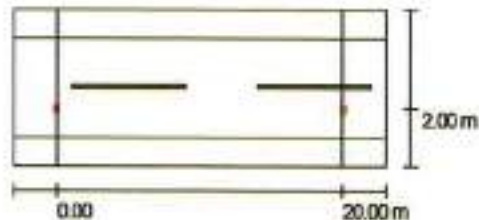
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements

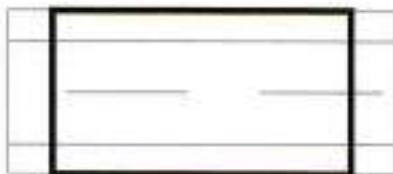


Luminaire: Philips Kofler2 BGP070 GB 1xLLM3000/740 FR
 Luminaire Luminous Flux: 3600 lm
 Luminaire Wattage: 42.0 W
 Arrangement: Single row, bottom
 Pole Distance: 20.000 m
 Mounting Height (1): 5.837 m
 Height: 6.000 m
 Overhang (2): 2.000 m
 Boom Angle (3): 0.0 °
 Boom Length (4): 2.500 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 261 cd/klm
 at 80°: 45 cd/klm
 at 90°: 1.60 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
 Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	<u>2.56</u>	3.16	4.89	4.94	4.59	4.59	4.94	4.89	3.16	<u>2.56</u>
8.938	4.21	4.23	5.52	5.79	5.41	5.41	5.79	5.52	4.23	4.21
7.563	6.44	6.07	6.20	6.40	5.90	5.90	6.40	6.20	6.07	6.44
6.188	8.81	8.64	7.62	6.87	6.28	6.28	6.87	7.62	8.64	8.81
4.813	9.70	<u>10</u>	8.75	7.20	6.47	6.47	7.20	8.75	<u>10</u>	9.70
3.438	9.23	9.99	8.87	7.16	6.27	6.27	7.16	8.87	9.99	9.23
2.063	7.59	8.42	7.56	6.35	5.60	5.60	6.35	7.56	8.42	7.59
0.688	5.25	5.94	5.67	4.99	4.58	4.58	4.99	5.67	5.94	5.25
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
6.50	2.56	10	0.394	0.258

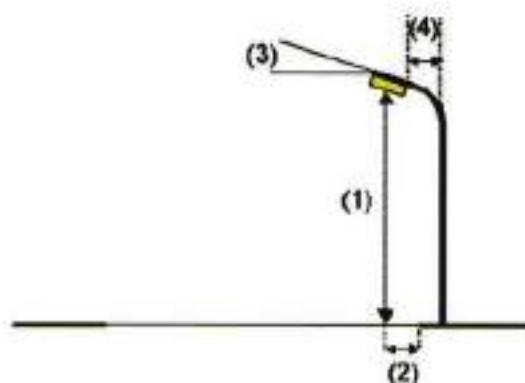
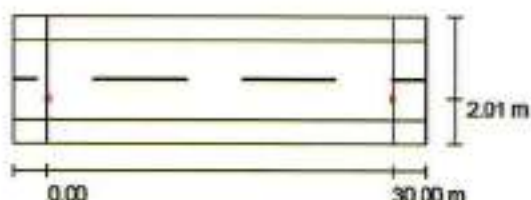
Distância entre postes de 30 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



- Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 GB 1xLLM3000/740 FR
- Luminaire Luminous Flux: 3600 lm
- Luminaire Wattage: 42.0 W
- Arrangement: Single row, bottom
- Pole Distance: 30.000 m
- Mounting Height (1): 7.838 m
- Height: 8.000 m
- Overhang (2): 2.000 m
- Boom Angle (3): 5.0 °
- Boom Length (4): 2.514 m

- Maximum luminous intensities
- at 70°: 296 cd/klm
- at 80°: 76 cd/klm
- at 90°: 11 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	2.63	2.45	2.65	2.74	2.38	2.38	2.74	2.65	2.45	2.63	
8.938	3.57	3.22	3.10	2.92	2.52	2.52	2.92	3.10	3.22	3.57	
7.563	4.47	4.22	3.60	3.08	2.65	2.65	3.08	3.60	4.22	4.47	
6.188	5.07	4.92	4.01	3.24	2.78	2.78	3.24	4.01	4.92	5.07	
4.813	5.29	<u>5.35</u>	4.29	3.28	2.87	2.87	3.28	4.29	<u>5.35</u>	5.29	
3.438	5.08	5.25	4.24	3.12	2.83	2.83	3.12	4.24	5.25	5.08	
2.063	4.40	4.72	3.79	2.85	2.62	2.62	2.85	3.79	4.72	4.40	
0.688	3.38	3.74	3.15	2.49	<u>2.31</u>	<u>2.31</u>	2.49	3.15	3.74	3.38	
	m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
3.53	2.31	5.35	0.655	0.432

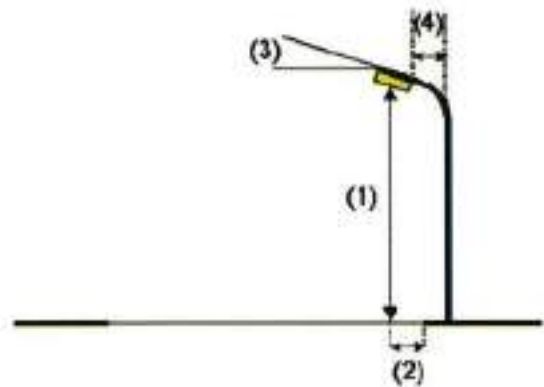
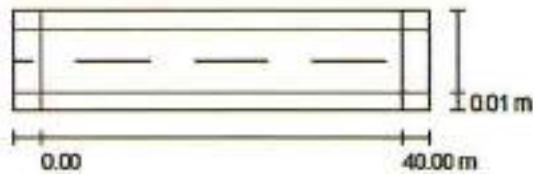
Distância entre postes de 40 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

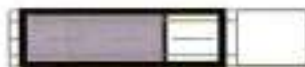
Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips Koffer2 BGP070 GB 1xLLM3000/740 FR	
Luminaire Luminous Flux:	3600 lm	Maximum luminous intensities
Luminaire Wattage:	42.0 W	at 70°: 296 cd/klm
Arrangement:	Single row, bottom	at 80°: 76 cd/klm
Pole Distance:	40.000 m	at 90°: 11 cd/klm
Mounting Height (1):	7.838 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.
Height:	8.000 m	Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Overhang (2):	0.000 m	Arrangement complies with glare index class D.6.
Boom Angle (3):	5.0 °	
Boom Length (4):	0.514 m	

- Current Selection
- Further Selections



10.313	1.53	1.53	2.02	1.98	1.54	1.15	<u>0.95</u>	<u>0.95</u>	1.15	1.54
8.938	2.15	2.00	2.23	2.22	1.69	1.23	1.02	1.02	1.23	1.69
7.563	3.00	2.71	2.58	2.41	1.80	1.30	1.09	1.09	1.30	1.80
6.188	3.95	3.68	3.12	2.60	1.89	1.37	1.15	1.15	1.37	1.89
4.813	4.71	4.52	3.63	2.74	1.94	1.42	1.20	1.20	1.42	1.94
3.438	5.08	5.08	4.03	2.86	2.00	1.49	1.25	1.25	1.49	2.00
2.063	5.07	<u>5.23</u>	4.17	2.80	1.98	1.50	1.25	1.25	1.50	1.98
0.688	4.59	4.89	3.85	2.59	1.86	1.46	1.20	1.20	1.46	1.86
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

- Current Selection
- Further Selections



10.313	1.98	2.02	1.53	1.53
8.938	2.22	2.23	2.00	2.15
7.563	2.41	2.58	2.71	3.00
6.188	2.60	3.12	3.68	3.95
4.813	2.74	3.63	4.52	4.71
3.438	2.86	4.03	5.08	5.08
2.063	2.80	4.17	<u>5.23</u>	5.07
0.688	2.59	3.85	4.89	4.59
m	30.000	32.857	35.714	38.571

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 14 x 8 Points

E_{av} [lx]
2.51

E_{min} [lx]
0.95

E_{max} [lx]
5.23

μ_0
0.379

E_{min} / E_{max}
0.182

- Luminária LED C:

Distância entre postes de 20 metros:



Figura 55 - Luminária LED C

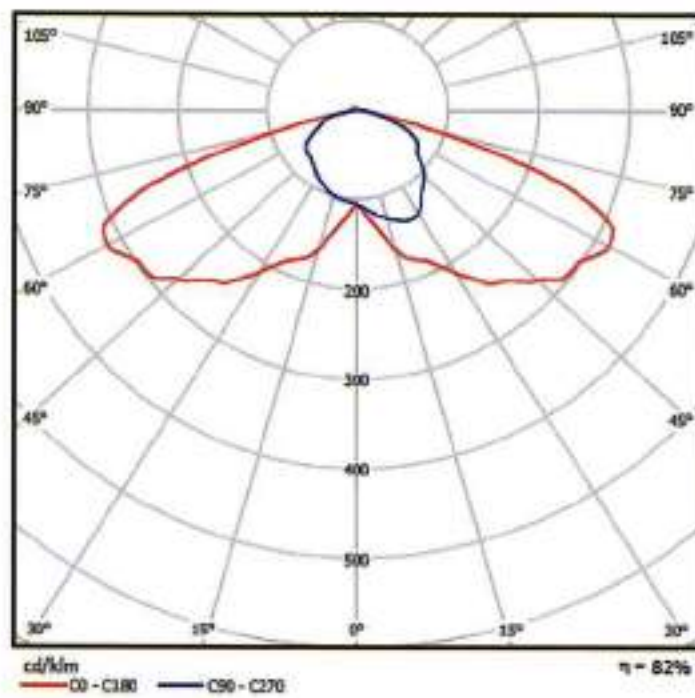


Figura 56 - Diagrama Polar da luminária LED C

Arranjo Unilateral:

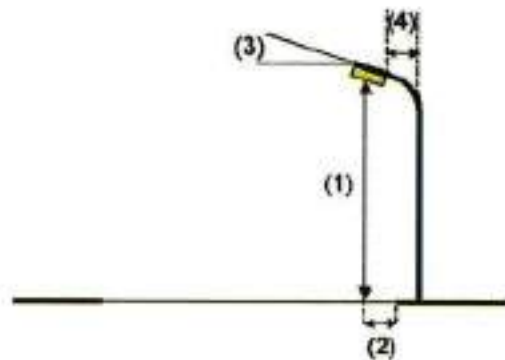
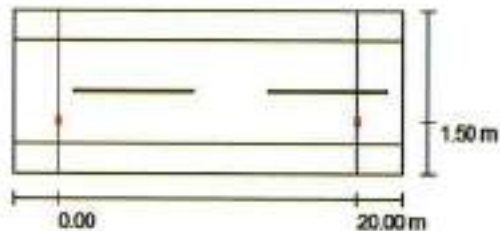
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.000 m)
Roadway 1	(Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements

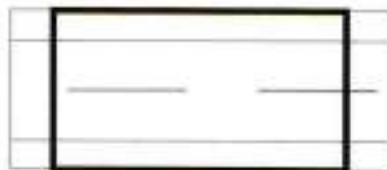


Luminaire:	Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
Luminaire Luminous Flux:	5400 lm
Luminaire Wattage:	72.0 W
Arrangement:	Single row, bottom
Pole Distance:	20.000 m
Mounting Height (1):	5.867 m
Height:	6.000 m
Overhang (2):	1.500 m
Boom Angle (3):	0.0 °
Boom Length (4):	2.000 m

Maximum luminous intensities	
at 70°:	242 cd/klm
at 80°:	28 cd/klm
at 90°:	0.11 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	<u>3.38</u>	4.35	6.76	6.76	6.14	6.14	6.78	6.76	4.35	<u>3.38</u>
8.938	5.36	5.68	7.66	8.10	7.27	7.27	8.10	7.66	5.68	5.36
7.563	8.27	8.03	8.58	9.08	8.06	8.06	9.08	8.58	8.03	8.27
6.188	12	12	11	9.99	8.75	8.75	9.99	11	12	12
4.813	14	<u>15</u>	13	11	9.14	9.14	11	13	<u>15</u>	14
3.438	14	<u>15</u>	13	11	9.08	9.08	11	13	<u>15</u>	14
2.063	12	14	12	10	8.40	8.40	10	12	14	12
0.688	8.78	10	9.62	8.34	7.09	7.09	8.34	9.62	10	8.78
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 6 Points

E_{av} [lx]
9.53

E_{min} [lx]
3.38

E_{max} [lx]
15

u0
0.355

E_{min} / E_{max}
0.219

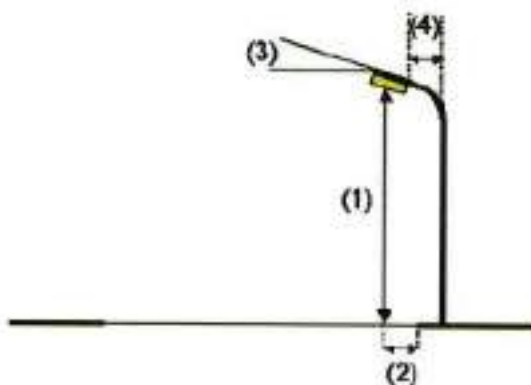
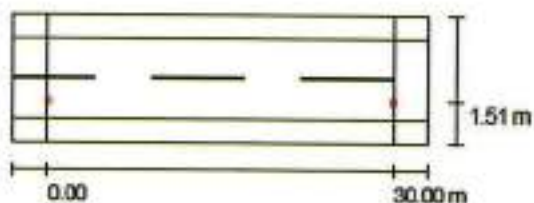
Distância entre postes de 30 metros:

Street Profile

- Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
- Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
- Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.80

Luminaire Arrangements

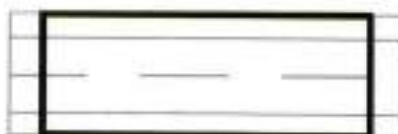


- Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
- Luminaire Luminous Flux: 5400 lm
- Luminaire Wattage: 72.0 W
- Arrangement: Single row, bottom
- Pole Distance: 30.000 m
- Mounting Height (1): 6.668 m
- Height: 7.000 m
- Overhang (2): 1.500 m
- Boom Angle (3): 5.0 °
- Boom Length (4): 2.012 m

- Maximum luminous intensities
- at 70°: 277 cd/klm
- at 80°: 51 cd/klm
- at 90°: 4.12 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.6.



10.313	4.02	4.09	4.94	4.25	<u>3.28</u>	<u>3.28</u>	4.25	4.94	4.09	4.02
8.938	5.92	5.26	5.57	4.64	3.52	3.52	4.64	5.57	5.26	5.92
7.563	8.36	7.32	6.47	5.03	3.76	3.76	5.03	6.47	7.32	8.36
6.188	11	9.71	7.31	5.30	4.00	4.00	5.30	7.31	9.71	11
4.813	<u>12</u>	11	7.93	5.36	4.20	4.20	5.36	7.93	11	<u>12</u>
3.438	<u>12</u>	<u>12</u>	8.04	5.21	4.27	4.27	5.21	8.04	<u>12</u>	<u>12</u>
2.063	9.98	10	7.57	4.82	4.08	4.08	4.82	7.57	10	9.98
0.688	7.51	8.21	6.16	4.17	3.59	3.59	4.17	6.16	8.21	7.51
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
6.53	3.28	12	0.503	0.279

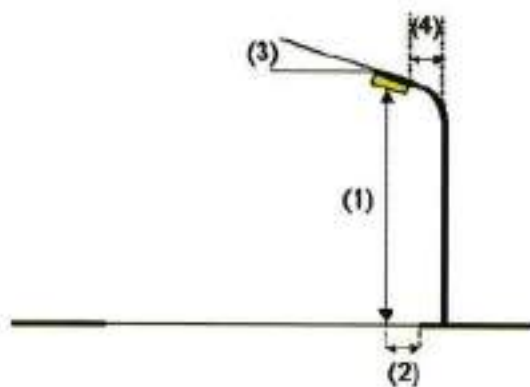
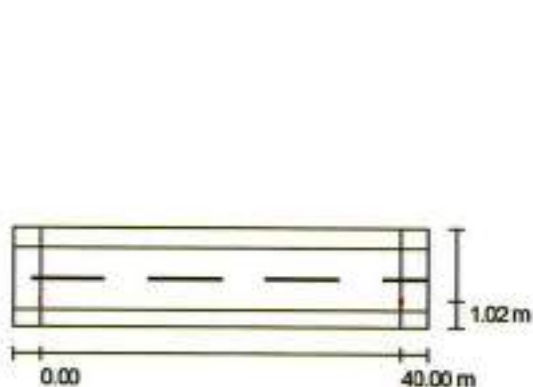
Distância entre postes de 40 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 2.000 m)
 Roadway 1 (Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



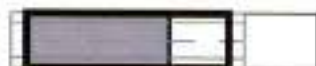
Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
 Luminaire Luminous Flux: 5400 lm
 Luminaire Wattage: 72.0 W
 Arrangement: Single row, bottom
 Pole Distance: 40.000 m
 Mounting Height (1): 8.869 m
 Height: 9.000 m
 Overhang (2): 1.000 m
 Boom Angle (3): 10.0 °
 Boom Length (4): 1.523 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 324 cd/klm
 at 80°: 144 cd/klm
 at 90°: 19 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G2.
 Arrangement complies with glare index class D.6.


Current Selection
 Further Selections



10.313	3.11	3.04	2.69	2.66	2.45	1.98	<u>1.67</u>	<u>1.67</u>	1.98	2.45
8.938	3.97	3.95	3.41	3.06	2.61	2.08	1.76	1.76	2.08	2.61
7.563	4.71	4.77	4.18	3.41	2.75	2.16	1.85	1.85	2.16	2.75
6.188	5.26	5.58	4.94	3.74	2.86	2.23	1.93	1.93	2.24	2.86
4.813	5.67	6.18	5.45	3.96	2.86	2.28	2.00	2.00	2.28	2.86
3.438	5.70	<u>6.34</u>	5.43	4.02	2.79	2.28	2.01	2.01	2.28	2.79
2.063	5.27	6.00	5.15	3.88	2.64	2.17	1.93	1.93	2.17	2.64
0.688	4.47	5.16	4.50	3.46	2.40	1.98	1.77	1.77	1.98	2.40
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Current Selection
 Rather Selections



10.313	2.68	2.69	3.04	3.11
8.938	3.08	3.41	3.95	3.97
7.563	3.41	4.18	4.77	4.71
6.188	3.74	4.84	5.58	5.26
4.813	3.96	5.45	6.18	5.67
3.438	4.02	5.43	<u>6.34</u>	5.70
2.063	3.88	5.15	6.00	5.27
0.688	3.48	4.50	5.16	4.47
m	30.000	32.857	35.714	38.571

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 14 x 8 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$	E_{min} / E_{max}
3.51	1.67	6.34	0.477	0.264

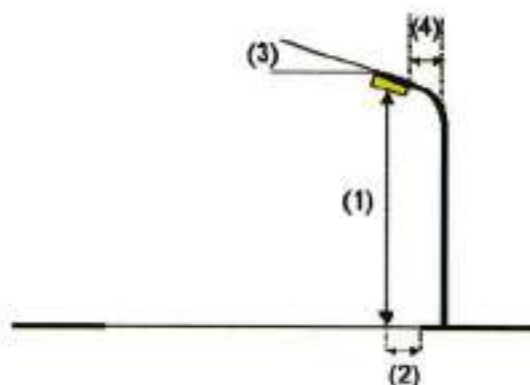
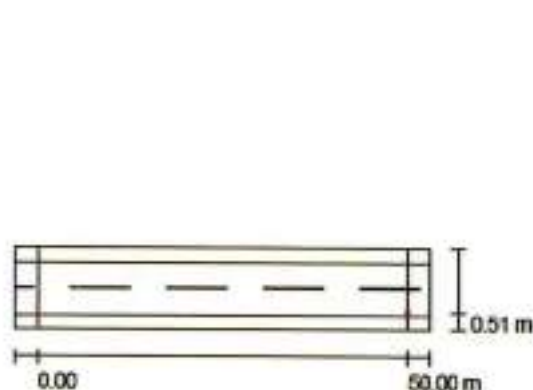
Distância entre postes de 50 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.000 m)
Roadway 1	(Width: 7.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 2.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
Luminaire Luminous Flux:	5400 lm
Luminaire Wattage:	72.0 W
Arrangement:	Single row, bottom
Pole Distance:	50.000 m
Mounting Height (1):	10.368 m
Height:	10.500 m
Overhang (2):	0.500 m
Boom Angle (3):	5.0 °
Boom Length (4):	1.012 m

Maximum luminous intensities	
at 70°:	277 cd/klm
at 80°:	51 cd/klm
at 90°:	4.12 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.
Arrangement complies with glare index class D.8.

Current Selection
 Further Selections



10.313	2.40	2.37	2.10	2.14	2.06	1.60	1.25	1.03	<u>0.97</u>	1.03
8.938	3.05	3.04	2.57	2.44	2.20	1.69	1.30	1.08	1.02	1.08
7.563	3.60	3.65	3.17	2.76	2.30	1.76	1.35	1.13	1.07	1.13
6.188	3.96	4.18	3.76	3.03	2.40	1.81	1.39	1.18	1.10	1.18
4.813	4.17	4.63	4.17	3.23	2.48	1.83	1.43	1.21	1.13	1.21
3.438	4.24	<u>4.87</u>	4.34	3.38	2.51	1.82	1.45	1.24	1.16	1.24
2.063	4.09	4.77	4.28	3.37	2.44	1.76	1.44	1.23	1.15	1.23
0.688	3.72	4.37	3.96	3.16	2.29	1.68	1.38	1.19	1.12	1.19
m	1.471	4.412	7.353	10.294	13.235	16.176	19.118	22.059	25.000	27.941

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Current Selection
 Further Selections



10.313	1.25	1.60	2.06	2.14	2.10	2.37	2.40
8.938	1.30	1.69	2.20	2.44	2.58	3.04	3.05
7.563	1.35	1.76	2.30	2.76	3.17	3.65	3.60
6.188	1.39	1.81	2.40	3.03	3.76	4.18	3.96
4.813	1.43	1.83	2.48	3.23	4.17	4.63	4.18
3.438	1.45	1.82	2.51	3.38	4.34	<u>4.87</u>	4.24
2.063	1.44	1.76	2.44	3.37	4.28	4.77	4.09
0.688	1.38	1.68	2.29	3.16	3.96	4.37	3.72
m	30.882	33.824	36.765	39.706	42.647	45.588	48.529

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 17 x 8 Points

E_{av} [lx]
 2.50

E_{min} [lx]
 0.97

E_{max} [lx]
 4.87

u_0
 0.389

E_{min} / E_{max}
 0.200

Arranjo Bilateral Frontal:

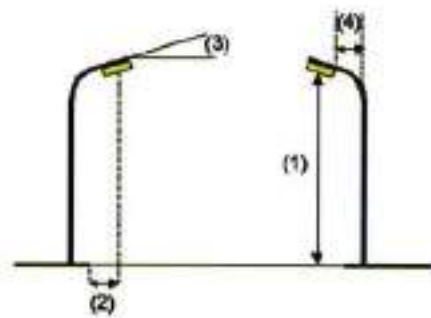
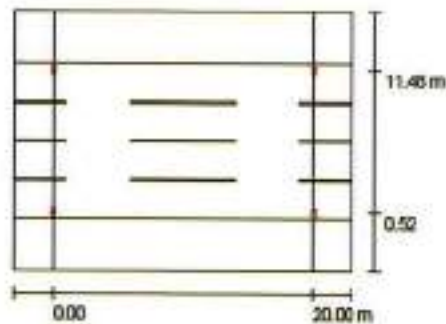
Distância entre postes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 4.000 m)
Roadway 1	(Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire:	Philips Kofler2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR	Maximum luminous intensities
Luminaire Luminous Flux:	5400 lm	at 70°: 324 cd/klm
Luminaire Wattage:	72.0 W	at 80°: 144 cd/klm
Arrangement:	Double row, opposing	at 90°: 19 cd/klm
Pole Distance:	20.000 m	Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire isolated for use.
Mounting Height (1):	4.869 m	Arrangement complies with luminous intensity class G2.
Height:	5.000 m	Arrangement complies with glare index class 0.6.
Overhang (2):	0.500 m	
Boom Angle (3):	10.0 °	
Boom Length (4):	1.023 m	



19.286	6.72	7.86	7.33	6.21	<u>5.66</u>	<u>5.66</u>	6.21	7.33	7.86	6.72
17.857	11	13	11	9.05	8.25	8.25	9.05	11	13	11
16.429	18	19	16	12	11	11	12	16	19	18
15.000	21	<u>22</u>	18	14	12	12	14	18	<u>22</u>	21
13.571	20	20	18	15	13	13	15	18	20	20
12.143	16	16	16	15	13	13	15	16	16	16
10.714	13	12	14	15	13	13	15	14	12	13
9.286	13	12	14	15	13	13	15	14	12	13
7.857	10	10	10	15	13	13	15	16	16	16
6.429	20	20	18	15	13	13	15	18	20	20
5.000	21	<u>22</u>	18	14	12	12	14	18	<u>22</u>	21
3.571	18	19	16	12	11	11	12	16	19	18
2.143	11	13	11	9.05	8.25	8.25	9.05	11	13	11
0.714	6.72	7.86	7.33	6.21	<u>5.66</u>	<u>5.66</u>	6.21	7.33	7.86	6.72
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
14	5.66	22	0.415	0.266

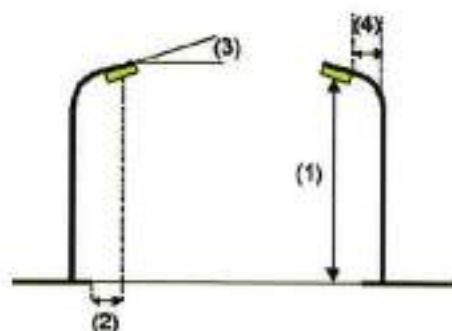
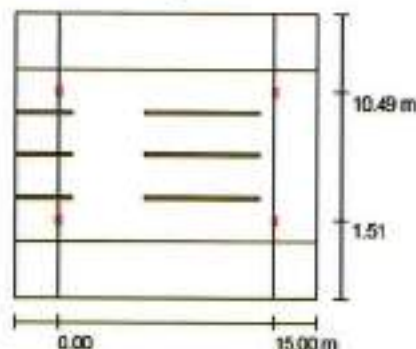
Distância entre postes de 15 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
 Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

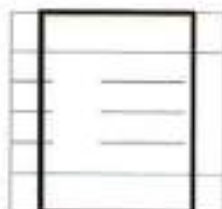
Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 FG
 Luminaire Luminous Flux: 5400 lm
 Luminaire Wattage: 72.0 W
 Arrangement: Double row, opposing
 Pole Distance: 15.000 m
 Mounting Height (1): 4.868 m
 Height: 5.000 m
 Overhang (2): 1.500 m
 Boom Angle (3): 5.0 °
 Boom Length (4): 2.012 m

1xLLM500/730 FR
 Maximum luminous intensities
 at 70°: 277 cd/klm
 at 80°: 51 cd/klm
 at 90°: 4.12 cd/klm
 Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaires installed for use.
 Arrangement complies with luminous intensity class G3.
 Arrangement complies with glare index class D.6.



19.286	<u>6.09</u>	7.08	7.74	7.85	7.63	7.63	7.85	7.74	7.08	<u>6.09</u>
17.857	9.67	12	12	12	12	12	12	12	12	9.67
16.429	16	19	19	18	16	18	18	19	19	16
15.000	22	25	25	23	20	20	23	25	25	22
13.571	24	<u>27</u>	<u>27</u>	25	23	23	25	<u>27</u>	<u>27</u>	24
12.143	23	23	24	25	25	25	25	24	23	23
10.714	19	20	21	24	26	26	24	21	20	19
9.286	19	20	21	24	26	26	24	21	20	19
7.857	23	23	24	25	25	25	25	24	23	23
6.429	24	<u>27</u>	<u>27</u>	25	23	23	25	<u>27</u>	<u>27</u>	24
5.000	22	25	25	23	20	20	23	25	25	22
3.571	16	19	19	18	16	16	18	19	19	16
2.143	9.67	12	12	12	12	12	12	12	12	9.67
0.714	<u>6.09</u>	7.08	7.74	7.85	7.63	7.63	7.85	7.74	7.08	<u>6.09</u>
m	0.750	2.250	3.750	5.250	6.750	8.250	9.750	11.250	12.750	14.250

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx] 19 E_{min} [lx] 6.09 E_{max} [lx] 27 $u0$ 0.326 E_{min} / E_{max} 0.223

Arranjo Bilateral Alternado:

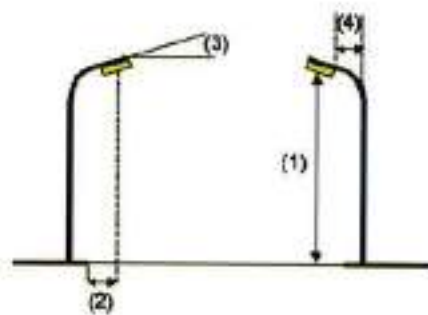
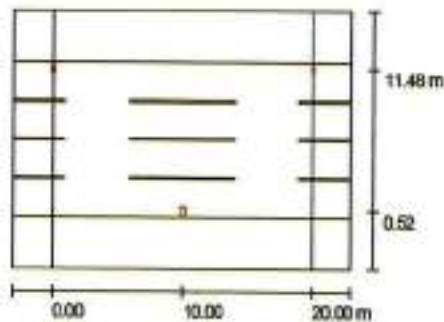
Distância entre postes adjacentes de 20 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
 Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
 Luminaire Luminous Flux: 5400 lm
 Luminaire Wattage: 72.0 W
 Arrangement: Double row, with offset
 Pole Distance: 20.000 m
 Mounting Height (1): 4.869 m
 Height: 5.000 m
 Overhang (2): 0.500 m
 Boom Angle (3): 10.0 °
 Boom Length (4): 1.023 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 324 cd/klm
 at 80°: 144 cd/klm
 at 90°: 19 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G2.

Arrangement complies with glare index class D.8.



19.288	7.59	8.42	7.33	5.65	<u>4.79</u>	<u>4.79</u>	5.65	7.33	8.42	7.59
17.657	12	14	11	8.27	7.08	7.08	8.27	11	14	12
16.429	19	20	16	11	9.19	9.19	11	16	20	19
15.090	23	<u>24</u>	18	12	10	10	12	18	<u>24</u>	23
13.671	22	22	18	13	10	10	13	18	22	22
12.143	18	18	16	13	11	11	13	16	18	18
10.714	14	14	14	13	12	12	13	14	14	14
9.286	12	13	14	14	14	14	14	14	13	12
7.857	11	13	16	16	16	16	16	16	13	11
6.429	10	13	18	22	22	22	22	18	13	10
5.000	10	12	18	<u>24</u>	23	23	<u>24</u>	18	12	10
3.571	9.19	11	16	20	19	19	20	16	11	9.19
2.143	7.08	8.27	11	14	12	12	14	11	8.27	7.08
0.714	<u>4.79</u>	5.65	7.33	8.42	7.59	7.59	8.42	7.33	5.65	<u>4.79</u>
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx] 14 E_{min} [lx] 4.79 E_{max} [lx] 24 $u0$ 0.351 E_{max} / E_{min} 0.203

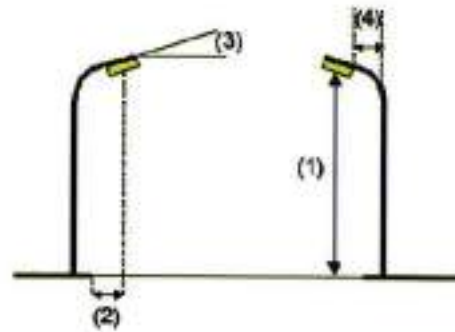
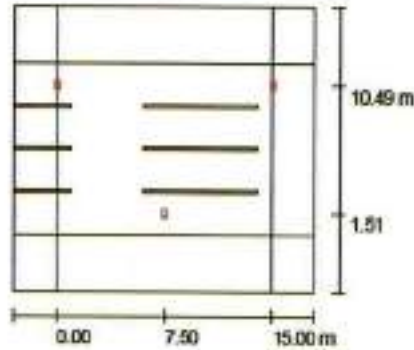
Distância entre postes adjacentes de 15 metros:

Street Profile

Sidewalk 2 (Width: 4.000 m)
 Roadway 1 (Width: 12.000 m, Number of lanes: 4, tarmac: R3, q0: 0.070)
 Sidewalk 1 (Width: 4.000 m)

Maintenance factor: 0.70

Luminaire Arrangements



Luminaire: Philips Koffer2 BGP070 FG 1xLLM4500/730 FR
 Luminaire Luminous Flux: 5400 lm
 Luminaire Wattage: 72.0 W
 Arrangement: Double row, with offset
 Pole Distance: 15.000 m
 Mounting Height (1): 4.868 m
 Height: 5.000 m
 Overhang (2): 1.500 m
 Boom Angle (3): 5.0 °
 Boom Length (4): 2.012 m

Maximum luminous intensities
 at 70°: 277 cd/klm
 at 80°: 51 cd/klm
 at 90°: 4.12 cd/klm

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.

Arrangement complies with glare index class D.6.



19.286	6.95	7.57	7.74	7.36	<u>6.77</u>	<u>6.77</u>	7.36	7.74	7.57	6.95
17.857	11	12	12	11	10	10	11	12	12	11
16.429	18	20	19	17	14	14	17	19	20	18
15.000	25	27	26	21	18	18	21	25	27	25
13.571	28	<u>30</u>	27	22	19	19	22	27	<u>30</u>	28
12.143	27	28	24	21	20	20	21	24	28	27
10.714	24	23	21	21	21	21	21	21	23	24
9.286	21	21	21	23	24	24	23	21	21	21
7.857	20	21	24	28	27	27	28	24	21	20
6.429	19	22	27	<u>30</u>	28	28	<u>30</u>	27	22	19
5.000	18	21	25	27	25	25	27	25	21	18
3.571	14	17	19	20	18	18	20	19	17	14
2.143	10	11	12	12	11	11	12	12	11	10
0.714	<u>6.77</u>	7.36	7.74	7.57	6.95	6.95	7.57	7.74	7.36	<u>6.77</u>
m	0.760	2.260	3.760	5.260	6.760	8.260	9.760	11.260	12.760	14.260

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Lux.

Grid: 10 x 14 Points

E_{av} [lx] 19 E_{min} [lx] 6.77 E_{max} [lx] 30 $u0$ 0.363 E_{min}/E_{max} 0.228

Anexo 05 – Estudo Econômico

- Retrofit

Valor Presente Líquido - Caso 1					
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total
0	-725,00	0,00	0,00	-725,00	-725,00
1	0,00	12,40	0,00	11,07	-713,93
2	0,00	12,40	0,00	9,89	-704,04
3	0,00	12,40	0,00	8,83	-695,22
4	0,00	12,40	63,16	48,02	-647,20
5	0,00	12,40	0,00	7,04	-640,16
6	0,00	12,40	0,00	6,28	-633,88
7	0,00	12,40	0,00	5,61	-628,27
8	0,00	12,40	63,16	30,52	-597,75
9	0,00	12,40	0,00	4,47	-593,28
10	0,00	12,40	0,00	3,99	-589,29
11	0,00	12,40	0,00	3,56	-585,73
12	0,00	12,40	63,16	19,39	-566,33
13	0,00	12,40	0,00	2,84	-563,49
14	0,00	12,40	0,00	2,54	-560,95
15	0,00	12,40	0,00	2,27	-558,69
16	0,00	12,40	0,00	2,02	-556,67
Porcentagem do Investimento Recuperado (PIR)					23,22

PIR 11 anos
19,21

Valor Presente Líquido - Caso 2					
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total
0	-725,00	0,00	0,00	-725,00	-725,00
1	0,00	24,80	0,00	22,14	-702,86
2	0,00	24,80	0,00	19,77	-683,09
3	0,00	24,80	0,00	17,65	-665,43
4	0,00	24,80	63,16	55,90	-609,54
5	0,00	24,80	0,00	14,07	-595,46
6	0,00	24,80	0,00	12,56	-582,90
7	0,00	24,80	0,00	11,22	-571,68
8	0,00	24,80	63,16	35,52	-536,16
9	0,00	24,80	0,00	8,94	-527,21
10	0,00	24,80	0,00	7,98	-519,23
11	0,00	24,80	0,00	7,13	-512,10
12	0,00	24,80	63,16	22,58	-489,52
13	0,00	24,80	0,00	5,68	-483,84
14	0,00	24,80	0,00	5,07	-478,76
15	0,00	24,80	0,00	4,53	-474,23
16	0,00	24,80	0,00	4,05	-470,19
Porcentagem do Investimento recuperado					35,15

PIR 11 anos
29,37

Valor Presente Líquido - Caso 3						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-725,00	0,00	0,00	-725,00	-725,00	
1	0,00	37,20	0,00	33,21	-691,79	
2	0,00	37,20	0,00	29,66	-662,13	
3	0,00	37,20	0,00	26,48	-635,65	
4	0,00	37,20	63,16	63,78	-571,87	
5	0,00	37,20	0,00	21,11	-550,76	
6	0,00	37,20	0,00	18,85	-531,92	
7	0,00	37,20	0,00	16,83	-515,09	
8	0,00	37,20	63,16	40,53	-474,56	
9	0,00	37,20	0,00	13,41	-461,14	
10	0,00	37,20	0,00	11,98	-449,17	PIR 11 anos
11	0,00	37,20	0,00	10,69	-438,47	39,52
12	0,00	37,20	63,16	25,76	-412,71	
13	0,00	37,20	0,00	8,53	-404,19	
14	0,00	37,20	0,00	7,61	-396,57	
15	0,00	37,20	0,00	6,80	-389,78	
16	0,00	37,20	0,00	6,07	-383,71	
Porcentagem do Investimento recuperado					47,07	

Valor Presente Líquido - Caso 4						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-910,00	0,00	0,00	-910,00	-910,00	
1	0,00	25,67	0,00	22,92	-887,08	
2	0,00	25,67	0,00	20,46	-866,62	
3	0,00	25,67	0,00	18,27	-848,34	
4	0,00	25,67	73,68	63,14	-785,20	
5	0,00	25,67	0,00	14,57	-770,64	
6	0,00	25,67	0,00	13,01	-757,63	
7	0,00	25,67	0,00	11,61	-746,02	
8	0,00	25,67	73,68	40,13	-705,89	
9	0,00	25,67	0,00	9,26	-696,64	
10	0,00	25,67	0,00	8,27	-688,37	PIR 11 anos
11	0,00	25,67	0,00	7,38	-680,99	25,17
12	0,00	25,67	73,68	25,50	-655,49	
13	0,00	25,67	0,00	5,88	-649,61	
14	0,00	25,67	0,00	5,25	-644,35	
15	0,00	25,67	0,00	4,69	-639,66	
16	0,00	25,67	0,00	4,19	-635,48	
Porcentagem do Investimento recuperado					30,17	

Valor Presente Líquido - Caso 5						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-910,00	0,00	0,00	-910,00	-910,00	
1	0,00	51,35	0,00	45,85	-864,15	
2	0,00	51,35	0,00	40,94	-823,22	
3	0,00	51,35	0,00	36,55	-786,67	
4	0,00	51,35	73,68	79,46	-707,20	
5	0,00	51,35	0,00	29,14	-678,07	
6	0,00	51,35	0,00	26,02	-652,05	
7	0,00	51,35	0,00	23,23	-628,82	
8	0,00	51,35	73,68	50,50	-578,32	
9	0,00	51,35	0,00	18,52	-559,81	
10	0,00	51,35	0,00	16,53	-543,27	PIR 11 anos
11	0,00	51,35	0,00	14,76	-528,51	41,92
12	0,00	51,35	73,68	32,09	-496,42	
13	0,00	51,35	0,00	11,77	-484,65	
14	0,00	51,35	0,00	10,51	-474,14	
15	0,00	51,35	0,00	9,38	-464,76	
16	0,00	51,35	0,00	8,38	-456,39	
Porcentagem do Investimento recuperado					49,85	

Valor Presente Líquido - Caso 6						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-910,00	0,00	0,00	-910,00	-910,00	
1	0,00	77,02	0,00	68,77	-841,23	
2	0,00	77,02	0,00	61,40	-779,83	
3	0,00	77,02	0,00	54,82	-725,01	
4	0,00	77,02	73,68	95,78	-629,24	
5	0,00	77,02	0,00	43,70	-585,53	
6	0,00	77,02	0,00	39,02	-546,51	
7	0,00	77,02	0,00	34,84	-511,67	
8	0,00	77,02	73,68	60,87	-450,80	
9	0,00	77,02	0,00	27,77	-423,03	
10	0,00	77,02	0,00	24,80	-398,23	PIR 11 anos
11	0,00	77,02	0,00	22,14	-376,09	58,67
12	0,00	77,02	73,68	38,68	-337,41	
13	0,00	77,02	0,00	17,65	-319,76	
14	0,00	77,02	0,00	15,76	-304,00	
15	0,00	77,02	0,00	14,07	-289,93	
16	0,00	77,02	0,00	12,56	-277,36	
Porcentagem do Investimento recuperado					69,52	

Valor Presente Líquido - Caso 7						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-1400,00	0,00	0,00	-1400,00	-1400,00	
1	0,00	41,87	0,00	37,38	-1362,62	
2	0,00	41,87	0,00	33,38	-1329,24	
3	0,00	41,87	0,00	29,80	-1299,44	
4	0,00	41,87	78,95	76,78	-1222,65	
5	0,00	41,87	0,00	23,76	-1198,90	
6	0,00	41,87	0,00	21,21	-1177,68	
7	0,00	41,87	0,00	18,94	-1158,74	
8	0,00	41,87	78,95	48,80	-1109,95	
9	0,00	41,87	0,00	15,10	-1094,85	
10	0,00	41,87	0,00	13,48	-1081,37	PIR 11 anos
11	0,00	41,87	0,00	12,04	-1069,33	23,62
12	0,00	41,87	78,95	31,01	-1038,32	
13	0,00	41,87	0,00	9,60	-1028,72	
14	0,00	41,87	0,00	8,57	-1020,16	
15	0,00	41,87	0,00	7,65	-1012,51	
16	0,00	41,87	0,00	6,83	-1005,68	
Porcentagem do Investimento recuperado					28,17	

Valor Presente Líquido - Caso 8						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-1400,00	0,00	0,00	-1400,00	-1400,00	
1	0,00	83,74	0,00	74,77	-1325,23	
2	0,00	83,74	0,00	66,76	-1258,48	
3	0,00	83,74	0,00	59,60	-1196,87	
4	0,00	83,74	78,95	103,39	-1095,48	
5	0,00	83,74	0,00	47,52	-1047,96	
6	0,00	83,74	0,00	42,43	-1005,54	
7	0,00	83,74	0,00	37,88	-967,66	
8	0,00	83,74	78,95	65,71	-901,95	
9	0,00	83,74	0,00	30,20	-871,75	
10	0,00	83,74	0,00	26,96	-844,79	PIR 11 anos
11	0,00	83,74	0,00	24,07	-820,72	41,38
12	0,00	83,74	78,95	41,76	-778,96	
13	0,00	83,74	0,00	19,19	-759,77	
14	0,00	83,74	0,00	17,13	-742,64	
15	0,00	83,74	0,00	15,30	-727,34	
16	0,00	83,74	0,00	13,66	-713,68	
Porcentagem do Investimento recuperado					49,02	

Valor Presente Líquido - Caso 9						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-1400,00	0,00	0,00	-1400,00	-1400,00	
1	0,00	125,60	0,00	112,14	-1287,86	
2	0,00	125,60	0,00	100,13	-1187,73	
3	0,00	125,60	0,00	89,40	-1098,33	
4	0,00	125,60	78,95	129,99	-968,34	
5	0,00	125,60	0,00	71,27	-897,07	
6	0,00	125,60	0,00	63,63	-833,43	
7	0,00	125,60	0,00	56,82	-776,62	
8	0,00	125,60	78,95	82,61	-694,01	
9	0,00	125,60	0,00	45,29	-648,71	
10	0,00	125,60	0,00	40,44	-608,27	PIR 11 anos
11	0,00	125,60	0,00	36,11	-572,17	
12	0,00	125,60	78,95	52,50	-519,66	
13	0,00	125,60	0,00	28,78	-490,88	
14	0,00	125,60	0,00	25,70	-465,18	
15	0,00	125,60	0,00	22,95	-442,23	
16	0,00	125,60	0,00	20,49	-421,75	
Porcentagem do Investimento recuperado					69,68	

- Nova Instalação de IP

VS70 x LED A						
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total	
0	-1057,90	0,00	0,00	-1057,90	-1057,90	
1	0,00	23,92	0,00	21,36	-1036,54	
2	0,00	23,92	0,00	19,07	-1017,47	
3	0,00	23,92	0,00	17,03	-1000,44	
4	0,00	23,92	63,16	55,34	-945,10	
5	0,00	23,92	0,00	13,57	-931,53	
6	0,00	23,92	0,00	12,12	-919,41	
7	0,00	23,92	0,00	10,82	-908,59	
8	0,00	23,92	63,16	35,17	-873,42	
9	0,00	23,92	0,00	8,63	-864,80	
10	0,00	23,92	0,00	7,70	-857,10	PIR 11 anos
11	0,00	23,92	0,00	6,88	-850,22	
12	0,00	23,92	63,16	22,35	-827,87	
13	0,00	23,92	0,00	5,48	-822,39	
14	0,00	23,92	0,00	4,89	-817,49	
15	0,00	23,92	0,00	4,37	-813,12	
16	0,00	23,92	0,00	3,90	-809,22	
Porcentagem do Investimento Recuperado (PIR)					23,51	

VS70 x LED B					
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total
0	-834,21	0,00	0,00	-834,21	-834,21
1	0,00	22,39	0,00	19,99	-814,22
2	0,00	22,39	0,00	17,85	-796,37
3	0,00	22,39	0,00	15,94	-780,43
4	0,00	22,39	63,16	54,37	-726,07
5	0,00	22,39	0,00	12,70	-713,36
6	0,00	22,39	0,00	11,34	-702,02
7	0,00	22,39	0,00	10,13	-691,89
8	0,00	22,39	63,16	34,55	-657,34
9	0,00	22,39	0,00	8,07	-649,27
10	0,00	22,39	0,00	7,21	-642,06
11	0,00	22,39	0,00	6,44	-635,62
12	0,00	22,39	63,16	21,96	-613,66
13	0,00	22,39	0,00	5,13	-608,53
14	0,00	22,39	0,00	4,58	-603,95
15	0,00	22,39	0,00	4,09	-599,86
16	0,00	22,39	0,00	3,65	-596,21
Porcentagem do Investimento Recuperado (PIR)					28,53

PIR 11 anos
23,81

VS70 x LED C					
Ano	Investimento	Economia de Energia	Economia com Trocas	Valor Presente	Total
0	-610,53	0,00	0,00	-610,53	-610,53
1	0,00	8,17	0,00	7,29	-603,23
2	0,00	8,17	0,00	6,51	-596,72
3	0,00	8,17	0,00	5,82	-590,90
4	0,00	8,17	63,16	45,33	-545,57
5	0,00	8,17	0,00	4,64	-540,94
6	0,00	8,17	0,00	4,14	-536,80
7	0,00	8,17	0,00	3,70	-533,10
8	0,00	8,17	63,16	28,81	-504,29
9	0,00	8,17	0,00	2,95	-501,35
10	0,00	8,17	0,00	2,63	-498,72
11	0,00	8,17	0,00	2,35	-496,37
12	0,00	8,17	63,16	18,31	-478,06
13	0,00	8,17	0,00	1,87	-476,19
14	0,00	8,17	0,00	1,67	-474,52
15	0,00	8,17	0,00	1,49	-473,02
16	0,00	8,17	0,00	1,33	-471,69
Porcentagem do Investimento Recuperado (PIR)					22,74

PIR 11 anos
18,70