

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ILUMINAÇÃO URBANA: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS LED CONTROLADAS POR
SISTEMA DE TELEGESTÃO**

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2014

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ILUMINAÇÃO URBANA: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS LED CONTROLADAS POR
SISTEMA DE TELEGESTÃO**

SILVIO JOSÉ FONSECA DE CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. APARECIDO DOS REIS COUTINHO

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2014

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Carolina Segatto Vianna CRB-8/7617

C198i	<p>Campos, Silvio José Fonseca de Iluminação urbana: um estudo da eficiência de luminárias LED controladas por sistema de telegestão / Silvio José Fonseca de Campos. – 2014. 133 f. : il. color. ; 30 cm.</p>
	<p>Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho. Dissertação (mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, 2013.</p>
	<p>1. Energia - Iluminação. 2. Engenharia de produção. I. Coutinho, Aparecido dos Reis. II. Título.</p>
	CDU – 621.311

ILUMINAÇÃO URBANA: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS LED CONTROLADAS POR SISTEMA DE TELEGESTÃO

SILVIO JOSÉ FONSECA DE CAMPOS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 26 de Fevereiro de 2014,
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho
PPGEP - UNIMEP

Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon
PPGEP - UNIMEP

Prof. Dr. Isac Roizenblatt
Instituto de Pós Graduação de Goiás

*À minha esposa Márcia do Couto Gonçalves Campos e aos meus filhos
Eduardo Gonçalves de Campos e Fernanda Gonçalves de Campos com amor.*

Aos meus pais e irmãos com carinho.

Agradecimentos

À Deus, inspiração maior e sempre presente, principalmente nos momentos difíceis, sendo fonte de minhas forças e coragem na busca de meus objetivos.

Ao meu orientador, Professor Aparecido dos Reis Coutinho, pelos conselhos profissionais dos quais nunca se esquivou e que sempre me foram encorajadores.

À Schröder do Brasil Iluminação Ltda. pelo apoio incondicional prestado disponibilizando recursos para a realização dos ensaios de campo e tempo que permitiram a minha participação nas atividades acadêmicas.

Ao colega Eng. Shoichi Minami que conduziu a preparação das luminárias e supervisionou a montagem das mesmas para os ensaios de campo.

Ao colega Eng. Daniel Iziqre Bastos que me acompanhou na realização dos ensaios de campo, tendo em diversas oportunidades conduzido os trabalhos sozinho quando da impossibilidade de estar presente, e sua valiosa contribuição na avaliação e interpretação dos resultados.

A todos os que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

“O homem não foi feito para ver a luz, mas para ver apenas as coisas iluminadas pela luz.” (Goethe)

CAMPOS, S.J.F. **ILUMINAÇÃO URBANA: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS LED CONTROLADAS POR SISTEMA DE TELEGESTÃO**. 2014. 133 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

Resumo

O mundo passa por um momento de transição tecnológica em que o Diodo Emissor de Luz (*Light Emitting Diode* - LED), por sua característica de fonte de luz “limpa”, maior durabilidade, maior eficiência e melhor controlabilidade tende a substituir as fontes de luz tradicionais, sendo a iluminação urbana e, principalmente, a iluminação pública uma das principais áreas de aplicação. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da aplicação de luminárias LEDs com sistema de controle por telegestão na iluminação pública, para tanto, em sua primeira parte, apresenta os conceitos fundamentais da luz e das fontes de luz, os fundamentos da iluminação urbana, as características construtivas e de desempenho das luminárias LEDs bem como o uso da telegestão como sistema de controle destas aplicações. Também apresenta, de forma detalhada, as características que fazem da aplicação de luminárias com tecnologia LED, em conjunto com sistemas inteligentes de telegestão, pilares fundamentais para uma iluminação urbana sustentável. Em uma segunda parte é desenvolvida uma pesquisa de campo, através da análise de duas unidades piloto com uma instalação de luminárias com lâmpadas de descarga a alta pressão (*High Intensity Discharge* – HID) e outra com luminárias LEDs atendendo um trecho de via típico de iluminação pública preconizada em norma brasileira. As unidades piloto atuaram como um “laboratório dinâmico”, permitindo a medição das distribuições de iluminância que instruíram a elaboração de um estudo comparativo de desempenho e eficiência energética da tecnologia LED + Telegestão comparada à tecnologia HID.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, Luminárias, LED, Iluminação pública, Telegestão.

CAMPOS, S.J.F. URBAN LIGHTING: A STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF LED LUMINAIRES CONTROLLED BY TELEMANEAGEMENT SYSTEM. 2014. 133 p. Master dissertation in Production Engineering – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

Abstract

The world undergoes a transition period in which, due to its characteristic of 'clean' light source, better controllability, better efficacy and higher durability, compared to traditional lighting, Light Emitting Diode (LED) technology tends increasingly to be considered an option to replace HID (High Intensity Discharge) lamps, being mainly urban lighting and street lighting one of the main application areas. This study aims to analyze the feasibility of implementing LED luminaires with telemanagement control system in public lighting, so in its first part, presents the fundamental concepts of light and light sources, the fundamentals of urban lighting, the design characteristics and performance of LED luminaires and the use of telemanagement and control system of these applications. It also presents detailed features that make the application of luminaires with LED technology in combination with telemanagement systems pillars for a sustainable urban lighting. In a second part is developed a field research through the analysis of two units with a pilot installation of HID luminaires and other with LEDs luminaires in accordance of typical public lighting recommended in Brazilian standard. The pilot units acted as a dynamic "laboratory", allowing the measurement of illuminance distributions that instructed the elaboration of a comparative study of performance and energy efficiency of LED technology + Telemanagement compared to HID technology.

KEYWORDS: Energy efficiency, Luminaires, LED, Street lighting, Telemanagement.

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas e Siglas.....	I
Lista de Figuras.....	III
Lista de Tabelas.....	IV
1. Introdução	1
1.1. Importância do Trabalho	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Estrutura do Trabalho	5
2. Revisão Bibliográfica.....	6
2.1. Luz, princípios gerais	6
2.2. Grandezas e unidades utilizadas em iluminação	8
2.3. Fontes de luz	10
2.3.1. Fontes de Luz Naturais.....	11
2.3.2. Fontes de Luz Artificiais.....	13
2.3.3. Desempenho das Fontes de Luz.....	20
2.4. Fundamentos da Iluminação Urbana	24
2.4.1. Histórico.....	24
2.4.2. Evolução da Iluminação Pública no Brasil	24
2.4.3. Gestão da iluminação pública.....	25
2.5. Características construtivas e de desempenho das luminárias LED	28
2.5.1. Gestão Térmica	28
2.5.2. Óptica	29
2.5.3. Controlador Eletrônico	30
2.5.4. Construção Mecânica	30
2.5.5. Luminária com fonte de luz a LED.....	31

2.6. Controle e Telegestão.....	32
2.6.1. Iluminação Inteligente.....	32
2.6.2. Controle.....	32
2.6.3. Redes Inteligentes.....	33
2.6.4. Tecnologias de Comunicação para <i>Smart Grids</i>	37
2.6.5. Telegestão.....	41
2.7. Iluminação Sustentável.....	43
2.7.1. Iluminando corretamente.....	43
2.7.2. Avaliação do Ciclo de Vida de uma Luminária LED.....	47
2.7.3. Luz Verde.....	50
3. Metodologia.....	51
4. Resultados e Discussões.....	57
4.1. Medições iniciais de iluminâncias.....	57
4.2. Novas Medições de iluminâncias.....	60
4.3 Estudo comparativo da eficiência energética e econômica das instalações.....	70
5. Conclusões.....	78
6. Bibliografia.....	80
7. Anexos.....	Erro! Indicador não definido.
7.1. Anexo 1.....	Erro! Indicador não definido.
7.2. Anexo 2.....	Erro! Indicador não definido.
7.3. Anexo 3.....	Erro! Indicador não definido.
7.4. Anexo 4.....	Erro! Indicador não definido.
7.5. Anexo 5.....	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CCT – *Correlated Color Temperature* (Temperatura de Cor Correlata)

CFL – *Compact Fluorescent Lamp* (Lâmpada Fluorescente Compacta)

CRI – *Color Rendering Index* (Índice de Reprodução de Cores)

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DOE – *Department Of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos)

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum* (Sequência Direta de Espalhamento do Espectro)

FACTs – *Flexible AC Transmission System* (Sistema Flexível de Transmissão AC)

FDV – Fim De Vida

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLS – *Global Lighting Service* (Serviço de Iluminação Geral)

GSM – *Global System for Mobile Communications* (Sistema Global para Comunicações Móveis)

HID – *High Intensity Discharge* (Descarga de Alta Intensidade)

HP – *High Power* (Alta Potência)

HPS – *High Pressure Sodium* (Sódio de Alta Pressão)

IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

IESNA – *Illuminating Engineering Society of North America* (Associação de Engenharia de Iluminação da América do Norte)

IP – Iluminação Pública

IP – *Ingress Protection* (Grau de Proteção)

IP – *Internet Protocol* (Protocolo de Internet)

IRC – Índice de Reprodução de Cores

LAN – *Local Area Network* (Rede de Area Local)

LCA – *Life Cycle Assessment* (Avaliação do Ciclo de Vida)

LED – *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

LP – *Low Power* (Baixa Potência)

MH – *Metal Halide* (Vapor Metálico)

MV – *Mercury Vapor* (Vapor de Mercúrio)

NIST – *National Institute of Standards and Technology* (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia)

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PEP – Perfil Ambiental do Produto

PHEVs – *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (Plugin de Veículos Elétricos Híbridos)

PLC – *Power Line Communications* (Comunicações através de Linha de Força)

PPGEP – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

RFID – *Radio Frequency Identification* (Identificação por radiofrequência)

RGB – *Red, Green, Blue* (Vermelho, Verde, Azul)

RoHS – *Restriction of Use of Hazardous Substances* (Restrição de Uso de Substâncias Perigosas)

SI – Sistema Internacional de Unidades

SMD – *Surface Mounted Device* (Dispositivo de Montagem em Superfície)

SMS – *Short Message Service* (Serviço de Mensagens Curtas)

SPD – *Spectral Power Distribution* (Distribuição de Energia Espectral)

SSL – *Solid State Lighting* (Iluminação do Estado Sólido)

TCO - *Total Cost of Ownership* (Custo Total da Posse)

UV – Ultra Violeta

VM – Vapor de Mercúrio

VSAP – Vapor de Sódio de Alta Pressão

WiMAX – *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidade Mundial Para Acesso através de Microondas)

WSN - *Wireless Sensor Networks* (Redes de Sensores Sem Fio)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO	2
FIGURA 2 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	7
FIGURA 3 - LINHA DO TEMPO DAS FONTES DE LUZ.....	12
FIGURA 4 - JUNÇÃO PN DE UM DIODO	18
FIGURA 5 - ESQUEMA DE UM LED HP	19
FIGURA 6 - FAIXAS TÍPICAS DE CRI PARA DIVERSAS FONTES DE LUZ ELÉTRICAS	21
FIGURA 7 - FAIXAS TÍPICAS DE CCT PARA DIVERSAS FONTES DE LUZ ELÉTRICAS	21
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO E PROJEÇÃO DA EFICIÊNCIA LUMINOSA DAS FONTES DE LUZ	23
FIGURA 9 - PONTOS DE IP INSTALADOS NO BRASIL	27
FIGURA 10 - ARQUITETURA <i>SMART GRID</i> PROPOSTA PELO NIST	34
FIGURA 11 - MODELO DE REDE <i>ZIGBEE</i>	38
FIGURA 12 - ESTÁGIOS DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UMA LUMINÁRIA LED....	48
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO EM CORTE DA SEÇÃO DA VIA SOB TESTE.....	52
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS LUMINÁRIAS SOB TESTE.....	53
FIGURA 15 - MALHA DE VERIFICAÇÃO.....	53
FIGURA 16 - MALHA DE CÁLCULO VIA <i>SOFTWARE</i>	54
FIGURA 17 - MALHA PARA MEDIÇÃO EM CAMPO	55
FIGURA 187 - TOPOLOGIA EM MALHA PARA LUMINÁRIAS LED	55
FIGURA 19 - VARIAÇÕES DAS NOITES NO BRASIL	71
FIGURA 20 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO DA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W.....	71
FIGURA 21 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO DA LUMINÁRIA LED – 141 W.....	72
FIGURA 22 - CUSTOS DE TCO HID X LED / TARIFA MÉDIA DE FORNECIMENTO.....	74
FIGURA 23 - INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE TARIFA MÉDIA DE FORNECIMENTO.....	74
FIGURA 24 – CUSTOS DE TCO HID X LED / CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÕES	75
FIGURA 25 - INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÕES	76
FIGURA 26 – CUSTOS DE TCO HID X LED / PREÇO DE ENERGIA DE CURTO PRAZO	77
FIGURA 27 – INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE PREÇO DE ENERGIA DE CURTO PRAZO	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VISÃO FOTÓPICA, ESCOTÓPICA E MESÓPICA.....	8
TABELA 2 - PRINCIPAIS GRANDEZAS E UNIDADES UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO	9
TABELA 3 - LEDs – EVOLUÇÃO DOS DISPOSITIVOS LEDs	17
TABELA 4 - EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL	26
TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DE LÂMPADAS DE IP INSTALADAS NO BRASIL	28
TABELA 6 - CONVERSÃO DE POTÊNCIA RELATIVA PARA FONTES DE LUZ "BRANCAS"	29
TABELA 7 - PENETRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO EM <i>SMART GRIDS</i> .	36
TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS DAS LUMINÁRIAS.....	52
TABELA 9 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W	57
TABELA 10 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA <i>SOFTWARE</i> PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W	58
TABELA 11 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO.....	59
TABELA 12 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA <i>SOFTWARE</i> PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO	60
TABELA 13 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W	61
TABELA 14 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO	62
TABELA 15 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 70%	63
TABELA 16 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA <i>SOFTWARE</i> PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 70%.....	64
TABELA 17 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 50%	65
TABELA 18 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA <i>SOFTWARE</i> PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 50%.....	66

TABELA 19 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 40%	67
TABELA 20 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA <i>SOFTWARE</i> PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 40%	68
TABELA 21 - ILUMINÂNCIA MÉDIA E UNIFORMIDADE MÍNIMAS PARA CADA CLASSE DE ILUMINAÇÃO	69
TABELA 22 – RESUMO DAS ILUMINÂNCIAS MÉDIA E UNIFORMIDADES OBTIDAS NAS MEDIÇÕES DAS UP	69
TABELA 23 - ESTUDO COMPARATIVO TCO - HID X LED	72
TABELA 24 – TARIFAS DE ENERGIA E INDICADORES DE REAJUSTE.....	72
TABELA 25 - CUSTOS DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS LUMINÁRIAS HID E LED.	73

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é feita uma descrição da importância deste trabalho, apresentando as principais fontes de luz, buscando fazer um estudo da eficiência energética em iluminação urbana por meio de uso de luminárias LEDs em conjunto com sistema de telegestão, além de um levantamento da problemática a ser abordada ao longo desta pesquisa. Em seguida, serão apresentados os objetivos propostos para este projeto e, por fim, uma apresentação da estrutura utilizada.

1.1. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A energia é essencial para a existência de uma sociedade moderna. Hoje em dia, todos os países enfrentam desafios trazidos pelas mudanças climáticas, a dependência de recursos energéticos e de crescimento dos preços da energia. Cidades ao redor do mundo são confrontadas com o rápido aumento da população urbana e sua questão crucial do desenvolvimento sustentável torna-se a gestão de energia (RADULOVIC *et al.*, 2010).

No Brasil, uma estimativa do potencial de conservação de eletricidade pelo lado da demanda foi realizada pelo Modelo de Estimativa de Potencial de Conservação de Energia Elétrica (EPOCA), por meio de quatro cenários de evolução do consumo elétrico específico: técnico, econômico, de mercado e sem conservação. O cenário técnico tem como resultado o total de energia elétrica economizada com a melhor escolha de alternativas eficientes no uso de energia, disponíveis em um ano base; cenário econômico é determinado pelas restrições de viabilidade econômica das alternativas de maior eficiência elétrica; cenário de mercado incorpora-se o custo de oportunidade dos recursos financeiros disponíveis mediante análise de investimento como valor presente líquido (VPL), tempo de retorno (payback), razão custo/benefício e custo total da posse (TCO); e cenário sem conservação, onde não são projetados ganhos de eficiência em função da introdução de equipamentos ou

processos no sistema. A Figura 1 identifica que o uso de equipamentos de iluminação apresenta o maior potencial de conservação de energia elétrica na maioria dos cenários em 2030, seguido de aquecimento de água (chuveiro), condicionamento térmico (ar condicionado) e refrigeração (refrigerador e freezer) (ELETROBRAS, 2013).

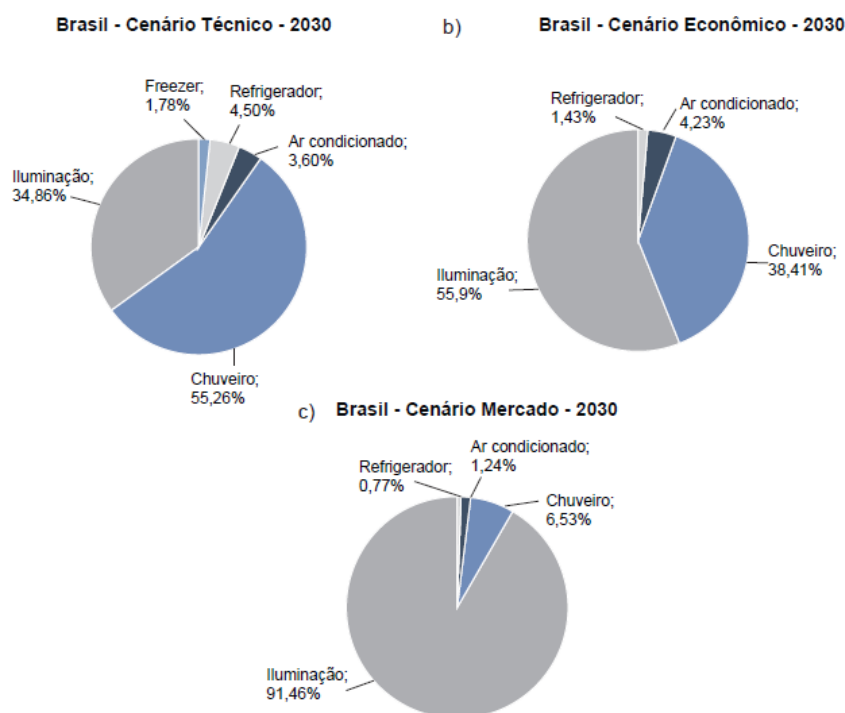


FIGURA 1 - CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO (ELETROBRAS, 2013)

Avaliação do sistema de iluminação artificial, realizado em 2006, estimou que a iluminação pública consome cerca de 114 TWh de energia elétrica no mundo a cada ano, ademais, a maioria dos sistemas de iluminação pública é ineficiente e de custo elevado. Grande parte da luz que eles produzem é desperdiçada, contribuindo para poluição luminosa (GASTON, 2013).

O mercado de iluminação global e é afetado por vários fatores - três são particularmente importantes. O primeiro é a situação macroeconômica que está influenciando o número de novas instalações de iluminação. Em segundo lugar, os regulamentos de eficiência energética e uma maior consciência do uso da energia estão redefinindo portfólios de produtos de iluminação futuros. E,

terceiro, a ação do governo limitando certas fontes (nuclear, fóssil, etc.) que irá resultar em uma demanda de produtos eficientes (MCKINSEY, 2012).

Existem várias maneiras de reduzir o consumo de energia em instalações de iluminação pública. Isto significa a redução do tempo ou a extensão em que as luzes são utilizadas, e da sua intensidade. A viabilidade depende de quanto tempo leva para a economia de longo prazo nos custos de energia. Governos nacionais e locais, principalmente nos Estados Unidos, Europa e Ásia têm reconhecido o potencial de economia por meio da instalação de fontes de luz do estado sólido (SSL) em vez de lâmpadas convencionais (GASTON, 2013).

Fonte de luz do estado sólido, o LED é a mais inovadora tecnologia de iluminação emergente no mercado. Oferece luz de alta qualidade e desempenho visual, proporcionando redução de custos, reduzindo a poluição luminosa nas cidades e a inovação nos setores de iluminação e construção. Quando combinado com sistemas de gerenciamento de luz inteligente, telegestão, pode economizar até 70% da eletricidade usada para iluminação e reduzir significativamente os custos de energia e manutenção em comparação com instalações de iluminação atuais (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

As principais fontes de luz no segmento de iluminação urbana são as lâmpadas de descarga a alta pressão (HID) que consistem principalmente em vapor de mercúrio, vapor metálico e vapor de sódio de alta pressão. As lâmpadas de vapor de sódio apresentam como principais vantagens, baixo custo de produção e de comercialização e maior durabilidade, mas a sua qualidade de reprodução de cor é considerada ineficiente comparadas às demais.

Segundo a Eletrobrás, a iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3,0% do consumo total de energia elétrica do país, o equivalente a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano. A partir da crise energética de 2001 ficou evidente a necessidade de ações no sentido de redução de demanda no horário de ponta do sistema elétrico (19:00h às 21:00h), e a tecnologia LED se apresenta como alternativa na modernização das redes de iluminação pública.

Por outro lado, sustentabilidade ganha cada vez mais força em todos os setores (indústria, transporte, etc., inclusive na iluminação pública), e o LED, por sua característica de fonte de luz “limpa”, de maior durabilidade, maior eficiência (lm/W) e melhor controle em comparação à iluminação tradicional, reforça seu status de ser uma das principais alternativas de fonte de luz.

Segundo recentes pesquisas de mercado a participação atual do LED em iluminação externa é da ordem de 6% e espera-se estar perto de 45% em 2016 e 70% em 2020 (MCKINSEY, 2012). Iniciativas do governo são fundamentais para a migração da tecnologia HID para LED. Em todo o mundo e em particular no Brasil os governos municipais são os responsáveis pela iluminação pública e são, portanto, os principais tomadores de decisão em instalações LED. Por outro lado, a atual pressão sobre os governos para reduzir as emissões de CO₂ tenderá a direcionar o mercado no segmento de LED.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade da aplicação de luminárias LEDs com sistema de controle por telegestão na iluminação pública.

Para alcançar este objetivo propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento bibliográfico sobre o tema Iluminação urbana por meio de uso de luminárias LEDs em conjunto com sistema de telegestão;
- Realização de uma pesquisa de campo por meio da instalação de uma unidade piloto (UP) com luminárias com LEDs como fonte de luz, em conjunto com um sistema de telegestão para monitoramento e controle de operação da UP e uma outra UP com mesmo número de luminárias utilizando lâmpadas VSAP (Vapor de Sódio de Alta Pressão ou *High Pressure Sodium* – HPS) e acionamento por relé fotocontrolador;
- Estudo comparativo da eficiência energética da tecnologia de iluminação LED + Telegestão comparada a tecnologia HID.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em capítulos e estão organizados com se segue.

Capítulo 1 – Introdução – Este capítulo apresenta uma contextualização sobre o tema de pesquisa.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica – Este capítulo está dividido em 7 subcapítulos que abordam, respectivamente, os princípios gerais da luz, as grandezas e unidades utilizadas em iluminação, as fontes de luz naturais e artificiais e o desempenho destas, os fundamentos da iluminação urbana, as características construtivas e de desempenho das luminárias LEDs, o controle e telegestão e os conceitos e fundamentos de uma iluminação sustentável.

Capítulo 3 – Metodologia Experimental – Neste capítulo é apresentado estudo comparativo de desempenho de uma unidade piloto (UP) com luminárias LED e sistema de telegestão frente à uma UP equivalente com emprego da tecnologia convencional em HID (VSAP).

Capítulo 4 – Resultados e Discussões – neste capítulo são apresentados os resultados obtidos das medições realizadas nas unidades pilotos seguido de uma discussão dos mesmos tendo como referência a norma técnica brasileira de iluminação pública bem como avaliação da eficiência energética e econômica.

Capítulo 5 – Conclusões – Este capítulo apresenta as conclusões encontradas a partir da pesquisa bibliográfica realizada e a análise final dos resultados obtidos.

Capítulo 6 – Bibliografia – Referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LUZ, PRINCÍPIOS GERAIS

Para fins de luminotécnica, a Associação de Engenharia de Iluminação da América do Norte (*Illuminating Engineering Society of North America* - IESNA) define a luz como energia radiante que é capaz de excitar a retina humana criando uma sensação visual. Como grandeza física, a luz é definida em termos da sua eficiência relativa ao longo do espectro eletromagnético, que se encontra entre cerca de 380 e 780 nm, existindo visualmente alguma variação individual da eficiência dentro destes limites (MOREIRA, 1987).

Ao longo dos anos, muitas teorias foram desenvolvidas para descrever a luz: teoria corpuscular, de Isaac Newton; teoria ondulatória, de Christiaan Huygens; teoria eletromagnética, de James Clerk Maxwell; teoria quântica, de Max Planck, e finalmente, uma teoria unificada, de Louis de Broglie e Werner Heisenberg, que tinha como premissas: movimento de um elemento de massa tem associado a ele um comprimento de onda; e é impossível determinar, simultaneamente, todas as propriedades que são distintas de uma onda ou um corpúsculo (IESNA, 2000).

A definição mais simples de luz é “energia radiante visualmente percebida”. Luz, então, é apenas um pequeno segmento do que chamamos de "espectro eletromagnético" que consiste de uma ampla gama de energia radiante, que inclui os raios X, energia ultravioleta e infravermelha, micro-ondas e ondas de rádio. Este pequeno segmento é o que estimula o sistema visual e permite ver. Os comprimentos de onda da luz que estimulam o sistema visual humano variam de aproximadamente 380-780nm. A Figura 2 representa o espectro eletromagnético, assim como sua porção de luz (IESNA, 2000).

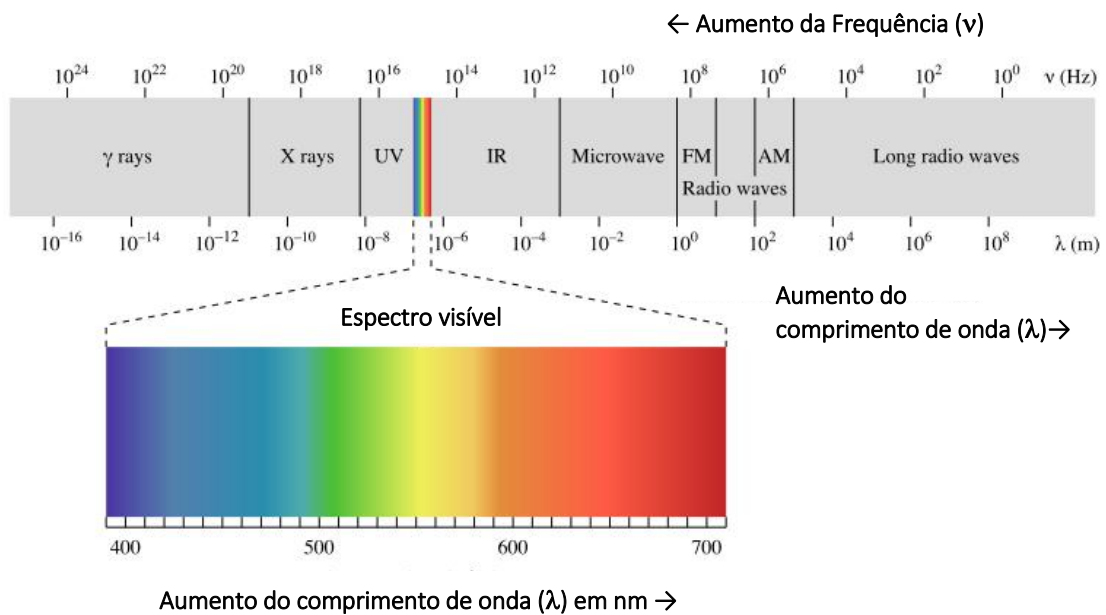


FIGURA 2 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO (IESNA, 2008).

Além da impressão luminosa o espectro visível também proporciona a percepção de cor, que está intimamente relacionada aos comprimentos de ondas das radiações. Diferentes comprimentos de onda (as diferentes cores) produzem sensações distintas de luminosidade, ou seja, o olho humano possui sensibilidades distintas às cores do espectro visível (MOREIRA, 1987).

O sistema visual reage à luz que entra no olho enviando sinais elétricos para o nosso cérebro, que os interpreta e nos fornece a experiência perceptiva que chamamos de visão. A retina é a camada mais interna do olho que contém células receptoras. Este conjunto de células converte a energia eletromagnética (luz) para sinais químicos e, finalmente, em impulsos elétricos que as células nervosas da retina começam a processar e depois entregam para o cérebro. A retina contém dois tipos de células receptoras de luz: os cones e os bastonetes (IESNA, 2000). Os cones são sensíveis à luz e à cor proporcionando a visão diurna para altos níveis de iluminância e luminâncias. As células bastonetes são sensíveis unicamente à luz, sendo as responsáveis pela nossa visão para baixos níveis de luminâncias; neste caso, não existe percepção de cores (MOREIRA, 1987).

A visão pode ser categorizada com referência ao estado adaptativo das células cones e bastonetes na retina em função dos níveis de luminância. Esse processo de adaptação leva o sistema visual através de três estados operacionais distintos: visão fotópica, visão escotópica e visão mesópica (IESNA, 2000; LIN *et al.*, 2006).

A Tabela 1 apresenta um resumo com a relação entre as células receptoras cones e bastonetes e o tipo de visão, sensibilidade de cor, acuidade visual e faixa de funcionamento da visão.

TABELA 1 - VISÃO FOTÓPICA, ESCOTÓPICA E MESÓPICA (IESNA, 2008).


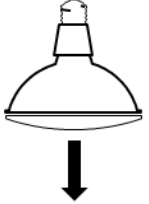
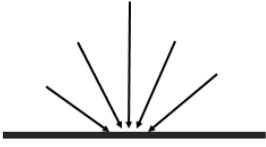
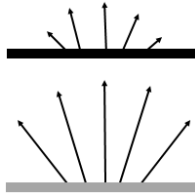
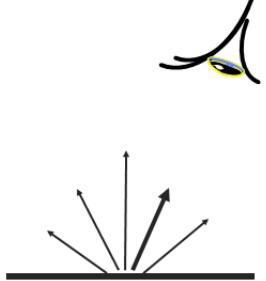
	Cones	Cones e Bastonetes	Bastonetes
Tipo de Visão	Visão FOTÓPICA ou do dia	Visão MESÓPICA ou de penumbra	Visão ESCOTÓPICA ou noturna
Sensibilidade de cor	Visão integral das cores	Visão de alguma cor	Visão em preto e branco
Acuidade visual	Excelente acuidade visual	Acuidade visual reduzida	Acuidade visual muito pobre
Faixa de funcionamento (Luminância e Iluminância)	$> \approx 10 \text{ cd/m}^2$ (acima de aprox. 1 - 2 lx, como em quase todas as condições de iluminação interior)	$> \approx 0,001 \text{ cd/m}^2$ e $< \approx 10 \text{ cd/m}^2$ (aprox. 0.2 a 1 ou 2 lx, como sob uma noite de lua cheia)	$< \approx 0,001 \text{ cd/m}^2$ (< Aprox. 0,2 lx, como sob um céu à noite)

2.2. GRANDEZAS E UNIDADES UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO

O Sistema Internacional de Unidades, SI, é aceito em todo o mundo como um sistema padrão de unidades de medida. Nesse sistema, a quantidade fotométrica fundamental que compreende a intensidade luminosa (I), é expressa em candelas (cd). Duas importantes unidades derivadas com base na candela são fluxo luminoso (ϕ) e iluminância (E) (IESNA, 2000).

A Tabela 2 apresenta as principais grandezas e unidades utilizadas em iluminação bem como uma definição simplificada e respectiva representação.

TABELA 2 - PRINCIPAIS GRANDEZAS E UNIDADES UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO –
(Adaptado de IESNA, 2008).

Termo	Unidade	Definição (simplificada)	Representação
Fluxo Luminoso (Φ)	lúmen (lm)	<ul style="list-style-type: none"> Expressa a “saída total” de luz de uma fonte de luz; É uma propriedade da fonte de luz, não do objeto a ser iluminado. 	
Intensidade Luminosa (I)	candela (cd)	<ul style="list-style-type: none"> Expressa a intensidade de uma fonte de luz em uma determinada direção; É utilizada principalmente em conjunto com lâmpadas refletoras e luminárias; É uma propriedade da fonte de luz, não do objeto a ser iluminado. 	
Iluminância (E)	lux (lx) (lm/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> Expressa a quantidade de luz incidente sobre uma superfície; É expressa em lumens por unidade de área; Iluminância não é uma propriedade apenas da fonte de luz; o <u>resultado</u> depende do fluxo da fonte de luz e a distância da superfície. 	
Refletância (ρ)	porcentagem (%)	<ul style="list-style-type: none"> Esta métrica expressa a capacidade de uma superfície para refletir a luz; Superfícies mais claras refletem mais luz do que superfícies mais escuras. 	
Luminância (L)	Candela/metro quadrado (cd/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> Expressa luz direcional refletida (ou transmitida através de) uma superfície; É expressa em unidades de intensidade por unidade de área; Essa métrica pode ser usada em conjunto com qualquer tipo de superfície e é a métrica que temos para expressar "brilho". 	

2.3. FONTES DE LUZ

Enxergamos os corpos pela luz que emitem e este fluxo luminoso emitido pode ser próprio, refletido ou transmitido. No primeiro caso o corpo consiste de uma fonte primária de luz e no segundo e terceiro casos o corpo consiste de uma fonte secundária de fluxo luminoso (MOREIRA, 1987).

As fontes de luz podem ser naturais ou artificiais. O sol é a nossa principal fonte primária natural de luz. As fontes primárias artificiais são chamadas de lâmpadas e geralmente são classificadas de acordo com o fenômeno que produz o fluxo luminoso (combustão, incandescência, descarga elétrica, eletroluminescência, etc.) (MOREIRA, 1987).

As primeiras fontes de luz foram o fogo, as tochas e as velas. Em 3000 AC os antigos egípcios usavam tochas feitas de pedras ocas cheias de gordura e fibras vegetais como pavios. Na idade média as velas eram feitas de sebo, ou outro tipo de gordura animal; mais tarde foram feitas de cera de abelha ou parafina (IESNA, 2000).

Os antigos gregos e romanos fizeram lampiões de bronze ou cerâmica que queimavam óleo de oliva ou outro óleo vegetal. Ainda na idade média, diversos outros lampiões a óleo surgiram e muitos com a incorporação de melhorias como a adição de refletores, mas nenhuma que produzisse luz de forma eficiente até 1784, quando um químico suíço, Argand, inventou um lampião que usava um pavio oco que permitia a passagem de ar para atingir a chama, resultando em uma luz mais brilhante. Mais tarde um cilindro de vidro foi adicionado ao lampião de Argand permitindo controlar a chama. Com o advento da indústria do petróleo o querosene passou a ser amplamente utilizado como combustível desses lampiões (IESNA, 2000).

Nos anos de 1800, originalmente em Londres, Inglaterra, lampiões a gás se tornaram populares na iluminação de ruas. Os lampiões a gás não possuíam pavios, mas seu principal inconveniente era uma chama que produzia considerável oscilação. Os lampiões elétricos substituíram os lampiões a gás

no final dos anos 1800 e início dos anos 1900. Em 1879 Thomas Edison patenteou a lâmpada incandescente, tornando as lâmpadas elétricas populares e fazendo de sua invenção o sucesso comercial (IESNA, 2000).

No século passado assistimos um aumento no número de fontes de luz disponíveis no mercado a partir da evolução da lâmpada de Edison: introdução do vapor de mercúrio nos anos de 1930, seguida das lâmpadas fluorescentes em 1939, das lâmpadas de tungstênio-halogênio nos anos de 1950 e vapor de sódio e vapor metálico nos anos de 1960. Nos anos de 1990 tivemos a introdução das lâmpadas sem eletrodos e nos anos 2000 ocorreu a explosão da aplicação dos LEDs que cresce cada vez mais (IESNA, 2000).

A Figura 3 mostra de forma resumida a linha do tempo das fontes de luz, com sua evolução da história até os dias atuais (IESNA, 2000).

2.3.1. FONTES DE LUZ NATURAIS

A luz proveniente do sol consiste na principal fonte de luz natural. A luz do sol é difundida na atmosfera, conhecida como luz do céu e que serve de fonte primária na iluminação natural (PAINE *et al.* , 2013; GARROCHO, 2005).

A maioria dos organismos complexos depende da exposição à luz natural para ativar uma série de funções fisiológicas. Os seres humanos evoluíram devido à exposição à luz natural, incluindo os raios UV (ultravioleta). Não obstante a exposição excessiva à luz solar e particularmente aos raios UV causam danos aos homens (GARROCHO, 2005).

A variação da luz natural ocorre com o movimento aparente do sol no espaço e está relacionada a estação do ano, a hora do dia e a posição geográfica do ponto a iluminar (latitude, longitude e orientação) na superfície terrestre. Assim, é importante conhecer o comportamento da fonte luminosa, separando a luz direta do sol da luz do céu, visando o melhor aproveitamento da iluminação natural em um projeto, atualmente muito utilizada pelos arquitetos. Pode-se dizer que o sol é uma fonte luminosa pontual ao passo que o espaço uma fonte luminosa difusa com uma distribuição variável (GARROCHO, 2005).

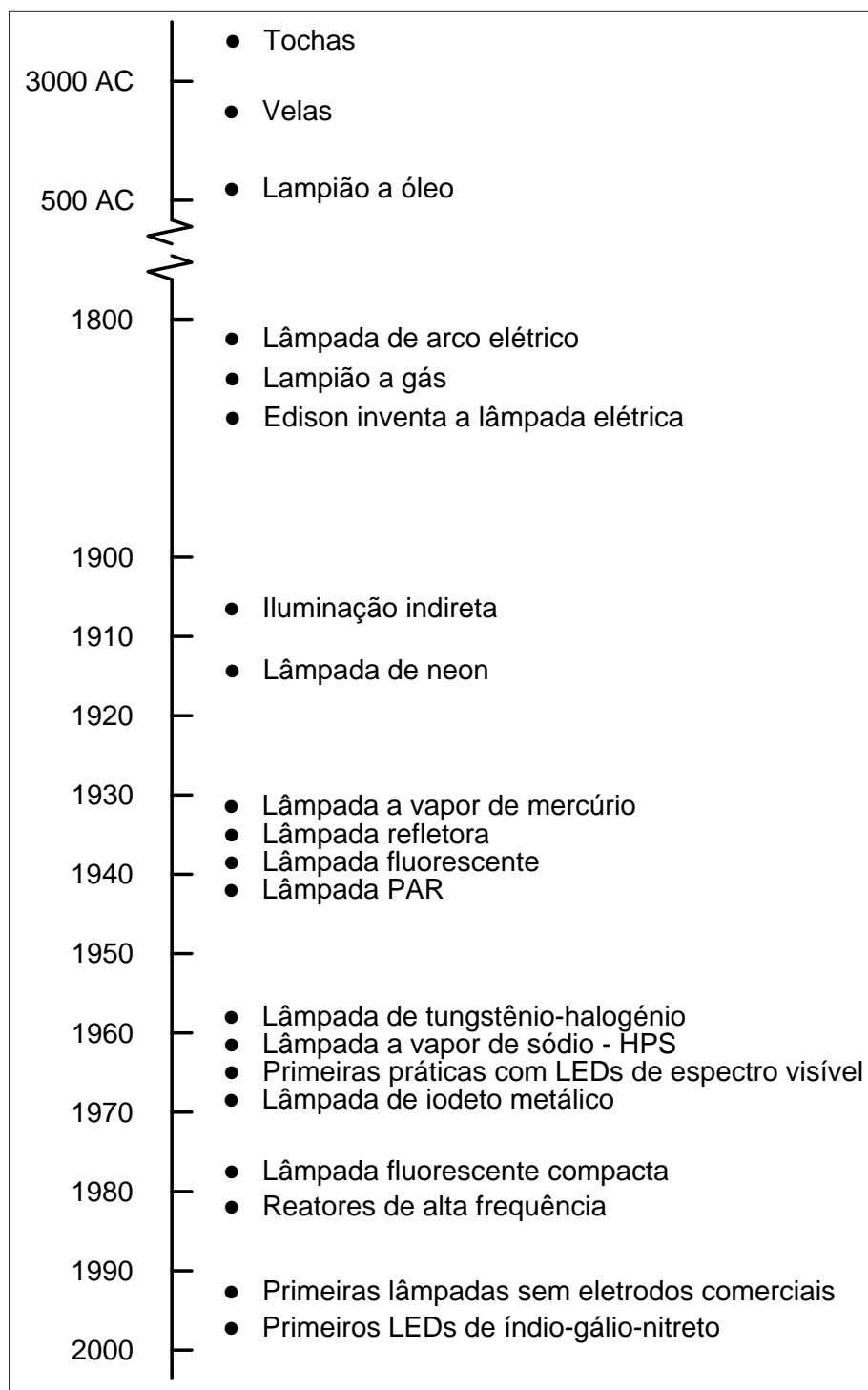


FIGURA 3 - LINHA DO TEMPO DAS FONTES DE LUZ (IESNA, 2000).

2.3.2. FONTES DE LUZ ARTIFICIAIS

As fontes de luz artificiais são divididas em dois tipos: incandescentes e luminescentes. Fundamentalmente, a causa da emissão de luz é a mesma: transições eletrônicas de estados de maiores níveis de energia para os estados de energia mais baixos. No entanto o modo de excitação de elétrons e a distribuição espectral da radiação resultante são diferentes, no entanto. Os dois tipos clássicos, com subdivisões que mostram dispositivos ou processos associados, estão listados a seguir (IESNA, 2000).

Incandescência

- a. As lâmpadas de filamento
- b. Piroluminescência (chamas)
- c. Candoluminescência (manta de gás)
- d. Radiação de arco de carbono

Luminescência

- A. Fotoluminescência
 - a. Descargas gasosas
 - b. Fluorescência
 - c. Fosforescência
 - d. Lasers
- B. Eletroluminescência
 - a. Lâmpadas eletroluminescentes (CA capacitiva)
 - b. Diodos emissores de luz
 - c. Catodoluminescência (excitação de elétrons)

Existem quatro principais setores que compõem o mercado global de iluminação: residencial, comercial (escritórios e varejo), industrial e iluminação de exterior. Dentre estes tipos de fontes de luz existem quatro importantes tecnologias genéricas de fonte de luz que atualmente atendem aos requisitos destes segmentos de mercado, sendo as lâmpadas incandescentes, as

lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de descarga de alta intensidade e os LEDs (DEVONSHIRE, 2008).

2.3.2.1. LÂMPADAS INCANDESCENTES

As lâmpadas incandescentes compreendem dois principais tipos de lâmpadas. A primeira é a lâmpada com filamento incandescente de tungstênio envolvida por um bulbo de vidro, sendo o mais familiar o de formato “Serviço de Iluminação Geral” (*Global Lighting Service - GLS*) acabamento claro, difuso / pérola ou colorida, que é um fator significativo na sua aplicação. Adicionalmente existem as lâmpadas incandescentes que possuem um bulbo com revestimento reflexivo interno, amplamente utilizadas em iluminação decorativa. Suas vantagens incluem o baixo custo inicial, operação simples (sem a necessidade de equipamento auxiliar) e boa reprodução de cor. Como desvantagens, a baixa eficiência (lumens por watt), sensibilidade a variações de tensão e uma vida relativamente curta (DEVONSHIRE, 2008).

O segundo maior tipo de lâmpada incandescente é a lâmpada incandescente halógena de tungstênio, que é fabricada tanto para baixa tensão ou para tensão de rede. A principal razão para o enchimento de uma lâmpada de filamento de tungstênio com um gás de halogenio é evitar o enegrecimento do bulbo através do tungstenio evaporado e conseqüente aumento de vida e eficiência. Lâmpadas halógenas de tungstênio também têm um maior fluxo e maior vida útil em comparação com as demais lâmpadas incandescentes. O invólucro possui pequenas dimensões, sendo feito de vidro ou quartzo (DEVONSHIRE, 2008).

2.3.2.2. LÂMPADAS FLUORESCENTES

As lâmpadas fluorescentes abrangem os dois principais tipos de lâmpadas de descarga em mercúrio sob baixa pressão. A primeira consiste na lâmpada fluorescente tubular que está disponível em quatro diâmetros de tubos diferentes e dois tipos diferentes de fósforo. A saída de luz de uma lâmpada fluorescente tubular é proveniente de átomos de fósforo que convertem energia

de uma descarga de gás de baixa pressão para a luz visível. A temperatura de cor e o índice de reprodução de cor são determinados pela combinação de fósforo revestido no interior do tubo. Tubos fluorescentes com configuração circular também estão disponíveis e são populares em vários países (DEVONSHIRE, 2008).

O segundo tipo de lâmpadas fluorescentes consiste na lâmpada fluorescente compacta, que está disponível em dois formatos diferentes. Uma lâmpada fluorescente compacta (*Compact Fluorescent Lamp – CFL*) tem as características e as vantagens de lâmpadas fluorescentes lineares, mas o seu tamanho compacto é conseguido dobrando o tubo de descarga, mantendo a elevada eficiência. Os dois principais grupos de lâmpadas fluorescentes compactas são aqueles com equipamento de controle externo e com equipamento de controle interno. Equipamentos de controle interno de alta frequência estão disponíveis integrados ao suporte da lâmpada CFL, fazendo a conversão da lâmpada GLS para CFL de forma muito simples. O segundo grupo são de lâmpadas CFL de design modular onde a lâmpada substituível tem uma base de pino que conecta a uma tomada em um reator da lâmpada que por sua vez faz parte do encaixe da lâmpada. O conceito modular permite aos usuários obter vantagem da maior vida útil do reator, de até 5 vezes mais, em comparação com a da lâmpada (DEVONSHIRE, 2008).

Muitas lâmpadas fluorescentes modernas são operadas a altas frequências (tipicamente igual ou superior a 20 kHz), o que resulta numa redução das perdas de energia, tanto na lâmpada quanto no equipamento auxiliar de controle.

2.3.2.3. LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDADE

As lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID) compreendem três principais tipos de lâmpadas de descarga de alta pressão: lâmpadas a vapor de mercúrio (*Mercury Vapor – MV*), lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão (HPS) e lâmpadas a vapor metálico (*Metal Halide – MH*). Lâmpadas HID

dominam o mercado de iluminação exterior e são importantes para o mercado industrial e comercial (DEVONSHIRE, 2008).

Todas as lâmpadas de descarga de alta intensidade produzem luz por meio de uma descarga de arco elétrico contida em um tubo de descarga no interior da lâmpada. O tubo de descarga contém eletrodos de tungstênio, que terminam na descarga de arco em cada extremidade do tubo. O tubo de descarga contém também um gás de partida que é relativamente fácil para ionizar a baixa pressão, em temperaturas ambientes normais, geralmente argônio ou xenônio ou uma mistura de argônio, neônio ou xenônio, dependendo do tipo de lâmpada HID. Cada tipo de lâmpada HID produz luz relacionada com o tipo de metal que está contida no arco. Assim, as lâmpadas a vapor de mercúrio e as lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão produzem luz pela excitação de átomos de mercúrio e sódio respectivamente e lâmpadas a vapor metálico produzem luz pela excitação de vários diferentes átomos e moléculas, principalmente sódio, escândio, tálio, hólmio e disprósio (IESNA, 2000).

2.3.2.4. DIODOS EMISSORES DE LUZ

Mais de um século após a introdução da iluminação incandescente as fontes de luz de estado sólido continuam revolucionando as aplicações de forma crescente. Diferente das lâmpadas convencionais, incandescentes e fluorescentes, cuja eficiência é limitada por fatores que não podem ser ultrapassados, a eficiência dos Diodos Emissores de Luz (LEDs) é limitada apenas pela imaginação e criatividade humana. Sua alta eficiência, capacidade de controle, temperatura de cor, não emissão de radiação UV pode ajustar a ambientes e requisitos específicos, e pode resultar em benefícios em diversos campos e especialmente em iluminação (SCHUBERT *et al.*, 2005).

Os LEDs são fontes de luz eletrônicas. Em 1962 o primeiro LED vermelho foi desenvolvido por Nick Holonyak da General Electric, seguido por uma constante evolução dos LEDs (Tabela 3), sendo que nos dias de hoje representam fontes de luz viável para iluminação geral nas mais diversas aplicações (WEINERT, 2010).

TABELA 3 - LEDs – EVOLUÇÃO DOS DISPOSITIVOS LEDs (WEINERT, 2010)

Período	LEDs – Linha do Tempo
1960s	<ul style="list-style-type: none"> • Primeiro LED vermelho, desenvolvido por Nick Holonyak na GE em 1962.
1970s	<ul style="list-style-type: none"> • Primeiro LED azul chegou em 1971; • LED vermelho de 1 lúmen disponível em 1972; • Aplicação de LEDs em relógios, calculadoras, sinais de trânsito e sinalização de saída.
1980s	<ul style="list-style-type: none"> • Avanço no aumento do fluxo luminoso (saída de lúmens); • 1984: primeiros LEDs vermelhos super brilhante.
1990s	<ul style="list-style-type: none"> • LEDs azuis de alto brilho por Shuji Nakamura na Nichia em 1993; • 1995; LEDs verdes de alto brilho; • Primeiros LEDs brancos desenvolvidos em 1996; • LEDs vermelhos e amarelos ultra brilhantes; • LEDs começam a substituir fontes incandescentes em aplicações de luzes coloridas; • LEDs começam a se tornar viáveis em aplicações de iluminações portáteis; • 1998: Aplicações em iluminação RGB.
2000s	<ul style="list-style-type: none"> • Luz branca via LEDs RGB; • Luz branca via azul + fósforo; • Primeira luminária com LED de luz branca dimerizável; • LEDs disponíveis de 10 – 100 lumens; • Em 2003, LEDs amplamente aceitos em aplicações de iluminação de entretenimento; • LEDs de luz branca se tornam viáveis para iluminação de destaque em 2004; • LEDs com mais de 1000 lumens disponíveis via pacotes multichips em 2005; • Em 2008, LEDs se tornam viáveis para iluminação geral; • Múltiplos fabricantes (Nichia, Cree, Osram, Philips Lumileds, King Brite, Toyoda Gosei, Cotco, ...).

Um diodo é um componente eletrônico que conduz a corrente elétrica em uma única direção. Um semicondutor é um material que tem maior condutividade do que a de um isolante, mas menor do que a de um condutor, sendo que sua resistência pode mudar na presença de um campo elétrico (IESNA, 2011).

Como qualquer díodo, um LED consiste de uma única junção “pn” semicondutora (Figura 4). Através de um processo conhecido como dopagem, o material do tipo “n” é carregado negativamente e o material do tipo “p” é carregado positivamente. Os átomos do material do tipo “n” têm elétrons extras, enquanto que os átomos do material do tipo “p” têm lacunas de elétrons - os elétrons em falta de suas órbitas. Aplicando-se uma corrente no diodo, os átomos dos materiais do tipo “n” e do tipo “p” são empurrados em direção à junção. Quando eles se aproximam o suficiente um do outro, os átomos do tipo “n” "doam" seus elétrons extras para os átomos do tipo “p”, que os "aceitam" (WEINERT, 2010).

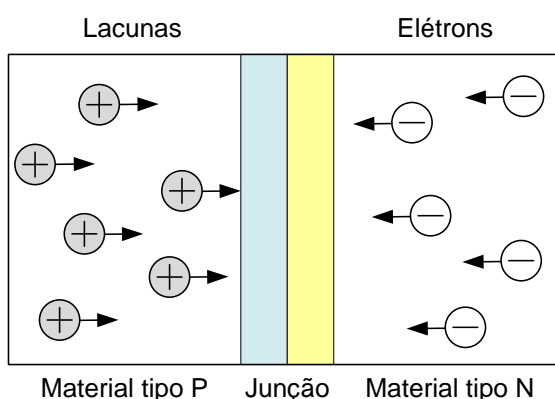


FIGURA 4 - JUNÇÃO PN DE UM DIODO (WEINERT, 2010).

Ao se aplicar uma carga negativa no lado do tipo “n” de um díodo faz-se com que uma corrente flua a partir da área de carga negativa à área carregada positivamente. Isso é chamado de polarização direta (WEINERT, 2010).

Quando os elétrons extras no material tipo “n” caem em lacunas no material tipo “p”, eles liberam energia na forma de fótons, as unidades básicas de radiação eletromagnética. Todos os diodos liberam fótons, mas nem todos os diodos emitem luz. O material no díodo emissor de luz é selecionado de modo

que o comprimento de onda dos fótons liberados esteja dentro da porção visível do espectro da luz. Diferentes materiais produzem fótons com diferentes comprimentos de onda, que aparecem como luz de cores diferentes (WEINERT, 2010).

Os LEDs são classificados, quanto à sua potência, em LEDs de baixa potência (*Low Power – LP*) e alta potência (*High Power – HP*). Os LEDs de baixa potência são normalmente utilizados para sinalização e os LEDs de alta potência para iluminação. Os LEDs HP também são conhecidos como LEDs de montagem em superfície (*Surface Mounted Device – SMD*) ou LEDs de alto brilho, são dispositivos duráveis capazes de fornecer iluminação funcional, com fluxo luminoso ou luz superior de outras fontes convencionais. Todos os tipos de LEDs HP compartilham da mesma estrutura básica. Eles consistem de um chip semicondutor, um substrato que suporta o pequeno bloco com o circuito, os contatos para receber a alimentação, fio de ligação para conectar os contatos ao bloco do circuito do chip, um dissipador de calor, lente e invólucro externo (WEINERT, 2010). Os LEDs estão disponíveis numa variedade de encapsulamentos com base em óptica, cor, produção de luz e os requisitos dimensionais de várias aplicações. A Figura 5 mostra uma representação esquemática com a secção transversal de um encapsulamento de um LED HP ilustrando alguns dos componentes básicos de sua construção (IESNA, 2011).

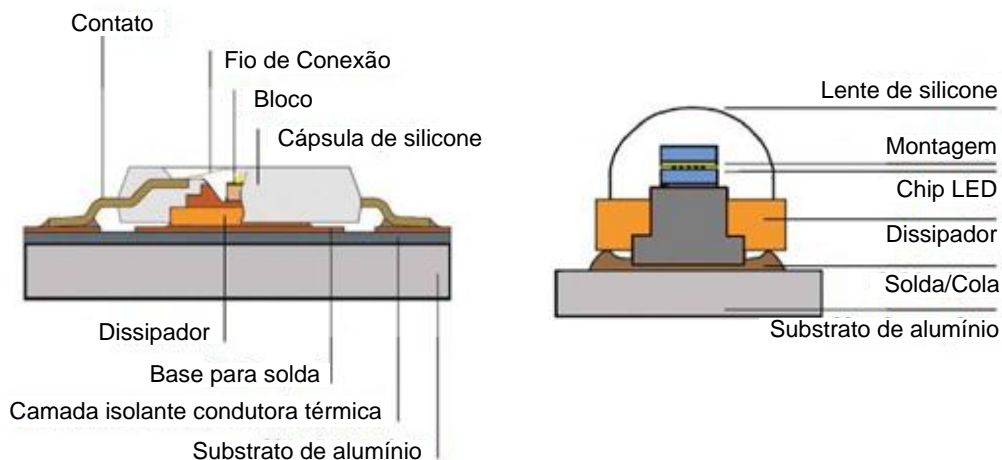


FIGURA 5 - ESQUEMA DE UM LED HP (IESNA, 2011)

2.3.3. DESEMPENHO DAS FONTES DE LUZ

As características de desempenho de uma fonte de luz podem ser divididas em quatro principais grupos, como seguem:

2.3.3.1. QUALIDADE DE LUZ, BRILHO DA FONTE E FLUXO TOTAL

A mais básica característica de uma fonte de luz é sua distribuição de energia espectral (*Spectral Power Distribution – SPD*), que define duas importantes medidas de qualidade da luz:

(a) Índice de reprodução de cores (*Color Rendering Index – CRI*). O índice de reprodução de cores descreve quão bem uma fonte de luz reproduz as cores. Os valores de CRI vão de 0 a 100; quanto maior o valor maior é a reprodução de cores de uma fonte de luz. Valores abaixo de ≈ 55 são considerados como uma indicação de luz com baixa propriedade de reprodução de cor, valores entre 55 e 85 são consideradas como boa e acima de 85 como excelente. A Figura 6 apresenta faixas típicas de CRI para diversas fontes de luz elétricas (DEVONSHIRE, 2008).

(b) Temperatura de cor correlata (*Correlated Color Temperature – CCT*). A temperatura de cor descreve o quanto a luz branca tenha aparência de cor quente (avermelhada) e CCT com valores abaixo de 3000°K , neutra, com valores de CCT entre 3000 e 5000°K ou fria (azulada) com CCT acima de 5000°K . A Figura 7 apresenta faixas típicas de CCT para diversas fontes de luz elétricas (CAMPOS, 2012).

Os valores de CRI são uma importante medida da reprodução da cor de diferentes fontes de luz do mesmo tipo nominal. A reprodução de cores é considerada boa para fontes térmicas de lâmpadas incandescentes, mas um problema potencial para lâmpadas HID, cuja saída de luz decorre de um número de diferentes radiadores e processos físicos.

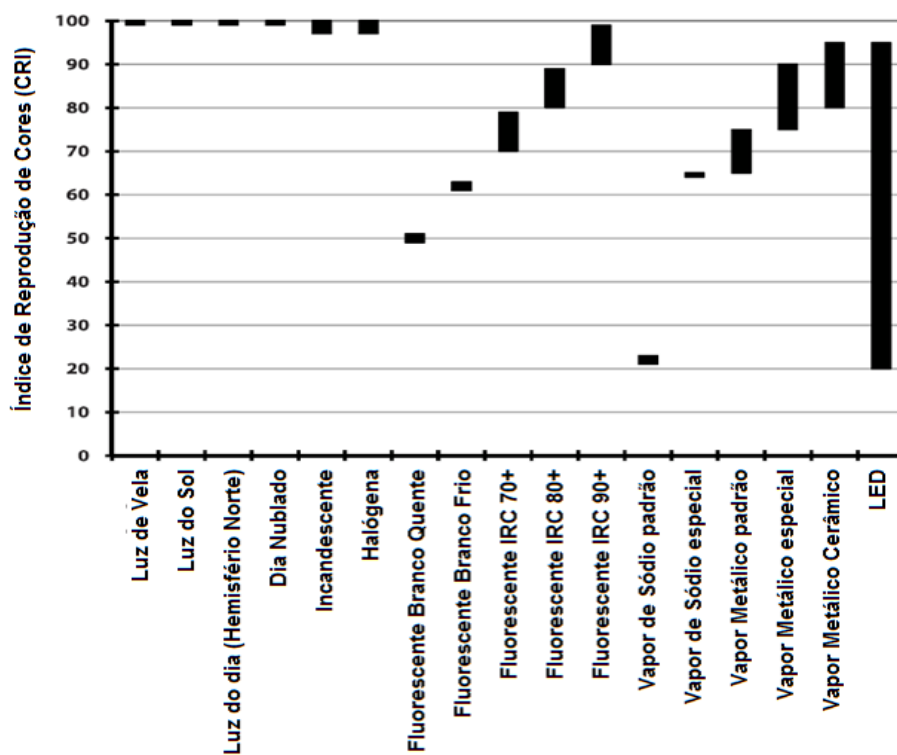


FIGURA 6 - FAIXAS TÍPICAS DE CRI PARA DIVERSAS FONTES DE LUZ ELÉTRICAS (IESNA, 2011).

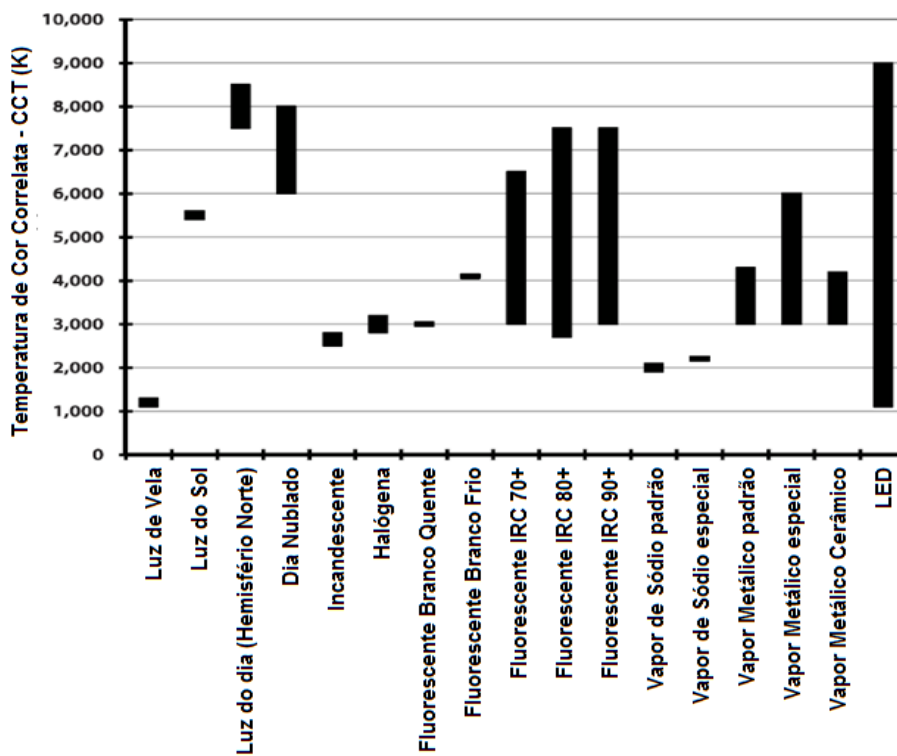


FIGURA 7 - FAIXAS TÍPICAS DE CCT PARA DIVERSAS FONTES DE LUZ ELÉTRICAS (IESNA, 2011).

O brilho de uma fonte expressa, em termos de quantidade de iluminação, como a luminância define as propriedades da captação de luz e os sistemas ópticos de distribuição associados com a fonte. Finalmente, o fluxo luminoso total é uma medida importante para determinar o número de fontes necessárias para conseguir um nível desejado de iluminação. O fluxo pode variar de cerca de 1000 lumens para uma fonte incandescente até mais de 1.000.000 lumens de uma única lâmpada HID (DEVONSHIRE, 2008).

2.3.3.2. QUALIDADES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A mais importante propriedade de uma fonte de luz após seu SPD é sua eficiência energética expressa como eficiência luminosa, ou seja, lumens da fonte de luz pela potência requerida para seu funcionamento (lm/W). A Figura 8 apresenta a evolução da eficiência luminosa de diferentes fontes de luz bem como a projeção futura da mesma. A definição inclui não apenas a luz emitida pela fonte de luz, mas também do ignitor/starter, *driver* e/ou circuito de controle, como um reator, que pode ser necessário para operar a fonte de luz. Outras importantes características de operação de uma fonte de luz são (DEVONSHIRE, 2008):

- (a) O fluxo luminoso durante a vida, ou seja, a manutenção do fluxo luminoso;
- (b) O tempo necessário para atingir o fluxo total, após o acendimento (partida/ignição);
- (c) O tempo para o reacendimento (reignição) da fonte de luz, após um ciclo ligado/desligado;
- (d) Estabilidade de cor, durante o ciclo de vida da fonte de luz.

2.3.3.3. VIDA ÚTIL DE UMA FONTE DE LUZ

Normalmente a vida de uma fonte de luz é definida em termos de tempo para falha de 50% de um lote que compreende um número estatisticamente significativo de fontes de luz. A relação entre o tempo de vida da fonte de luz e o custo do ciclo de vida não é simples e linear (DEVONSHIRE, 2008).

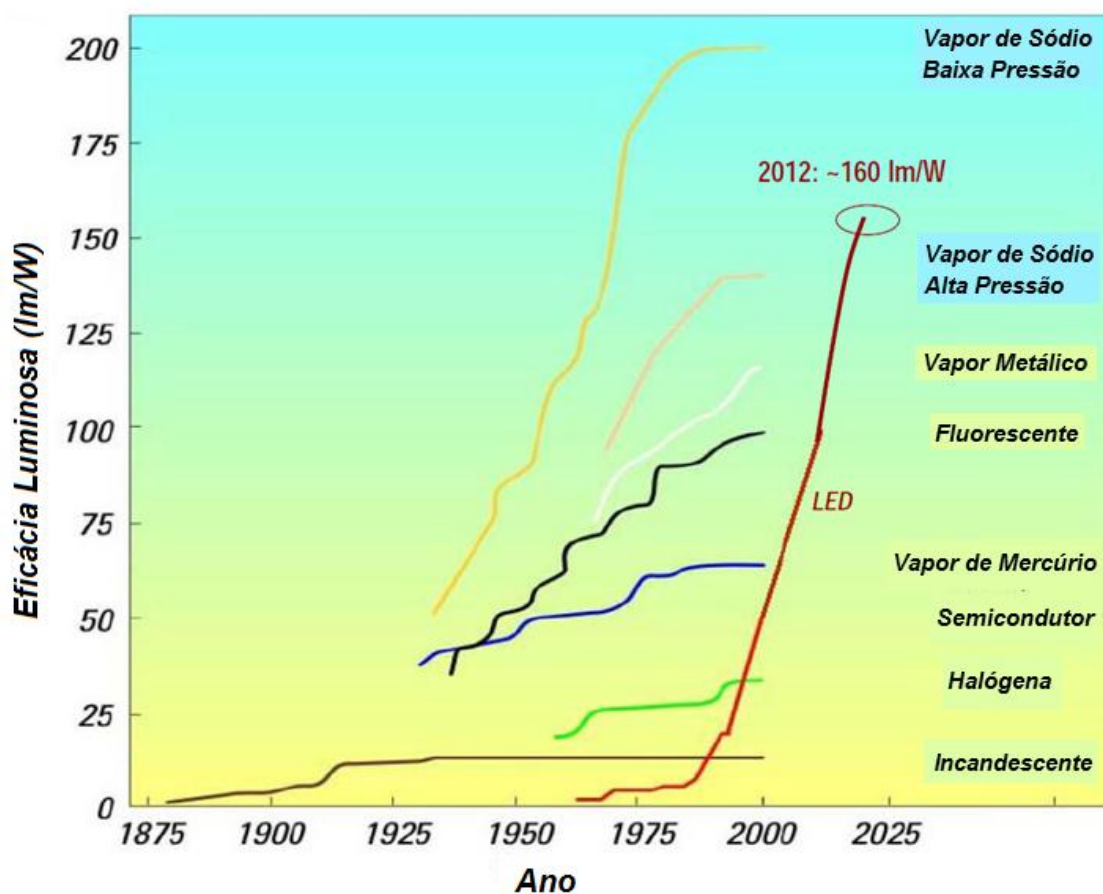


FIGURA 8 - EVOLUÇÃO E PROJEÇÃO DA EFICIÊNCIA LUMINOSA DAS FONTES DE LUZ (SCHRÉDER, 2010)

2.3.3.4. IMPACTO AMBIENTAL

Em todo o mundo, cada vez mais, rigorosas legislações exigem a análise do impacto ambiental de um produto ao longo do seu ciclo de vida completo de produção, por meio de uso, disposição e projetos ecologicamente corretos, definindo como as fontes de luz de todos os tipos serão avaliadas daqui para frente. Por exemplo, fontes de luz livres de metais pesados como o mercúrio e que não emitem radiação UV tendem a ter mais incentivos em suas aplicações, caso dos LEDs (DEVONSHIRE, 2008).

2.4. FUNDAMENTOS DA ILUMINAÇÃO URBANA

2.4.1. HISTÓRICO

Na história da humanidade, dos primórdios até os dias de hoje, um dos fatores de avaliação do grau de desenvolvimento de uma sociedade é o nível de iluminação disponível, em especial na iluminação pública, dando a dimensão do grau de desenvolvimento em que esta sociedade se encontra (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

Segundo os pesquisadores, a iluminação pública (IP) provavelmente se originou na Inglaterra em 1415, por solicitação de comerciantes para o combate ao crime e, Paris, a partir de 1662, foi a primeira cidade a ter um serviço público de iluminação. Esta iluminação aumentou a sensação de segurança, levando a um maior número de pessoas andando nas ruas bem como o incremento das atividades comerciais até horários mais adiantados, anteriormente não praticados (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

Ao longo da história e até os dias de hoje percebe-se que a iluminação pública está associada aos conceitos de segurança, conforto e bem estar da população, ao permitir a identificação de pessoas, obstáculos, objetos e de espaços públicos e de sua utilização no período noturno (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos. Sistemas de iluminação pública eficientes traduzem-se em melhor imagem da cidade, contribuindo com o aumento do turismo, do comércio e atividades de lazer noturno, fortalecendo a cultura do uso racional da energia elétrica, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico da população (GIANELLI *et al.*, 2009; ELETROBRAS, 2009).

2.4.2. EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador e fiscalizador dos serviços de energia elétrica no Brasil, define Iluminação Pública como

sendo o Serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual (ANEEL, 2010).

No Brasil, os primórdios da iluminação pública nos remetem ao século XVIII, quando em 1794, no Rio de Janeiro, foram instaladas 100 luminárias a óleo de azeite pelos postes da cidade. A partir daí o que se viu foi uma evolução da iluminação pública no país, que acompanhou a evolução das fontes de luz. A Tabela 4 apresenta um resumo desta evolução (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

2.4.3. GESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Com o crescimento das cidades e a conseqüente expansão da Iluminação Pública da metade para o final do século XX, intensificou-se a necessidade de seu gerenciamento e manutenção. Iniciou-se a criação dos departamentos e divisões de iluminação pública, geralmente geridos pelas prefeituras municipais ou por setores responsáveis pela IP dentro das concessionárias de energia elétrica, que passaram a cuidar da organização do setor, da implantação de técnicas e da aplicação de tecnologias disponíveis (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

Desde 1988, a Constituição Brasileira define a iluminação pública como serviço público de interesse local, sendo responsabilidade de o município gerir ou delegar a terceiros sua gestão. Por se tratar de um serviço que requer o fornecimento de energia elétrica, está submetido, neste particular, à legislação federal (MARCATO, 2008; VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

A Iluminação Pública participa com 2,3% do consumo global de eletricidade (KOSTIC, *et al.*, 2009). No Brasil, segundo a Eletrobrás, a iluminação pública corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3,4% do consumo total de energia elétrica do país. Isso equivale a uma demanda de 2.200 MW e a um consumo de 10,3 bilhões de kWh/ano (GIANELLI *et al.*, 2009).

TABELA 4 - EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL (VASCONCELLOS *et al.*, 2013)

Período/Local	Evento
Porto Alegre, RS - 1874	Com a inauguração da usina do gasômetro, a Praça da Matriz recebeu postes de iluminação pública a gás no entorno do chafariz central.
Rio de Janeiro, RJ - 1879	Iluminação da Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II (Central do Brasil), sendo a primeira instalação permanente no Brasil.
Campos, RJ - 1883	Inauguração de um serviço público de iluminação elétrica.
Porto Alegre, RS - 1887	Entrada em operação de uma usina elétrica criando-se um serviço municipal de iluminação elétrica, que depois foi replicado em diversas outras cidades.
Juiz de Fora, MG - 1889	Entrada em operação da Usina de Marmelos, primeira usina hidroelétrica de grande porte da América do Sul.
Diversas localidades - Início do século XX (1901/1913)	Intensificou-se a evolução da geração de energia no Brasil. Destacam-se a entrada em operação de usinas hidroelétricas como a de Parnaíba (atual Edgard de Souza) em São Paulo, em 1901; de Fontes, no Rio de Janeiro, em 1907; e a usina hidroelétrica Pedra (atual Delmiro Gouveia), em Alagoas, em 1913 (cachoeira de Paulo Afonso, no rio São Francisco). Com a maior oferta de geração elétrica, a iluminação pública conseqüentemente passou a ser mais disseminada.
Fortaleza, CE – 1912	Iniciou-se o uso da energia elétrica.
São Paulo, SP – década de 1930	Iluminava dos logradouros públicos com lâmpadas incandescentes.
São Paulo, SP – década de 1950	Substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes.
São Paulo, SP – década de 1960	Iniciou-se a utilização em larga escala das lâmpadas de descarga. Inicialmente a lâmpada a vapor de mercúrio (inventada em 1931); em 1962, foi inventada a lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e, em 1964, a lâmpada a vapor metálico.
Rio de Janeiro, RJ - 1965	Instalação de lâmpadas de vapor de mercúrio com potência de 1000 W no aterro do Flamengo.
Porto Alegre, RS – década de 1970	Instalação de lâmpadas de vapor de mercúrio com potência de 1000 W com postes de 45 metros de altura foi realizada no parque Marinho do Brasil.
São Paulo, SP - 1977	Instalação de lâmpadas a vapor de sódio na via Anchieta.
São Paulo, SP – décadas de 1970 e 1980	Com a evolução tecnológica, utilizadas lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio; a racionalização na utilização dos recursos naturais ainda não era uma preocupação.
Brasil - 1985	Criação, pelo Governo Federal, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que dentre suas áreas de atuação, tem a IP por meio do programa Procel Reluz, fundamental importância no remodelamento dos sistemas e nos ganhos energéticos, econômicos e sociais.
Juiz de Fora, MG - 2010	O Núcleo de Iluminação Moderna da UFJF (NIMO) inicia estudos de aplicação de luminárias LEDs em IP.
Brasil – década 2010	Início da aplicação de luminárias LEDs em IP, a princípio como pilotos e primeiras experiências com sistemas de telegestão.

Há no país aproximadamente 15 milhões de pontos de iluminação pública instalados. De acordo com o último levantamento cadastral realizado em 2008 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel/Eletróbrás) junto às distribuidoras de energia elétrica, 45% desses pontos se localizam na Região Sudeste, 21% no Nordeste, 19% no Sul, 10% no Centro-Oeste, e 5% na Região Norte. A Figura 9 apresenta a distribuição geográfica dos pontos de IP no Brasil (MARCATO, 2008).

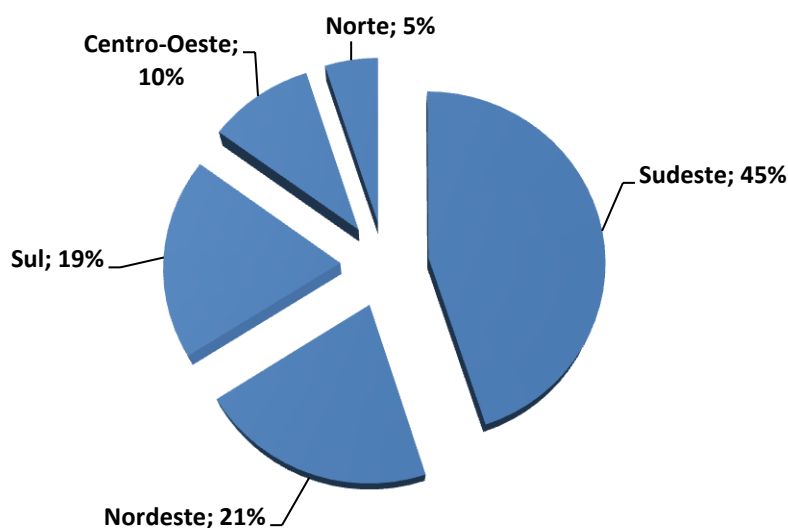


FIGURA 9 - PONTOS DE IP INSTALADOS NO BRASIL (MARCATO, 2008)

O mesmo estudo apresenta os tipos e quantidades de lâmpadas instaladas no Brasil destinadas à iluminação pública sendo que as de vapor de sódio de alta pressão (VSAP) nas potências de 70, 150, 250 e 400 Watts e as de vapor de mercúrio (VM) nas potências de 80, 125, 250 e 400 Watts são as mais empregadas, principalmente em trevos rodoviários, cruzamentos de vias, ruas, avenidas e acessos a rodovias. A Tabela 5 apresenta a distribuição de lâmpadas de Iluminação Pública instaladas no Brasil (GIANELLI *et al.*, 2009).

As condições de fornecimento de energia destinada à iluminação pública, assim como o fornecimento geral de energia elétrica, são regulamentadas pela Resolução ANEEL nº 414/2010 (ANEEL, 2010).

TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DE LÂMPADAS DE IP INSTALADAS NO BRASIL (GIANELLI *et al.*, 2009)

Tipo de Lâmpada	Quantidade (unidades)	Participação (%)
Vapor de Sódio Alta Pressão (VSAP)	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
Vapor Metálico	108.173	0,73
Outras fontes	5.134	0,03
TOTAL	14.769.309	100,0

2.5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E DE DESEMPENHO DAS LUMINÁRIAS LED

2.5.1. GESTÃO TÉRMICA

Com o surgimento de LEDs de alta potência, com um consumo de energia inferior, aumento da vida útil e alta eficiência, as aplicações em iluminação vêm aumentando, com destaque para a iluminação pública. Entretanto, a baixa eficiência de conversão de luz provoca a redução do fluxo luminoso no fecho e a vida útil dos LEDs. Em outras palavras, quanto maior o fluxo luminoso maior a temperatura de junção dos LEDs. Portanto, o gerenciamento térmico torna-se uma questão importante para LEDs de alta potência (CHI *et al.*, 2008).

Todas as fontes de luz convertem energia elétrica em energia radiante e calor em várias proporções. LEDs geram pouco ou nenhuma radiação infravermelha (IR) ou ultravioleta (UV) no fecho, mas convertem entre 20% e 30% da energia em luz visível, o restante é convertido em calor. A Tabela 6 apresenta as proporções aproximadas em que cada watt de potência de entrada é convertido em calor e energia radiante (incluindo a luz visível) para várias fontes de luz branca (DOE, 2007).

TABELA 6 - CONVERSÃO DE POTÊNCIA RELATIVA PARA FONTES DE LUZ "BRANCAS"
(DOE, 2007)

Energia radiante / Calor	Incandescente 60 W	Fluorescente Tubular	Vapor Metálico	LED
Luz Visível	8%	21%	27%	20 – 30%
IR	73%	37%	17%	~ 0%
UV	0%	0%	19%	0%
Total Energia Radiante	81%	58%	19%	20 – 30%
Calor (Condução + Convecção)	19%	42%	63%	70 – 80%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

É fundamental que as luminárias LED para iluminação pública possuam sistema passivo de resfriamento para dissipar o calor gerado pelos LEDs e demais dispositivos eletrônicos com o ambiente externo. Sistemas passivos de dissipação usam a convecção para dissipar o calor da luminária para o ar que envolve a luminária. A convecção aumenta com o aumento da área de superfície, desta forma os sistemas passivos de resfriamento geralmente usam aletas para aumentar a área de superfície enquanto mantém a área da luminária relativamente compacta. O uso de sistemas ativos de resfriamento como ventiladores e bombas de resfriamento representam problemas de confiabilidade ao longo da vida de uma luminária LED para iluminação pública e geralmente devem ser evitados. O uso destes sistemas também pode reduzir a eficácia da luminária porque demandam potência extra a fim de mantê-los em funcionamento (JOSEFOWWICZ, 2010).

2.5.2. ÓPTICA

Em comparação com as tradicionais fontes de luz de iluminação exterior, os LEDs proporcionam além de elevada eficiência energética alto índice de reprodução de cor o que aproxima da capacidade humana de perceber as cores. No que diz respeito à iluminação pública, o tamanho compacto do LED permite que o desenho óptico seja mais flexível. Esta liberdade na execução do projeto da óptica da luminária LED, muitas vezes denominado motor

fotométrico, é muito eficaz e útil para executar o padrão de luz desejado. Em função de uma necessidade específica de padrão de iluminação no nível do solo, o fluxo luminoso pode ser dirigido em um ângulo mais amplo, proporcionando diversas opções de projetos ópticos para atender a demanda, tendo como objetivos de desempenho níveis de iluminância e luminância associados a uniformidade e fatores de utilização que atendam as normas vigentes de iluminação pública (LO *et al.*, 2011).

2.5.3. CONTROLADOR ELETRÔNICO

Nos LEDs a corrente aumenta rapidamente com o aumento da tensão. Pequenas flutuações de tensão podem causar grandes variações de corrente, que podem danificar os LEDs. A conexão de luminárias LED a uma fonte de tensão como a rede de distribuição ou baterias, deve ser controlada de modo a que os LEDs possam utilizá-la de forma segura. Este é o trabalho do controlador eletrônico de LEDs, mais conhecidos como *drivers* (WEINERT, 2010).

Um *driver* de LEDs é um circuito eletrônico que converte a alimentação de entrada em uma fonte de corrente contínua, uma fonte na qual a corrente permanece constante apesar das flutuações de tensão. Um *driver* de LED, de boa qualidade, protege os LEDs de flutuações normais da rede bem como de sobretensões e picos de tensão (WEINERT, 2010).

Luminárias LED que possuem *drivers* de LEDs integrados são tão fáceis de serem instaladas à rede de distribuição como qualquer luminária convencional. Cada vez mais os *drivers* passam a oferecer recursos adicionais como a dimerização e capacidade de comunicação para uso em conjunto com sistemas de telegestão (WEINERT, 2010).

2.5.4. CONSTRUÇÃO MECÂNICA

O projeto de construção mecânica de uma luminária LED, principalmente para aplicações em iluminação pública deve levar em consideração a expectativa de vida, acima de 15 anos, dos LEDs, que não devem apresentar falhas durante

este período de tempo. Em resumo, o projeto mecânico deve levar em consideração (JOSEFOWWICZ, 2010):

- Ausência de emendas que permita o escoamento da água (expansão e danos por congelamento da água de chuva);
- Proteção para o sistema óptico (vento, chuva e outras condições de mau tempo);
- Superfície superior curvada para promover a auto limpeza;
- Dispositivo de fixação ao poste baseado em normas existentes.

2.5.5. LUMINÁRIA COM FONTE DE LUZ A LED

A iluminação urbana é uma promissora área para aplicação da tecnologia LED. A cada dia novos produtos são introduzidos no mercado e somente recentemente o Brasil passou a adotar normas e regulamentos para disciplinar a difusão destes produtos, sendo necessária uma cuidadosa pesquisa para avaliar a qualidade, desempenho e valor global de uma luminária LED. A lista abaixo é uma adaptação da proposta do Departamento de Energia dos Estados Unidos (*Department of Energy – DOE*) para ajudar na escolha da melhor luminária LED, sendo primordial a exigência de (CAMPOS, 2012):

- Relatórios de ensaios fotométricos com base no procedimento de teste IESNA LM-79-08;
- Garantia de 5 (cinco) anos para luminárias exteriores;
- Classificação IP (*Ingress Protection – Grau de Proteção*) adequada para a aplicação pretendida (por exemplo \geq IP66 para iluminação pública);
- Informações da temperatura de funcionamento e como ela se relaciona com os dados de eficiência da luminária e depreciação lumínica;
- Temperatura de cor para a adequação à aplicação pretendida;
- Avaliação do ofuscamento, de preferência com a luminária na altura de montagem requerida e sob condições típicas de visualização noturna, em comparação com a tecnologia precedida;
- Avaliação do retorno econômico, com base em energia aplicável, equipamentos, manutenção e controle de custos para a instalação.

2.6. CONTROLE E TELEGESTÃO

2.6.1. ILUMINAÇÃO INTELIGENTE

O principal escopo da iluminação externa é a extensão da qualidade aceitável da vida humana para o período noturno do dia. Qualidade de vida compreende acessibilidade para atividades sociais, prevenção de crimes, segurança no tráfego, impacto estético e comportamento humano. Por outro lado, iluminação externa está conectada à economia de energia e relacionada à questões ambientais. Em particular, iluminação pública consome cerca de $\approx 2\%$ da energia elétrica global e é responsável por despejar na atmosfera mais de 300 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) na União Europeia e Estados Unidos (VITTA *et al.*, 2012).

Entretanto, a simples substituição de luminárias convencionais por luminárias com fontes de luz do estado sólido (SSL) oferece benefícios econômicos marginais. A principal razão é que os LEDs têm que competir com lâmpadas HPS, que são as mais eficientes fontes de luz convencionais e apenas recentemente foram alcançadas pelos LEDs em termos de eficiência fotométrica. Outra razão é o preço relativamente elevado das luminárias LED que contrapõe consideravelmente o custo de manutenção reduzido. Na realidade, as propriedades únicas da SSL, tais como versatilidade na distribuição espectral de potência, dimerização instantânea e sem perdas, controle inteligente, ausência de mercúrio e melhor direcionalidade são as principais características que permitem economia de energia com base na nova tecnologia de iluminação pública (VITTA *et al.*, 2012).

2.6.2. CONTROLE

Controle é um termo geral para uma ampla gama de métodos, protocolos e dispositivos para operar equipamentos de iluminação LED. As formas mais simples de controle são “ON/OFF” e dimerização. Luminárias LED normalmente aceitam a entrada de controles especialmente concebidos utilizando um protocolo de comunicação que a fonte de luz pode entender. Um

protocolo de comunicação é simplesmente um conjunto padrão de regras para o envio de sinais e informações ao longo de um canal de comunicação (WEINERT, 2010).

O controle digital permite o controle dos dispositivos individuais de iluminação através da comunicação direta entre estes dispositivos e seu ambiente local, proporcionando possibilidades de métodos avançados de controle e diversos níveis do controle de iluminação, tais como interfaces de usuário para ajustes manuais e automáticos em resposta à disponibilidade de luz do dia, ocupação, ou hora do dia (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Os principais princípios do controle inteligente envolvem a dimerização individual da luminária, que é implementada por linha de alimentação de duas vias e/ou comunicação sem fio entre as luminárias e a central de computadores, sensores de tráfego, medidores de iluminância e luminância e estação meteorológica (VITTA *et al.*, 2012).

2.6.3. REDES INTELIGENTES

A definição de Redes Inteligentes de monitoramento, também denominadas *Smart Grid* tem variações, mas o aspecto comum é a forma de comunicação bidirecional ou de duas vias junto com o fluxo de energia entre as duas entidades envolvidas, ou seja, do Consumidor e Rede. As principais características do *Smart Grid* envolvem monitoramento, proteção, automação, otimização, integração e segurança do fluxo de potência dos geradores para os aparelhos de usuários finais. Isso eventualmente resulta em conservação de energia e sua utilização eficiente tanto para aplicações de energia quanto de infraestrutura (USMAN *et al.*, 2013).

Diferentes modelos conceituais e arquiteturas têm sido propostas para a implementação das redes inteligentes. Um modelo arquitetônico conceitual é proposto pelo Instituto Nacional de Normas e Tecnologia (*National Institute of Standards and Technology* – NIST). O principal objetivo desta arquitetura é para ser usado como um guia para a descrição, discussão, análise e

desenvolvimento de arquitetura de redes inteligentes e padrões. O alto nível de abstração desta arquitetura é mostrado na Figura 10 (USMAN *et al.*, 2013).

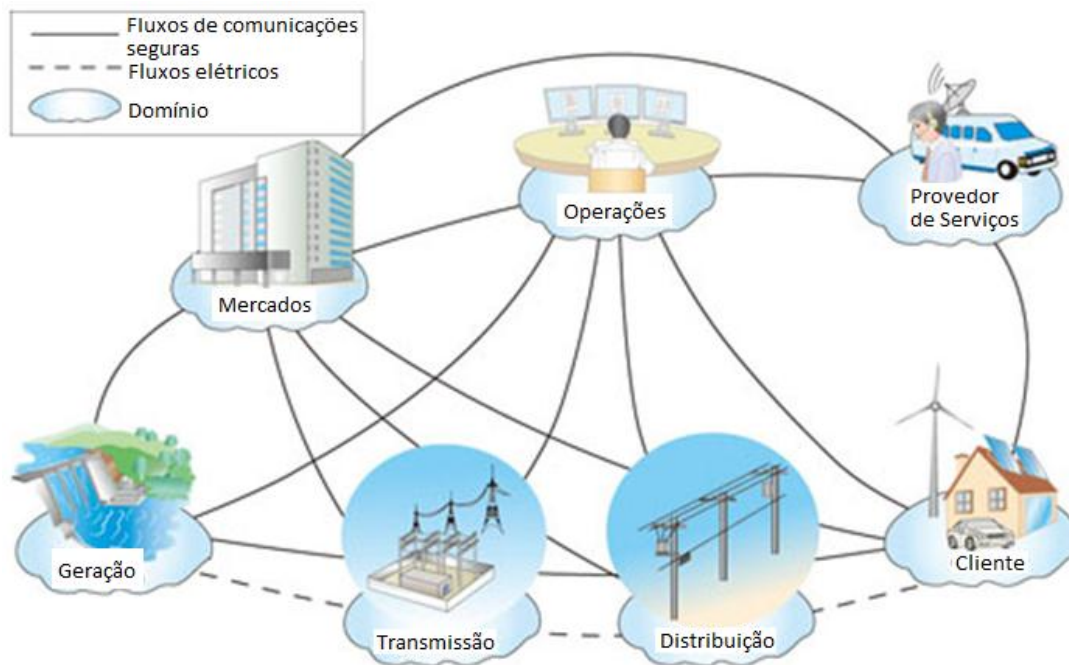


FIGURA 10 - ARQUITETURA *SMART GRID* PROPOSTA PELO NIST (USMAN *et al.*, 2013)

Com a integração de tecnologias de redes inteligentes, mais conhecidas como sistemas *Smart Grid*, com a rede elétrica, a confiabilidade e a segurança do sistema de energia devem aumentar, permitindo que os usuários finais tomem decisões baseadas em seu consumo de energia, resultando em implementação em larga escala de controle de carga e programas de demanda. Os principais benefícios da rede inteligente consistem no controle inteligente, no baixo custo e em sistemas de monitoramento que trabalham em sintonia com a rede de distribuição de energia, e permite comunicações de duas vias entre os componentes do sistema elétrico. As principais aplicações de rede inteligentes incluem medição automática, sistema de monitoramento remoto de energia e controle, detecção de fraudes de eletricidade, diagnóstico de falhas, resposta à demanda, controle de carga, automação de distribuição. Além disso com o advento da tecnologia LED, as redes inteligentes são cada vez mais aplicadas a gestão da iluminação pública (BILGIN *et al.*, 2012).

A operação e controle da próxima geração de redes inteligentes dependerão de uma complexa rede de computadores, *software* e tecnologias de comunicação, incluindo novas tecnologias facilitadoras, tais como sensores avançados e de medição, bem como a integração dos recursos de geração distribuída. Este aumento da inteligência em sistemas de iluminação permitirá a integração com outros sistemas da cidade, tais como sistemas de energia, instalações ou de mobilidade, que contribuirá para a geração, a distribuição, o monitoramento e o consumo de energia. Os sistemas Inteligentes de iluminação também fornecem uma rede de dados, que permite o fluxo de informações entre as diferentes redes das cidades; por exemplo, comunicar as necessidades de manutenção. A rede de iluminação poderá ser usada para complementar as redes de dados de cidadãos locais e fornecer a infraestrutura de comunicações sem fio em toda a cidade (BOU-HARB *et al.*, 2013; EUROPEAN COMMISSION, 2013).

A idéia de *Smart Grid* evoluiu rapidamente com o aumento das tecnologias da comunicação, em especial a comunicação bidirecional que é um aspecto fundamental na realização *Smart Grid* e é possível com a ajuda de avanços em ambas as tecnologias de comunicação com e sem fio (USMAN *et al.*, 2013).

As principais tecnologias de comunicação incluem IEEE (*ZigBee*), WiMAX e tecnologias de LAN sem fio (Wi-Fi), celular GSM 3G/4G, DASH 7 e PLC, com foco especial em suas aplicações em *Smart Grids*. A Tabela 7 resume a aplicação global das tecnologias de comunicação no ambiente de *Smart Grid*, e mostra a situação atual dessas tecnologias para diferentes aplicações de *Smart Grid*. Na sequência do presente trabalho estas tecnologias de comunicação para *Smart Grids* serão apresentadas como mais detalhes (USMAN *et al.*, 2013).

TABELA 7 - PENETRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO EM *SMART GRIDS* (USMAN *et al.*, 2013)

Tecnologias de Comunicações	Geração		Transmissão			Distribuição			Consumidor			
	Geração Convencional	Geração baseada em Energia Renovável	Monitoramento e Proteção de Linha de Transmissão	Monitoramento isolador	Monitoramento e Controle de Sistemas Flexíveis de Transmissão AC (FACTS)	Automação e Proteção de Substação	Monitoramento e Proteção de Linha de Distribuição	Equipamento de Monitoramento e Proteção	Automação e Controle Residencial	Automação e Controle Industrial	Leitura de Medição Automática	Tomadas de Veículos Elétricos Híbridos (PHEVs)
PLC	★	★	V	V	V	V	V	V	V	V	V	○
ZigBee	○	○	★	★	★	○	○	○	V	V	V	○
WiFi	○	★	○	★	○	V	★	V	V	V	V	○
WiMAX	○	○	○	★	★	○	★	★	★	○	○	★
GSM e GPRS	V	V	V	○	V	V	V	V	V	V	V	V
DASH 7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- V** = Em utilização, algumas soluções maduras disponíveis
★ = Não em uso atual, as soluções podem ser desenvolvidas
○ = Pesquisas em desenvolvimento, algumas soluções disponíveis mas sob teste

2.6.4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO PARA *SMART GRIDS*

2.6.4.1. COMUNICAÇÃO POR MEIO DE LINHA DE FORÇA

A tecnologia de comunicação por meio de linha de força (*Power Line Communications* – PLC) consiste em uma das primeiras iniciativas para a automação da rede de eletricidade. A tecnologia PLC envolve a introdução de um sinal de portadora modulada sobre a infraestrutura de cabo de linha de energia existente para comunicação bidirecional. PLC é classificada em duas categorias principais: PLC de banda estreita, com faixa de operação de 3-500 KHz e PLC de banda larga, com faixa de operação de 2-250 MHz. A tecnologia PLC em ambientes de *Smart Grid* encontra aplicações de banda estreita, assim como de banda larga. A escolha entre as tecnologias depende das regulamentações existentes em cada país (USMAN *et al.*, 2013).

A tecnologia de comunicação por meio de linha de força (PLC) é considerada a tecnologia de comunicação mais apropriada para aplicações de *Smart Grid*. Uma das principais razões consiste na disponibilidade da infraestrutura da linha de alimentação e a quantidade de pesquisas realizadas nesta área. Algumas das principais aplicações de PLC envolvem a automação de redes de média tensão e subestações (USMAN *et al.*, 2013).

Problemas de interferência e ruído são inerentemente presentes no ambiente PLC. A variação no canal de comunicação, que é altamente seletivo em frequência e não varia no tempo, é questão chave que ainda está no caminho de uma solução completa baseada em PLC. Por outro lado, PLC enfrenta problemas quando a comunicação com os dispositivos instalados nas extremidades do sistema de energia de circuito aberto é perdida. Esta questão reduz a aplicação de comunicação baseada em PLC em áreas com interruptores, seccionadoras e religadores (USMAN *et al.*, 2013).

2.6.4.2. IEEE 802.15.4 (*ZIGBEE*)

A tecnologia *ZigBee* consiste em um sistema de rede sem fio de curto alcance, baixa velocidade, baixo consumo de energia e de baixo custo.

Ele usa a tecnologia denominada Espectro de Propagação de Sequência Direta (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*) com frequência de trabalho com 868MHz, 915MHz e 2.4GHz. A frequência de DSSS não precisa de licenças. Adapta-se aos dados de comunicações de pequeno volume e inferior por ocasião da eficiência de transferência de dados. A segurança e a confiabilidade dos dados têm um conjunto de requisitos, e seu custo e consumo de energia são muito baixos. Portanto, *ZigBee* tem perspectivas de ampla aplicação em automação de edifícios/residências, em eletrônicos de consumo, de controles industriais, automação industrial, redes domésticas, automotivos, controle de equipamentos médicos, controle de iluminação e outros campos nos próximos anos (SHIZHONG, et al., 2012).

A tecnologia *ZigBee* (cujo nome é derivado da dança em ziguezague das abelhas) tem uma aceitação crescente em diferentes mercados como Energia Inteligente, onde as grandes implantações estão em andamento, como os EUA, Suécia, Canadá, Coreia, Austrália e China (YÜKSEL, et al., 2011).

A Figura 11 apresenta o modelo de rede *ZigBee* onde fica evidenciada sua topologia em malha.

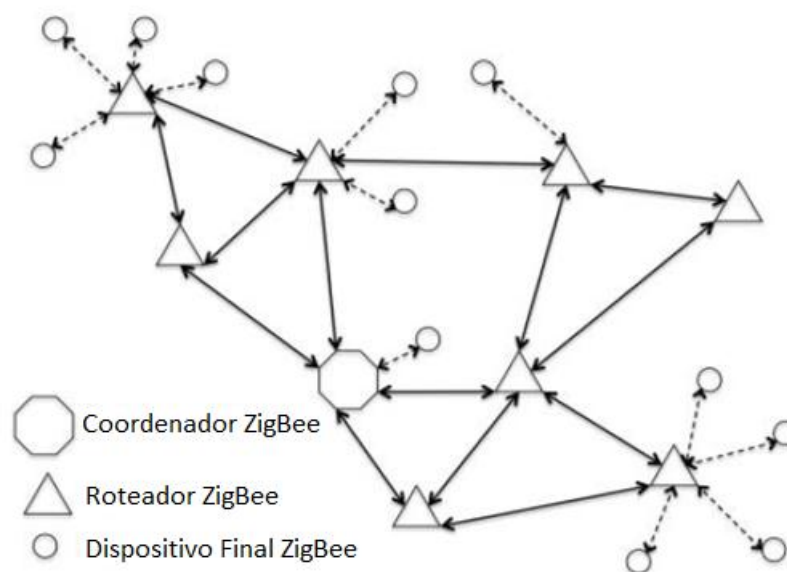


FIGURA 11 - MODELO DE REDE *ZIGBEE* (YÜKSEL et al., 2011)

2.6.4.3. REDE LOCAL SEM FIO

A Rede de Área Local sem Fio (*Wireless LAN - Wireless Local Area Network*), WLAN ou Wi-Fi é o mais popular entre os padrões sem fio desenvolvidos pela *Wi-Fi Alliance* de acordo com os padrões IEEE 802.11 e permite trabalhar na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical – Industrial, Científica e Médica*) de 2.4GHz. Ela emprega DSSS, técnica de modulação com taxas de dados atingindo até 11 Mbps para o ambiente interior e até 1 Mbps para ambientes ao ar livre (USMAN *et al.*, 2013).

O sistema Wi-Fi proporciona um desempenho robusto no espectro compartilhado e ambiente de canal de RF (*Radio frequency – Rádio Frequência*) ruidosos. Ele suporta os protocolos baseados em IP (*Internet Protocol – Protocolo de internet*) e inúmeras aplicações, incluindo *Smart Energy Profile 2.0*. Os recursos de segurança para a comunicação de dados segura e autêntica também são implementadas, tornando-se um forte concorrente para tecnologias de comunicação para *Smart Grids* (USMAN *et al.*, 2013).

A tecnologia WLAN / Wi-Fi apresenta inúmeras aplicações em *Smart Grid* e é a tecnologia sem fio dominante para a Internet de alta velocidade em ambientes internos e externos e para fins de entretenimento (USMAN *et al.*, 2013).

2.6.4.4. INTEROPERABILIDADE MUNDIAL PARA ACESSO EM MICRO-ONDAS

A tecnologia denominada Interoperabilidade mundial para acesso em micro-ondas (*Worldwide Interoperability for Microwave Access – WiMAX*) é uma tecnologia de comunicação desenvolvido sob os padrões IEEE 802.16 para banda larga sem fio, visto como uma solução de suporte principal (*backbone*) em ambientes de *Smart Grid*. Seu alcance de comunicação de comprimento, natureza interoperáveis inerente e capacidade de suportar altas taxas de dados torna-o mais susceptível de ser utilizado como um elo de comunicação de final de processo (*back-end*) confiável (USMAN *et al.*, 2013).

A tecnologia WiMAX oferece alta taxa de dados e confiável conectividade de rede automática, juntamente com baixos custos de instalação em geral e ampla área de cobertura para as aplicações de *Smart Grid*. Otimização, apoio à mobilidade, ambientes de monitoração dura e segurança são algumas das áreas em que essa tecnologia ainda precisa de atenção (USMAN *et al.*, 2013).

2.6.4.5. SISTEMA GLOBAL PARA CELULARES

O Sistema Global para Celulares (*Global System for Mobile – GSM*) é uma rede de circuito comutado e opera a 900 MHz e 1800 MHz. É a rede celular mais popular em todo o mundo após a telefonia fixa e está presente nos mais remotos locais, o que a torna um forte concorrente em aplicações *Smart Grid*. Além de fins de medição, dispositivos baseados em GSM também podem ser usados para fins de proteção da subestação e automação bem como para monitorizar os recursos energéticos distribuídos. Algumas questões importantes são a quantidade de tráfego e confiabilidade do Serviço de Mensagens Curtas (*Short Message Service – SMS*) em caso de congestionamento da rede, como nos horários de pico de tráfego onde se constata facilmente a redução do desempenho da rede (USMAN *et al.*, 2013).

2.6.4.6. REDE DE SENSORES SEM FIO

A tecnologia de Rede de Sensores sem Fio (DASH7) usa o padrão ISO / IEC 18000-7 e foi criado pela DASH7 *Alliance*, consórcio que promove a tecnologia. É desenvolvido para dispositivos de identificação por radiofrequências (RFID ativo) operando em 433 MHz.

Dispositivos habilitados DASH7 são uma solução de custo eficaz para a implantação de longo prazo de nós sensores através de sua bateria de longa duração. O uso de uma única frequência global dos dispositivos habilitados DASH7 simplificou o problema de implantação e manutenção, permitiu melhores oportunidades de interoperabilidade, apresentando-se como uma alternativa para soluções baseadas em *ZigBee* em aplicações de *Smart Grid* (USMAN *et al.*, 2013).

2.6.5. TELEGESTÃO

A telegestão consiste em um controle remoto, à distância. Os sistemas de telegestão mais modernos utilizam tecnologias abertas e ligação à Internet e, permite o controle da iluminação e iluminação de área por meio de aplicativos baseados na Web. Com tecnologia sem fio (*wireless*) permite o monitoramento, o controle, a medição e a gestão de iluminação, que melhora a confiabilidade e segurança. Cada ponto de luz pode ser ligado / desligado ou desativado a qualquer momento. O estado de funcionamento, o consumo de energia, e possíveis falhas, juntamente com data e hora exata e a localização geográfica, são armazenadas em um banco de dados que pode ser acessado remotamente pelos gestores de iluminação pública, no sentido de assegurar o nível exato de luz para a sua aplicação, que permite melhorar a confiabilidade da iluminação pública e reduzir custos operacionais (SCHRÉDER, 2009; CAMPOS *et al.*, 2013).

Os sistemas de controle e monitoramento normalmente são realizados por meio de comunicação com fios (PLC), que utiliza a rede elétrica de distribuição tradicional, e é uma solução cara em face da instalação dos cabos e manutenção envolvida. Com os avanços das redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks – WSNs*) os sistemas de controle e monitoramento tornaram-se mais acessíveis e rentáveis. Nestes sistemas os parâmetros mais importantes, como: tensão, corrente, temperatura, potência, tempo de funcionamento e outros dados relacionados, são monitorados e transmitidos a uma estação central (BILGIN *et al.*, 2012).

A fusão de diversos tipos de sensores sem fio, combinando sensores diferentes e inteligência distribuída dentro do sistema de iluminação, permitirá novas aplicações. Sensores podem indicar a iluminação ideal, monitoramento de ocupação, a temperatura, a gestão de energia, a disponibilidade de luz do dia ou a presença de etiquetas de identificação por radiofrequência (*Radio Frequency IDentification – RFID*), método de identificação automática por meio de sinais de rádio, e a recuperação e o armazenamento de dados remotamente (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Os sistemas de telegestão oferecem uma gama de inovações e benefícios no gerenciamento da iluminação, destacando-se:

- Redução nas emissões de gases de efeito estufa;
- Melhoria na confiabilidade e segurança;
- Melhora a manutenção e reduz o seu custo;
- Menor consumo de combustíveis fósseis, com a redução das emissões de CO₂ e emissões de gases de efeito estufa (GEE);
- Melhora a “imagem verde” da cidade para atrair novos investidores, empresas e moradores.

Além disso, sistemas de iluminação inteligentes podem contribuir significativamente para a economia de energia através da detecção das necessidades de iluminação, por exemplo, em função da luz ambiente e presença de pessoas, e, conseqüentemente, com fornecimento da iluminação ideal. Estes sistemas inteligentes poderão apresentar preços competitivos, em função da redução de custos para estas luminárias inteligentes, aliados aos esforços de P & D direcionados para a redução do preço e facilitar sua disseminação no mercado (CAMPOS *et al.*, 2013; GIELEN *et al.*, 2011).

O Relatório de iluminação publicado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos denominado “*Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination*” indica que a iluminação LED em aplicações de iluminação geral tem o potencial para reduzir o consumo de energia de iluminação dos EUA próximo da metade (46%), e as previsões de que o uso de LEDs em tais aplicações irá aumentar nas décadas seguintes. Prevê-se que em 2020 a iluminação LED poderá levar o país a economizar 300 terawatts-hora de eletricidade por ano o que é suficiente para abastecer 24 milhões de lares nos EUA e, com os preços atuais de energia, equivale a US\$ 30 bilhões em economia. Além disso, reduzirá as emissões de gases com efeito de estufa em cerca de 210 milhões de toneladas de carbono (BRODRICK, 2012).

2.7. ILUMINAÇÃO SUSTENTÁVEL

2.7.1. ILUMINANDO CORRETAMENTE

Como iluminar corretamente? Este é um grande desafio. Seguir as recomendações adequadas e proporcionar bons níveis iniciais nem sempre é fácil e, certamente, não é suficiente para garantir uma solução de boa iluminação. Uma boa solução em iluminação é o fornecimento de (SCHRÉDER, 2009):

- Desempenhos iniciais elevados;
- Manutenção destes desempenhos durante um longo período de tempo;
- Fácil manutenção;
- Baixo consumo de energia;
- Qualidade da luz;
- Sistemas eficazes.

2.7.1.1. DESEMPENHOS INICIAIS ELEVADOS

O ponto de partida para um alto desempenho inicial consiste na seleção de uma fonte de luz eficiente. A seguir são apresentadas as fontes de luz mais empregadas em iluminação pública.

(a) Lâmpadas HID

Os fabricantes de lâmpada estão constantemente trabalhando para melhorar as características das lâmpadas em termos de eficiência, tamanho, qualidade da luz (temperatura de cor e índice de reprodução de cor) e vida útil. A tendência é diminuir o volume do tubo de descarga emissor de luz com conseqüente aumento do rendimento e eficácia no direcionamento da luz, o que permite por parte dos fabricantes de luminárias a concepção de refletores mais elaborados, compactos e de geometria que conduz a um maior rendimento do bloco óptico (SCHRÉDER, 2009).

(b) LEDs

Nos últimos anos os LEDs têm evoluído de forma acentuada. De aplicações limitadas à sinalização, comunicações visuais e decorativas, tipicamente baseadas em iluminância, hoje em dia também passaram a ser aplicados como fontes de luz em luminárias para iluminação geral e de destaque, face aos atuais valores de fluxo atingidos, assim como a eficiência luminosa (lumens/Watts). Soma-se a isso sua elevada vida útil, luz dirigida, tamanho reduzido, alto brilho, disponibilidade de cores saturadas (RGB) e branco, além do controle do fluxo luminoso através da variação da corrente de alimentação (KNOOP, 2011).

2.7.1.2. FACILIDADE DE MANUTENÇÃO

O projeto da luminária deve permitir fácil acesso ao bloco óptico permitindo assim a substituição de lâmpadas sem o comprometimento do sistema de selagem da luminária e da mesma forma ter o acesso ao compartimento dos equipamentos auxiliares facilitado. Em ambas as situações sem comprometer o Grau de Proteção. O mesmo se aplica a luminárias com tecnologia LED onde o ideal é contar com blocos ópticos selados passíveis de upgrade em função do avanço da tecnologia LED e compartimentos protegidos para abrigarem os *drivers* e eventuais sistemas de gerenciamento (SCHRÉDER, 2009).

2.7.1.3. MANUTENÇÃO DO DESEMPENHO DURANTE A VIDA ÚTIL DA LUMINÁRIA

Geralmente, o ambiente onde as luminárias utilizadas em iluminação pública são instaladas é poluído. É, portanto, essencial que todas as características ópticas da luminária sejam protegidas contra a poluição atmosférica. A manutenção do desempenho ao longo de um período de tempo obtém-se fazendo compartimentos ópticos e de equipamentos auxiliares protegidos contra poeira e água (\geq IP66) (SCHRÉDER, 2009).

2.7.1.4. BAIXO CONSUMO DE ENERGIA

A seguir, são pontuadas recomendações relevantes para economia de energia de uma instalação (KOSTIC *et al.*, 2009):

- Antes de promover a iluminação de uma instalação a escolha entre uma atualização e reformulação deve ser baseada em um projeto adequado;
- Deve ser dada especial atenção à determinação da classe de iluminação de acordo com as normas vigentes. Por exemplo a instalação de iluminação pública, no Brasil, deve seguir as normas da ABNT NBR 5101 Iluminação Pública – Procedimento;
- É recomendado que as medições para determinar as propriedades de reflexão da superfície a ser iluminada sejam feitas de acordo com critérios de luminância. No Brasil, a maioria dos projetos é baseada apenas em critérios de iluminância; entretanto, a última versão da norma brasileira pertinente, “ABNT NBR 5101 Iluminação Pública – Procedimento”, apresenta ambos os critérios;
- Se lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão são aplicadas, elas devem possuir características técnicas e fotométricas melhoradas, ou seja, maior eficiência luminosa, maior vida e maior resistência a vibrações;
- É recomendado que as luminárias sejam eficazes, fáceis de manusear e com o grau de proteção de, pelo menos, IP65. Ideal, principalmente as de tecnologia LED que o grau de proteção seja de pelo menos IP66;
- É importante usar o valor correto do fator de manutenção das luminárias nos projetos de aplicação. O fator de manutenção influencia consideravelmente o nível de iluminância inicial (ou luminância), que determina toda a instalação, seu custo e consumo de energia elétrica;
- É recomendado o uso de luminárias com Fator de Potência $\geq 0,92$. No Brasil, a Portaria DNAEE nº. 085 de março de 1992 define o limite mínimo do Fator de Potência como 0,92;

- É recomendado o uso de luminárias com sistemas de dimerização ou destes sistemas aliados a sistemas de controle à distância (telegestão);
- Quando aplicadas lâmpadas de vapor metálico e/ou fontes de luz do estado sólido (LEDs) importante considerar critérios de luminância mesópica.

Embora a eficiência energética seja de vital importância, as ações destinadas a economia de energia não devem prejudicar o desempenho da iluminação pública. Desta forma, seguem abaixo, breves recomendações das necessidades pertinentes dos usuários (KOSTIC *et al.*, 2009).

- Lugares onde as pessoas se reúnem e locais com atividade intensa de pedestres devem ser iluminados por fontes de luz brancas caracterizadas por excelente reprodução de cor (IRC);
- Devem ser evitadas áreas escuras. Alguns projetistas de iluminação, destacando as vantagens do jogo de luz e sombra, permitem alternâncias de áreas claras e escuras; entretanto, estes sistemas não podem ser considerados aceitáveis se comprometem a segurança dos pedestres;
- Os efeitos de luz indesejável (intrusiva, ofuscante, direcionada para o céu) devem ser minimizados;
- Posição, tamanho e desenho do poste e da luminária devem estar em harmonia com o ambiente;
- Devem ser considerados o uso de postes galvanizados ao invés de postes pintados. De duração consideravelmente maior e mínima manutenção, apesar de serem mais caros, o seu custo total (incluindo o custo de manutenção) é menor do que a dos postes de aço pintados.

2.7.1.5. QUALIDADE DA LUZ

As duas medidas chaves da qualidade da luz branca são: a temperatura de cor (CCT) e o índice de reprodução de cores (CRI). A temperatura de cor descreve o quanto a luz branca parece quente (avermelhada), neutra ou fria (azulada). O índice de reprodução de cores descreve quão bem uma fonte de luz reproduz as cores. Os LEDs de luz branca são capazes de produzir temperaturas de cor tanto mais consistentes quanto em uma faixa mais larga do que a maioria das outras fontes de luz. Os LEDs de luz branca também se aproximam e em muitos casos ultrapassam as fontes de luz convencionais em sua capacidade de reproduzir cores com precisão (WEINERT, 2010).

2.7.1.6. EFICIÊNCIA DE UMA LUMINÁRIA

A eficiência luminosa de uma fonte de luz é tipicamente obtida como sendo o fluxo luminoso dividido pela potência nominal da fonte de luz, abreviado de lm/W. O rendimento de uma luminária indica a proporção do fluxo luminoso da fonte de luz efetivamente emitido pela luminária, que é dada como uma porcentagem (%) (DOE, 2012).

2.7.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA LUMINÁRIA LED

A tecnologia LED é cada vez mais utilizada para iluminação geral, sendo importante estudar os impactos ambientais de produtos LED. A literatura não apresenta estudos detalhados de Avaliações do Ciclo de Vida (ACV ou LCA – *Life Cycle Assessments*) de luminárias com fontes de luz do estado sólido, LEDs, estando disponíveis apenas algumas avaliações (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013).

A ACV de uma luminária LED foi realizada por pesquisadores da Finlândia e França utilizando os dados do fabricante da luminária, as medições de laboratório, especialistas do setor e da literatura. A ACV foi realizada utilizando o *software* SimaPro ACV e incluiu a fabricação, transporte, instalação, uso e estágios de fim de vida (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013).

A Figura 12 mostra os estágios da ACV, com destaque para (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013):

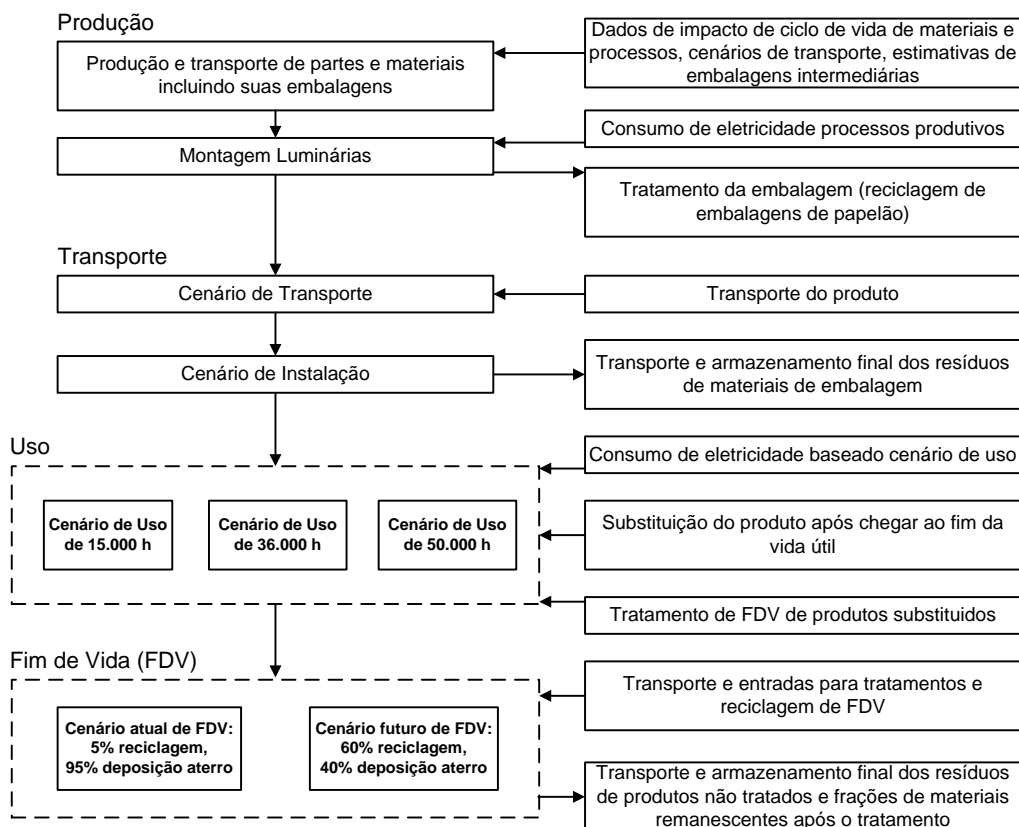


FIGURA 12 - ESTÁGIOS DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UMA LUMINÁRIA LED (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013)

- O estágio de **fabricação** que compreende inicialmente a aquisição das matérias-primas de todas as partes das luminárias no início da vida útil;
- O estágio de **transporte** que inclui o transporte do local de fabricação para o lugar que é usado. Os dados de transporte são coletados a partir do fabricante da luminária, e quando esses dados não são disponíveis, são utilizados como referência os cenários padrões para o perfil ambiental do produto (PEP);

- A **instalação** da luminária considera o transporte e o armazenamento final dos materiais de embalagem. A disposição final dos resíduos é modelada como deposição de resíduos sólidos urbanos;
- O **uso** da luminária é modelado com base no consumo de energia. Além do consumo de energia durante a operação, o estágio de uso inclui a fabricação de luminárias de reposição em caso de uma vida útil mais curta do que 50.000 horas;
- Os pesquisadores criaram dois cenários de **Fim de Vida** (FDV) da luminária LED: cenários de tratamento atual e potencial. O cenário atual está estimado em 95% da deposição em aterro e de 5% de tratamento de reciclagem, enquanto que o cenário prospectivo inclui 40% de deposição em aterro e 60% de tratamento de reciclagem. A deposição em aterro também inclui o transporte dos resíduos. A reciclagem das partes metálicas é modelado como reciclagem de alumínio (95%) e o restante (5%) é eliminado como resíduo perigoso. Outras partes da luminária são descartadas como resíduos sólidos urbanos.

Os resultados da ACV conduzida pelos pesquisadores indicaram que os impactos ambientais da luminária LED teve no consumo de energia seu principal fator, entretanto, a produção causou cerca de 23% dos impactos ambientais, em média, principalmente devido ao *driver*, ao módulo de LEDs e das peças de alumínio. A instalação, transporte e fim da vida praticamente não teve nenhum efeito sobre o total de impactos do ciclo de vida, exceto para o fim da vida de resíduos perigosos (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013).

A eficiência luminosa é um indicador ambiental relativamente apropriado da luminária e a tecnologia LED possui eficiência geral luminosa superior em comparação com as luminárias convencionais, entretanto, existem lacunas de dados nos dados da fabricação de produtos LED e seus impactos ambientais que precisam ser analisados (TÄHKÄMÖ *et al.*, 2013).

2.7.3. LUZ VERDE

O uso de LEDs para iluminação pública oferece uma variedade de benefícios de sustentabilidade que facilitam o cumprimento das iniciativas “verdes”. Com os destaques (PHILIPS, 2008):

- O Baixo consumo de energia pelos LEDs proporciona economia de energia da ordem de 20% a 50% em relação às luminárias com lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e vapor de mercúrio. Esta eficiência energética deverá aumentar com os avanços contínuos na tecnologia de estado sólido;
- Capacidade dos LEDs em minimizar o desperdício de luz reduzindo os requisitos de fluxo luminoso de uma determinada luminária. Uma vez que a distribuição da luz pode ser controlada individualmente, de LED a LED, a iluminação poderá ser feita, sem a poluição luminosa criada por uma solução de um único feixe e normalmente difusa;
- Ausência de mercúrio na construção dos LEDs faz com as luminárias com fontes de luz do estado sólido cumpram com as proibições de mercúrio, como a diretiva da União Europeia de Restrição de Uso de Substâncias Perigosas (RoHS – Restriction of Use of Hazardous Substances);
- Longa vida útil do LED aumenta os ciclos de substituição e uso de combustível associado pelas equipes de manutenção, além de prolongar a vida da luminária e reduzir a carga sobre o fluxo de resíduos;
- Luminárias LEDs reduzem a poluição e a emissão de carbono por meio de economia de energia, reduz o dióxido de carbono e emissões de mercúrio de usinas de queima de carvão, bem como a redução do consumo de combustível pelas equipes de manutenção despachadas para substituição de lâmpadas.

3. METODOLOGIA

Instalação de uma unidade piloto (UP) com luminárias com LED como fonte de luz, em conjunto com um sistema de telegestão para monitoramento e controle de operação da UP e outra UP com mesmo número de luminárias utilizando lâmpadas HID (VSAP) e acionamento por relé fotocontrolador. Assim, as duas unidades piloto atuaram como um “laboratório dinâmico”, permitindo a medição das distribuições de iluminância que instruíram a elaboração de um estudo comparativo de desempenho e eficiência energética da tecnologia LED + Telegestão comparada à tecnologia HID. As etapas seguidas foram:

- I. Escolha do local dos testes: os testes foram realizados em campos de provas da empresa Schröder Iluminação, localizada no Distrito Industrial da cidade de Vinhedo, SP, aproveitando-se do fato de que o mestrando é Diretor de Operações da organização e o presente trabalho é de interesse da mesma;
- II. Escolha das luminárias: As luminárias utilizadas foram:
 - Luminária HID Modelo Ambar 2 com lâmpada a vapor de sódio de 150W;
 - Luminária Akila com 96 LEDs e potência total de 141W dotada de sistema de telegestão (controlador individual da luminária modelo LUCO e dispositivo remoto de controle modelo SECO);

Ambas luminárias e dispositivos de controle por telegestão são fabricadas pela empresa Schröder. As características elétricas e fotométricas das luminárias, fornecidas pela empresa, são apresentadas nos Anexos de 1 a 5 e cujo resumo é apresentado na Tabela 8.

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS DAS LUMINÁRIAS

Característica	Luminária	
	LED	HID
Fluxo Luminoso (lm)	16.700	16.000
Potência Nominal (W)	141	150
Potência de Alimentação (W)	150	165
Eficiência (lm/W)	111	97

- III. Instalação de 5 (cinco) luminárias com fonte de luz LED e sistema de telegestão em um campo de prova e número equivalente de luminárias com fonte de luz HID (VSAP) num segundo campo de prova. Em cada uma das UP o espaçamento entre as luminárias foi definido em 35 metros, largura da via de 6 metros, equivalente a duas pistas de rolagens (2 X 3 metros) e altura de montagem de 8 metros. A Figura 13 representa um corte da seção da via;

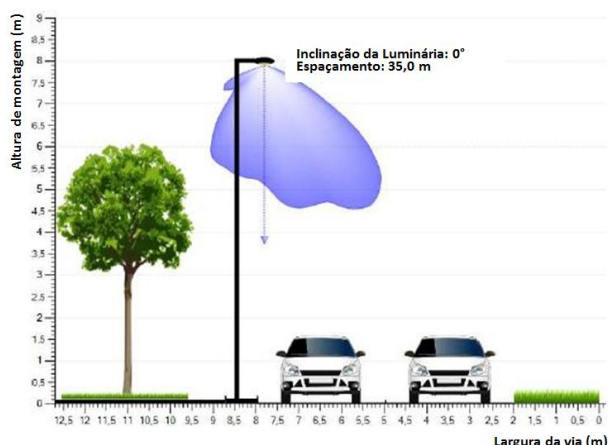


FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO EM CORTE DA SEÇÃO DA VIA SOB TESTE

A Figura 14 mostra uma fotografia ampliada do local de testes com a localização das luminárias. Nota-se a presença de alguns prédios vizinhos adjacentes à área de medição, mas a contribuição de iluminância é considerada insignificante;



FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS LUMINÁRIAS SOB TESTE

- IV. De acordo com a NBR 5101:2012, e tendo como referência sua malha de verificação (Figura 15) foram definidas duas malhas para análise das instalações: uma malha para fins de cálculo via software de aplicação e uma malha de verificação “in-loco”, utilizada para as medições em campo.

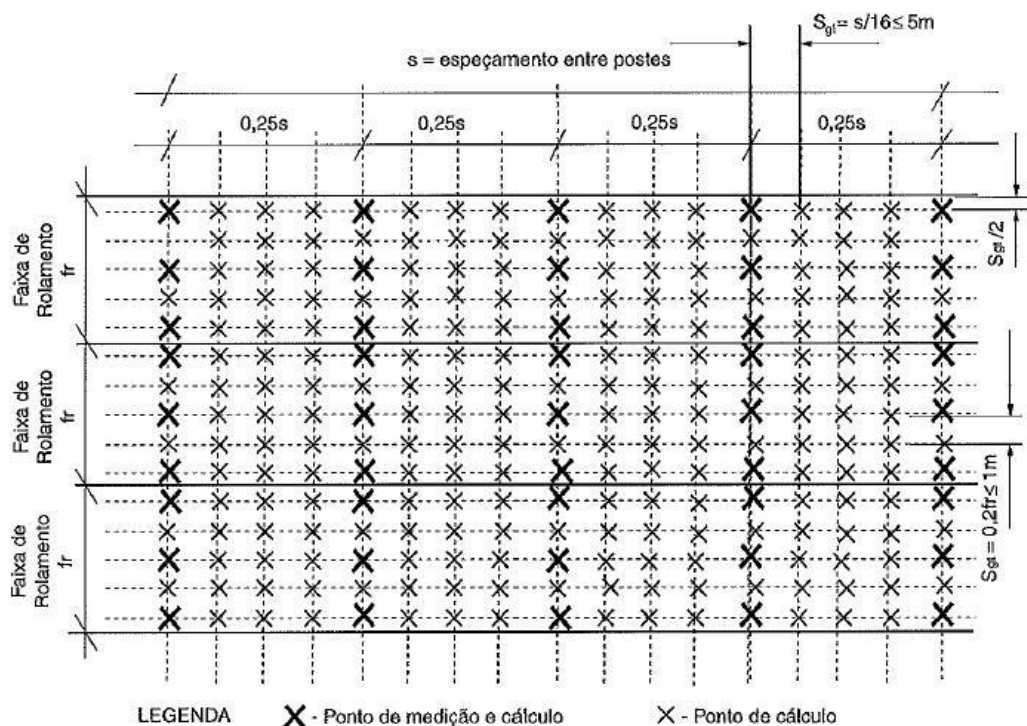


FIGURA 15 - MALHA DE VERIFICAÇÃO (ABNT, 2012)

Malha para cálculo via software

- A. 17 pontos no sentido da via, sendo o primeiro e o último ponto coincidentes com as luminárias subsequentes. O espaçamento longitudinal entre pontos (S_{gl}) é calculado pela fórmula:

$$S_{gl} = \frac{s}{16} \leq 5m, \text{ sendo "s" o espaçamento entre os postes.}$$

- B. 5 pontos para cada faixa de rolamento (fr), com a distância transversal entre pontos (S_{gt}) dada por:

$$S_{gt} = 0,2 \times fr, \text{ sendo "fr" a largura de uma faixa de rolamento.}$$

Os pontos extremos de cada coluna são afastados da linha divisória das faixas de rolamento pela metade desta distância entre pontos.

A Figura 16 apresenta a malha para cálculo via software.

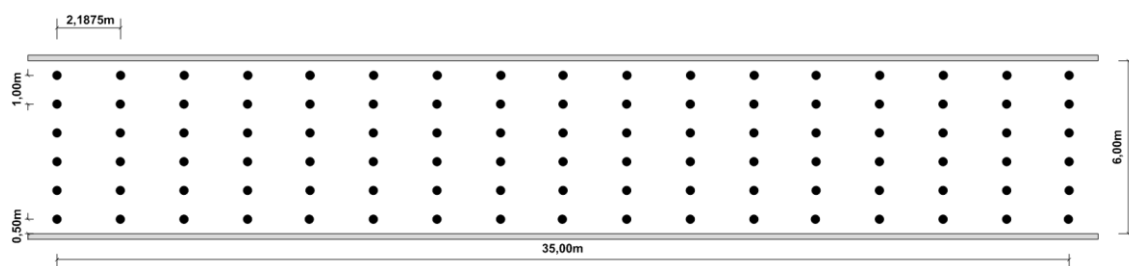


FIGURA 16 - MALHA DE CÁLCULO VIA SOFTWARE

Malha para verificação “in-loco”

- A. 5 pontos no sentido da via, sendo o primeiro e o último ponto coincidentes com as luminárias subsequentes. O espaçamento longitudinal entre pontos (S_{gl}) é calculado pela fórmula:

$$S_{gl} = 0,25 \times s, \text{ sendo "s" o espaçamento entre os postes.}$$

Logo, para as UP consideradas, tem-se:

$$S_{gl} = 0,25 \times s = 0,25 \times 35 = 8,75m$$

- B. 6 pontos para as faixas de rolamento (fr), com a distância transversal entre pontos (S_{gt}) dada por:

$$S_{gt} = 0,4 \times fr, \text{ sendo "fr" a largura de uma faixa de rolamento.}$$

Logo, para as UP consideradas, tem-se:

$$Sgt = 0,4 \times fr = 0,4 \times 2,5 = 1,0m$$

A Figura 17 apresenta a malha para medição em campo.

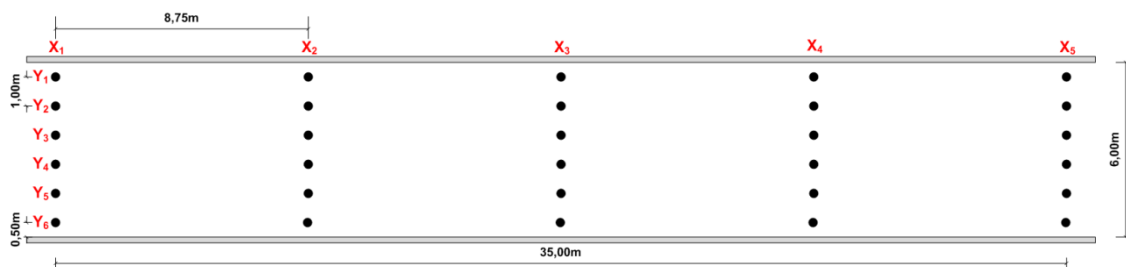


FIGURA 17 - MALHA PARA MEDIÇÃO EM CAMPO

- V. A instalação das luminárias com fonte de luz LED seguiu uma topologia em malha e sistema de telegestão aberto de comunicação bidirecional com base no princípio da frequência de rádio via protocolo *ZigBee*, como representado na Figura 18;

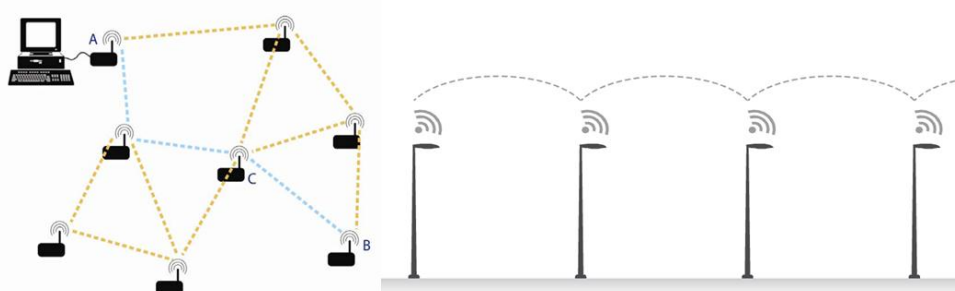


FIGURA 18 - TOPOLOGIA EM MALHA PARA LUMINÁRIAS LED

- VI. Foram realizadas as medições iniciais das iluminâncias de cada uma das UP sendo que nesta etapa as luminárias LED foram programadas para trabalhar com 100% do fluxo nominal, ou seja, sem dimerização. As medições foram feitas com um luxímetro portátil tipo Minolta T-10A, de acordo com os procedimentos descritos na norma NBR 5101:2012 e os resultados lançados em planilha. Ao todo foram realizadas 30 medições seguindo a malha para medição em campo (Figura 17). As medidas foram presumidas terem sido feitas sem a influência de luz ambiente e temperatura no local de 25°C;

- VII. Foram repetidas as medições das iluminâncias das UP's. Na UP com luminárias LEDs foram realizadas medições com 100% do fluxo luminoso e com dimerizações da potência de alimentação, realizadas remotamente via sistema de telegestão, em 70%, 50% e 40%. Demais condições foram mantidas, exceto a temperatura no local de 18°C;
- VIII. Com os valores de iluminâncias medidas nas duas oportunidades, foram calculadas as iluminâncias média (Emed), mínima (Emin) e Uniformidade Geral (Uo) para subsidiar a comparação das instalações de acordo com os critérios de iluminação definidos conforme a norma NBR 5101:2012;
- IX. Simulação de resultados por meio do software de cálculo luminotécnico "Ulysse 3", da empresa Schröder Iluminação, distribuído gratuitamente para os interessados, e posterior comparação com os resultados obtido em teste de campo;
- X. Baseado nas características elétricas e desempenho fotométrico das luminárias de cada uma das UP, foi realizado estudo de TCO (Total Cost of Ownership) ou custo total da posse, estimativa financeira projetada para avaliar os custos diretos e indiretos relacionados à compra das luminárias e acessórios requeridos para instalação, além do gasto com tais produtos para mantê-los em funcionamento, que oferece indicação final que reflete o custo de compra e os aspectos no uso e na manutenção dos equipamentos e dos sistemas considerados bem como o retorno do investimento (payback) para cada solução. Novamente foi utilizado o software de cálculo luminotécnico "Ulysse 3".

Este estudo não investiga os resultados pelo critério de luminância, apenas recentemente introduzido na norma técnica brasileira NBR 5101:2012 e não considera as diferentes condições visuais, por exemplo, "compensação" mesópica/fotópica. Também foi desconsiderada a contribuição da iluminação refletida para a iluminância do campo de teste. O campo de teste, controlado, não permitiu avaliar interferências na comunicação entre as luminárias e a central de controle de telegestão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. MEDIÇÕES INICIAIS DE ILUMINÂNCIAS

Os resultados das medições de iluminâncias são apresentados nas Tabelas 9 e 10, para a Luminária HID (VSAP) de 150W e Luminária LED de 141W com fluxo luminoso de 100% da potência nominal, respectivamente. As Tabelas correspondem à malha de medição em campo que atendem as exigências da norma técnica brasileira NBR 5101:2012 e que é mostrada na Figura 17.

A. Luminária HID (VSAP)

TABELA 9 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	53,5	17,9	9,3	16,9	48,7
y_2	62,3	20,1	10,3	17,9	55,8
y_3	64,8	20,2	10,9	17,5	55,5
y_4	59,8	19,2	11,1	16,6	50,5
y_5	50,4	16,8	10,6	15,2	41,9
y_6	39,7	14,8	10,0	13,0	33,2

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 9,3 lux corresponde ao par x_3y_1 que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 29,5 lux corresponde a iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação, ou seja, a média da quantidade de luz incidente na superfície. Foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação por meio das expressões de E_{\min} e $E_{\text{méd}}$.

Cálculo da iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{\min} = \text{Min} (x_1y_1 \dots x_5y_6) = 9,3 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_i y_i}{30} = 29,5 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{9,3}{29,5} = 0,314 = 31,4\%$$

Por meio de *software* de cálculo, configurado para trabalhar com a malha de cálculo apresentada na Figura 16 conforme norma técnica brasileira NBR 5101:2012, foi obtido o seguinte resultado para a luminária HID (VSAP) – 150W (Tabela 10):

TABELA 10 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA *SOFTWARE* PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W

[m]	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	52,3	35,00
0,50	52,6	52,3	40,1	26,5	19,3	15,7	12,6	10,5	9,8	10,5	12,6	15,7	19,3	26,5	40,1	52,3	52,6
1,50	57,6	54,5	41,5	26,9	19,8	16,1	13,3	11,2	10,5	11,2	13,3	16,1	19,8	26,9	41,5	54,5	57,6
2,50	55,3	49,9	38,3	25,1	19,0	15,6	13,3	11,2	10,5	11,2	13,3	15,6	19,0	25,1	38,3	50,0	55,3
3,50	46,9	42,3	33,1	22,3	17,0	14,0	12,5	10,7	10,2	10,7	12,5	14,0	17,0	22,3	33,1	42,3	47,0
4,50	36,9	33,6	27,0	19,0	14,7	12,4	11,4	9,9	9,5	9,9	11,4	12,4	14,7	19,0	27,0	33,6	36,9
5,50	28,9	25,3	21,5	15,6	12,3	10,4	9,9	8,8	8,5	8,8	9,9	10,4	12,3	15,6	21,5	25,3	28,9

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 8,5 lux, corresponde a 91,4% do valor medido (9,3 lux). A média dos 102 pontos é igual a 24,0 lux e corresponde a 81,4% do valor medido (29,5 lux).

A Iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o) obtidos via *software* foram:

$$E_{mín} = 8,5 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = 24,0 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{8,5}{24,0} = 0,354 = 35,4\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida via *software* corresponde a 112,7% do valor medido. O relatório completo obtido via *software* se encontra no anexo 1.

B. Luminária LED

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária LED de 141W, com fluxo de 100% são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	45,2	14,1	5,9	15,1	45,8
y_2	46,1	18,0	8,1	20,8	50,5
y_3	47,0	22,8	10,5	24,6	50,3
y_4	44,5	24,2	13,4	26,4	46,7
y_5	39,8	23,5	15,9	25,3	43,6
y_6	36,4	21,2	16,3	24,8	41,0

Para a luminária LED com 100% do fluxo luminoso observa-se que o ponto de mínimo, igual a 5,9 lux, corresponde, assim como para a luminária HID, ao par x_3y_1 , que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 28,9 lux corresponde a iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação, ou seja, a média da quantidade de luz incidente na superfície. Foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação por meio das expressões de E_{\min} e $E_{\text{méd}}$.

Cálculo da iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{\min} = \text{Min} (x_1y_1 \dots x_5y_6) = 5,9 \text{ lx}$$

$$E_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_i y_i}{30} = 28,9 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} = \frac{5,9}{28,9} = 0,202 = 20,2\%$$

Por meio de *software* de cálculo, configurado para trabalhar com a malha de cálculo apresentada na Figura 16, conforme norma técnica brasileira NBR

5101:2012, foi obtido o seguinte resultado para a luminária LED – 141W com 100% do fluxo (Tabela 12):

TABELA 12 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA SOFTWARE PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO

[m]	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	52,3	35,00
0,50	43,7	40,3	29,9	21,3	15,7	12,1	10,1	8,7	8,2	8,7	10,1	12,1	15,7	21,3	29,9	40,3	43,7
1,50	47,4	45,4	35,1	26,8	20,5	15,7	13,0	11,3	10,6	11,3	13,0	15,7	20,5	26,8	35,1	45,4	47,4
2,50	49,6	46,1	37,9	31,1	25,6	19,3	15,7	13,8	13,1	13,8	15,7	19,3	25,6	31,1	37,9	46,1	49,6
3,50	45,9	42,7	36,0	31,0	25,9	20,7	17,3	15,3	14,7	15,3	17,3	20,7	25,9	31,0	36,0	42,7	45,9
4,50	40,4	37,6	32,5	28,3	23,9	19,9	17,3	16,0	15,2	16,0	17,3	19,9	23,9	28,3	32,5	37,6	40,4
5,50	36,9	34,8	30,6	26,7	22,8	19,0	16,3	14,9	14,7	14,9	16,3	19,0	22,8	26,7	30,6	34,8	36,9

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 8,2 lux, corresponde a 139,0% do valor medido (5,9 lux). A média dos 102 pontos é igual a 26,0 lux e corresponde a 90,0% do valor medido (28,9 lux).

A Iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o) obtidos via *software* foram:

$$E_{mín} = 8,2 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = 26,0 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{8,2}{26,0} = 0,316 = 31,6\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida via *software* corresponde a 156,4% do valor medido. O relatório completo obtido via *software* se encontra no anexo 2.

4.2. NOVAS MEDIÇÕES DE ILUMINÂNCIAS

Medições realizadas após 5 (cinco) meses das medições iniciais.

A. Luminária HID (VSAP)

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária HID (VSAP) de 150W são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W

	x₁	x₂	x₃	x₄	x₅
y₁	53,6	17,3	9,0	16,6	47,8
y₂	62,0	19,1	10,1	17,7	53,2
y₃	64,5	19,8	10,6	17,5	53,3
y₄	59,4	18,7	11,0	16,4	48,4
y₅	50,1	16,4	10,6	14,6	40,2
y₆	40,8	14,4	9,8	12,6	32,4

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 9,0 lux, corresponde ao par x_3y_1 , que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 28,9 lux corresponde a iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação ou seja a média da quantidade de luz incidente na superfície. Através da E_{\min} e $E_{\text{méd}}$ foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação.

Decorridos 5 (cinco) meses desde a medição inicial, realizada em 18/02/13, os valores de $E_{\min} = 9,0$ lux e $E_{\text{méd}} = 28,9$ lux estão próximos dos valores iniciais de $E_{\min} = 9,3$ lux e $E_{\text{méd}} = 29,5$ lux, com redução dos níveis da ordem de 3,2% para E_{\min} e 2,0% para $E_{\text{méd}}$.

Cálculo da iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{\min} = \text{Min}(x_1y_1 \dots x_5y_6) = 9,0 \text{ lx}$$

$$E_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_i y_i}{30} = 28,9 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} = \frac{9,0}{28,9} = 0,311 = 31,1\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida corresponde a 99,0% do valor medido inicialmente.

Comparando-se com os resultados obtidos via *software* observa-se que o ponto de mínimo, igual a 8,5 lux, corresponde a 94,4% do valor medido (9,0 lux). A média dos 102 pontos é igual a 24,0 lux e corresponde a 83,0% do valor medido (28,9 lux) e a uniformidade (U_o) igual a 35,4% é 113,8% do valor medido (31,1%).

B. Luminária LED

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária LED de 141W, com fluxo de 100% são apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM 100% DO FLUXO

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	46,7	14,7	6,0	15,7	47,1
y_2	47,0	17,8	7,9	20,7	51,8
y_3	48,0	21,6	10,1	24,6	51,5
y_4	44,9	24,2	13,0	26,4	47,5
y_5	40,8	23,2	15,2	24,9	44,6
y_6	37,3	21,0	15,8	54,5	42,2

Para a luminária LED com 100% do fluxo luminoso observa-se que o ponto de mínimo, igual a 6,0 lux corresponde ao par x_3y_1 que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 30,2 lux corresponde à iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação ou seja a média da quantidade de luz incidente na superfície. Através da E_{\min} e $E_{\text{méd}}$ foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação.

Decorridos 5 (cinco) meses desde a medição inicial, realizada em 18/02/13, os valores de $E_{\min} = 6,0$ lux e $E_{\text{méd}} = 30,2$ lux estão próximos dos valores iniciais de $E_{\min} = 5,9$ lux e $E_{\text{méd}} = 28,9$ lux, com aumento dos níveis da ordem de 1,7% para E_{\min} e 4,5% para $E_{\text{méd}}$.

Cálculo da iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{\min} = \text{Min} (x_1y_1 \dots x_5y_6) = 6,0 \text{ lx}$$

$$E_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_iy_i}{30} = 30,2 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} = \frac{6,0}{30,2} = 0,199 = 19,9\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida corresponde a 98,5% do valor medido inicialmente.

Comparando-se com os resultados obtidos via *software* observa-se que o ponto de mínimo, igual a 8,2 lux, corresponde a 136,7% do valor medido (6,0 lux). A média dos 102 pontos é igual a 26,0 lux e corresponde a 86,1% do valor medido (30,2 lux) e a uniformidade (U_o) igual a 31,6% é 158,8% do valor medido (19,9%).

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária LED de 141W, com fluxo de 70% são apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 70%

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	30,6	9,6	4,0	10,4	31,4
y_2	30,8	11,9	5,3	13,9	34,4
y_3	31,6	14,3	6,9	16,5	34,2
y_4	30,0	16,0	9,0	17,6	31,7
y_5	26,8	15,4	10,5	16,8	29,7
y_6	24,5	14,0	10,8	16,4	27,7

Para a luminária LED com 70% do fluxo luminoso observa-se que o ponto de mínimo, igual a 4,0 lux corresponde ao par x_3y_1 que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 19,4 lux corresponde à iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação ou seja a média da quantidade de luz incidente na superfície. Através da E_{\min} e $E_{\text{méd}}$ foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação.

Cálculo da iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{mín} = \text{Min} (x_1y_1 \dots x_5y_6) = 4,0 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_iy_i}{30} = 19,4 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{4,0}{19,4} = 0,206 = 20,6\%$$

Comparando-se os resultados com aqueles obtidos anteriormente com a luminária LED com 100% do fluxo, observa-se que, com a redução de 30% do fluxo luminoso, ocorreu uma redução de 33,3% no $E_{mín}$ (de 6,0 lux para 4,0 lux) e 35,8% no $E_{méd}$ (de 30,2 lux para 19,4 lux). A uniformidade geral (U_o) obtida (20,6%) corresponde a 103,5% do valor medido inicialmente.

Por meio de *software* de cálculo, configurado para trabalhar com a malha de cálculo apresentada na Figura 16 conforme norma técnica brasileira NBR 5101:2012, foi obtido o seguinte resultado (Tabela 16) para luminária LED – 141W com 70% do fluxo:

TABELA 16 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA *SOFTWARE* PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 70%

[m]	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	52,3	35,00
0,50	30,6	28,2	20,9	14,9	11,0	8,5	7,1	6,1	5,8	6,1	7,1	8,5	11,0	14,9	20,9	28,2	30,6
1,50	33,2	31,8	24,6	18,8	14,4	11,0	9,1	7,9	7,4	7,9	9,1	11,0	14,4	18,8	24,6	31,8	33,2
2,50	34,7	32,3	26,5	21,8	17,9	13,5	11,0	9,6	9,2	9,6	11,0	13,5	17,9	21,8	26,5	32,3	34,7
3,50	32,1	29,9	25,2	21,7	18,1	14,5	12,1	10,7	10,3	10,7	12,1	14,5	18,1	21,7	25,2	29,9	32,1
4,50	28,3	26,3	22,8	19,8	16,7	13,9	12,1	11,2	10,6	11,2	12,1	13,9	16,7	19,8	22,8	26,3	28,3
5,50	25,8	24,3	21,4	18,7	16,0	13,3	11,4	10,5	10,3	10,5	11,4	13,3	16,0	18,7	21,4	24,3	25,8

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 5,8 lux, corresponde a 145,0% do valor medido (4,0 lux). A média dos 102 pontos é igual a 18,2 lux e corresponde a 93,8% do valor medido (19,4 lux). A Iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o) obtidos via *software* foram:

$$E_{mín} = 5,8 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = 18,2 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{5,8}{18,2} = 0,316 = 31,6\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida via *software* corresponde a 153,4% do valor medido. O relatório completo obtido via *software* se encontra no anexo 3.

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária LED de 141W, com fluxo de 50% são apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 50%

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	15,5	4,9	2,0	5,4	16,0
y_2	15,7	5,9	2,7	7,1	17,7
y_3	16,0	7,4	3,5	8,5	17,6
y_4	15,3	8,2	4,5	9,1	16,0
y_5	13,7	8,0	5,4	8,6	15,0
y_6	12,6	7,2	5,5	8,3	14,3

Para a luminária LED com 50% do fluxo luminoso, observa-se que o ponto de mínimo, igual a 2,0 lux, corresponde ao par x_3y_1 , que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente ($E_{mín}$). A média das 30 medições igual a 9,9 lux corresponde à iluminância média ($E_{méd}$) da instalação ou seja a média da quantidade de luz incidente na superfície. Através da $E_{mín}$ e $E_{méd}$ foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação.

Cálculo da iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{mín} = \text{Min} (x_1y_1 \dots x_5y_6) = 2,0 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_i y_i}{30} = 9,9 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{2,0}{9,9} = 0,202 = 20,2\%$$

Comparando-se os resultados com aqueles obtidos anteriormente com a luminária LED com 100% do fluxo observa-se que com a redução de 50% do fluxo luminoso ocorreu uma redução de 66,7% no E_{\min} (de 6,0 lux para 2,0 lux) e 67,2% no $E_{\text{méd}}$ (de 30,2 lux para 9,9 lux). A uniformidade geral (U_o) obtida (20,2%) corresponde a 101,5% do valor medido inicialmente.

Por meio de *software* de cálculo, configurado para trabalhar com a malha de cálculo apresentada na Figura 16 conforme norma técnica brasileira NBR 5101:2012, foi obtido o seguinte resultado (Tabela 18) para luminária LED – 141W com 50% do fluxo:

TABELA 18 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA SOFTWARE PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 50%

[m]	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00
0,50	23,4	22,5	17,0	12,6	9,5	7,3	6,1	5,2	4,9	5,2	6,1	7,3	9,5	12,6	17,0	22,5	23,4
1,50	26,1	24,5	19,5	15,9	12,5	9,4	7,7	6,6	6,2	6,6	7,7	9,4	12,5	15,9	19,5	24,5	26,1
2,50	25,5	23,6	19,6	16,7	13,8	10,7	8,8	7,6	7,3	7,6	8,8	10,7	13,8	16,7	19,6	23,6	25,5
3,50	23,1	21,3	18,2	15,6	13,0	10,6	9,1	8,3	8,0	8,3	9,1	10,6	13,0	15,6	18,2	21,3	23,1
4,50	21,4	20,0	17,4	15,0	12,2	10,3	8,8	8,0	7,7	8,0	8,8	10,3	12,2	15,0	17,4	20,0	21,4
5,50	19,6	19,0	17,2	14,9	12,0	9,5	7,8	6,9	6,6	6,9	7,8	9,5	12,0	14,9	17,2	19,0	19,6

Observa-se que o ponto de mínimo, igual a 4,9 lux, corresponde a 245,0% do valor medido (2,0 lux). A média dos 102 pontos é igual a 14 lux e corresponde a 141,4% do valor medido (9,9 lux).

A Iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o) obtidos via *software* foram:

$$E_{\min} = 4,9 \text{ lx}$$

$$E_{\text{méd}} = 14 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} = \frac{4,9}{14} = 0,352 = 35,2\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida via *software* corresponde a 174,3% do valor medido. O relatório completo obtido via *software* se encontra no anexo 4.

Os resultados das medições de iluminâncias para a Luminária LED de 141W, com fluxo de 40% são apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) MEDIDOS PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 40%

	x₁	x₂	x₃	x₄	x₅
y₁	10,2	3,2	1,3	3,4	10,4
y₂	10,4	3,9	1,8	4,3	10,9
y₃	10,5	4,9	2,3	5,4	11,0
y₄	10,1	5,4	3,0	5,9	10,2
y₅	9,0	5,3	3,6	5,7	9,4
y₆	8,3	4,7	3,6	5,2	8,9

Para a luminária LED com 40% do fluxo luminoso, observa-se que o ponto de mínimo, igual a 1,3 lux, corresponde ao par x_3y_1 , que indica que esta é a área da superfície com menor quantidade de luz incidente (E_{\min}). A média das 30 medições igual a 6,4 lux corresponde à iluminância média ($E_{\text{méd}}$) da instalação ou seja a média da quantidade de luz incidente na superfície. Através da E_{\min} e $E_{\text{méd}}$ foi calculada a uniformidade geral (U_o) da instalação.

Cálculo da iluminância média ($E_{\text{méd}}$) e uniformidade geral (U_o):

$$E_{\min} = \text{Min}(x_1y_1 \dots x_5y_6) = 1,3 \text{ lx}$$

$$E_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=x_1y_1}^{x_5y_5} x_i y_i}{30} = 6,4 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} = \frac{1,3}{6,4} = 0,206 = 20,6\%$$

Comparando-se os resultados com aqueles obtidos anteriormente com a luminária LED com 100% do fluxo observa-se que com a redução de 60% do fluxo luminoso ocorreu uma redução de 78,3% no E_{\min} (de 6,0 lux para 1,3 lux) e 78,8% no $E_{\text{méd}}$ (de 30,2 lux para 6,4 lux). A uniformidade geral (U_o) obtida (20,6%) corresponde a 103,5% do valor medido inicialmente.

Por meio de *software* de cálculo, configurado para trabalhar com a malha de cálculo apresentada na Figura 16 conforme norma técnica brasileira NBR 5101:2012, foi obtido o seguinte resultado (Tabela 20) para luminária LED – 141W com 40% do fluxo.

TABELA 20 - VALORES DE ILUMINÂNCIA (LUX) OBTIDOS VIA *SOFTWARE* PARA LUMINÁRIA LED – 141 W COM DIMERIZAÇÃO DE 40%

[m]	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	52,3	35,00
0,50	18,7	18,0	13,6	10,1	7,6	5,8	4,8	4,2	3,9	4,2	4,8	5,8	7,6	10,1	13,6	18,0	18,7
1,50	20,9	19,6	15,6	12,7	10,0	7,5	6,1	5,3	5,0	5,3	6,1	7,5	10,0	12,7	15,6	19,6	20,9
2,50	20,4	18,9	15,7	13,3	11,0	8,6	7,1	6,1	5,8	6,1	7,1	8,6	11,0	13,3	15,7	18,9	20,4
3,50	18,5	17,0	14,5	12,5	10,4	8,5	7,3	6,6	6,4	6,6	7,3	8,5	10,4	12,5	14,5	17,0	18,5
4,50	17,1	16,0	13,9	12,0	9,8	8,2	7,0	6,4	6,1	6,4	7,0	8,2	9,8	12,0	13,9	16,0	17,1
5,50	15,7	15,2	13,8	12,0	9,6	7,6	6,3	5,5	5,3	5,5	6,3	7,6	9,6	12,0	13,8	15,2	15,7

A Iluminância média ($E_{méd}$) e uniformidade geral (U_o) obtidos via *software* foram:

$$E_{mín} = 3,9 \text{ lx}$$

$$E_{méd} = 11,2 \text{ lx}$$

$$U_o = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} = \frac{3,9}{11,2} = 0,349 = 34,9\%$$

A uniformidade geral (U_o) obtida via *software* corresponde a 169,4% do valor medido. O relatório completo obtido via *software* se encontra no anexo 5.

No presente estudo, com a possibilidade de dimerização das luminárias LED equipadas com telegestão foram considerados como critérios de iluminação, conforme a norma técnica NBR 5101:2012, a classe de iluminação V3 (vias urbanas com volume de tráfego noturno médio) e as classes V4 e V5 (vias urbanas com volume de tráfego noturno médio e leve respectivamente) uma vez que se pode considerar a redução do volume de tráfego de veículos ao longo da noite, e conseqüentemente, a redução da classe de iluminação. A Tabela 21 resume estas exigências.

TABELA 21 - ILUMINÂNCIA MÉDIA E UNIFORMIDADE MÍNIMAS PARA CADA CLASSE DE ILUMINAÇÃO (ABNT, 2012)

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima ($E_{méd}$)	Fator de Uniformidade mínimo (U_o)
V3	15 lux	0,2
V4	10 lux	0,2
V5	5 lux	0,2

Os resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 13, 14, 15, 17 e 19 e cálculos de $E_{méd}$ e U_o decorrentes estão resumidos na Tabela 22 e foram apresentados com os mesmos números de algarismos significativos exigidos pela norma.

TABELA 22 – RESUMO DAS ILUMINÂNCIAS MÉDIA E UNIFORMIDADES OBTIDAS NAS MEDIÇÕES DAS UP

Luminária	Iluminância média ($E_{méd}$)	Fator de Uniformidade (U_o)
HID VSAP 150W	29 lux	0,3
LED 141W (Fluxo 100%)	30 lux	0,2
LED 141W (Dimerização 70%)	19 lux	0,2
LED 141W (Dimerização 50%)	10 lux	0,2
LED 141W (Dimerização 40%)	6 lux	0,2

Observa-se que os resultados obtidos através de medição nas UP (Tabelas 14, 15, 17 e 19) comparados com aqueles obtidos por meio de *software* de cálculo (Tabelas 12, 16, 18 e 20) possuem diferenças expressivas, particularmente a iluminância mínima ($E_{mín}$) impactando assim a uniformidade geral (U_o), que depende do mesmo em seu cálculo.

Os resultados mostram que, decorridos cinco meses da instalação das UP, a UP com luminárias HID dotadas de lâmpadas VSAP 150W apresentou uma redução de desempenho como fica evidenciado pela redução dos níveis de iluminância medidos em 18/02/13 (Tabela 9) e 15/07/13 (Tabela 13). A

Redução foi de 3,2% para E_{\min} e 2,0% para $E_{\text{méd}}$. Neste período, se passaram 147 dias, o que equivale a 1764 horas, considerando-se ciclos de 12 horas ligado/dia. Este resultado está coerente com os dados do fabricante da lâmpada que prevê uma depreciação de 3% do fluxo luminoso após 2000 h.

A UP com luminárias LED em conjunto com sistema de telegestão, em funcionamento com 100% do fluxo (sem dimerização), apresentou um aumento de desempenho como fica evidenciado pelo aumento dos níveis de iluminâncias medidas em 18/02/13 (Tabela 11) comparados com aqueles medidos em 15/07/13 (Tabela 14). O aumento foi de 1,7% para E_{\min} e 4,5% para $E_{\text{méd}}$. Este aumento pode ser parcialmente explicado pela acomodação do sistema ao longo do período de funcionamento (1764 horas) em particular da dissipação térmica. O fabricante dos LEDs garante que a depreciação do fluxo nas primeiras 6000 horas de funcionamento não excederá a 1,5%.

Analisando a Tabela 22, observa-se que as duas luminárias, HID e LED, atendem as exigências da norma técnica NBR 5101 para classe de iluminação V3. A luminária LED atende com 100% do fluxo luminoso e também com dimerização de 70%. A luminária LED também atende as classes V4 e V5 com dimerização de 50% e a classe V5 com dimerização de 40%.

4.3 ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ECONÔMICA DAS INSTALAÇÕES

As Figuras 19 e 20 e as Tabelas 23 e 24 apresentam os dados de entrada requeridos para o estudo comparativo de TCO.

As noites no Brasil variam conforme as estações do ano, podendo anoitecer às 17:48hs como no mês de Junho ou 19:49hs como no mês de Janeiro; e, amanhecer às 05:44hs no mês de Outubro e às 07:07hs como no mês de Fevereiro. As variações das noites no Brasil são apresentadas na Figura 19. Para fins do presente trabalho foi considerado em média anoitecer às 18:30hs e amanhecer às 06:30hs, ou seja, ciclos de 12 horas.

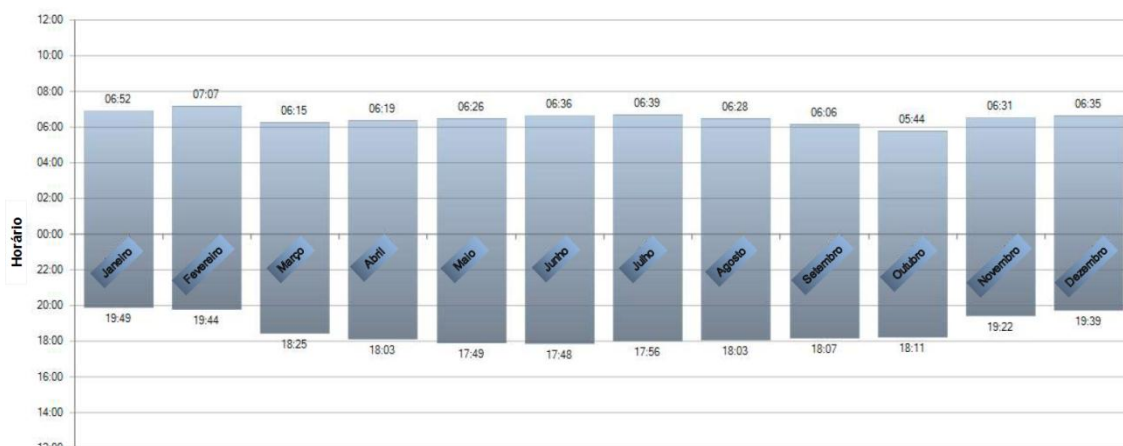


FIGURA 19 - VARIAÇÕES DAS NOITES NO BRASIL

O perfil de funcionamento da Luminária HID (VSAP) de 150W é o apresentado na Figura 20, onde a mesma entra em operação ao anoitecer e é desligada ao amanhecer controlada por um Relé Fotocontrolador. Durante todo o ciclo, ou seja, 12 horas, a luminária funciona com 100% de seu fluxo luminoso e, portanto consumindo 100% da potência requerida.

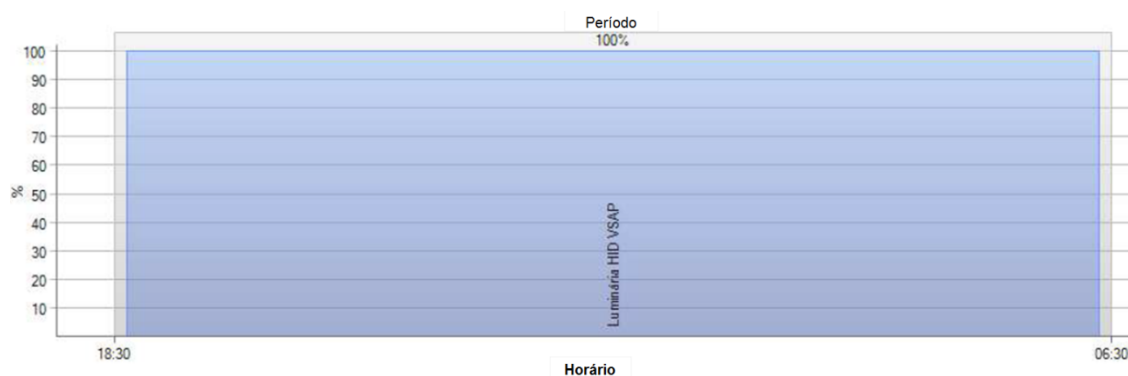


FIGURA 20 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO DA LUMINÁRIA HID (VSAP) – 150 W

O perfil de funcionamento da Luminária LED de 141W é o apresentado na Figura 21. Os estudos realizados permitem considerar uma aplicação da luminária LED com sistema de telegestão com a seguinte programação de dimerização: das 18:30hs às 22:00hs atendendo a classe V3 com dimerização de 70%, das 22:01hs às 00:00hs com dimerização de 50% atendendo a classe V4; das 00:01hs às 05:30hs atendendo a classe V5 com dimerização de 40% e das 05:31hs às 06:30hs, atendendo a classe V4 com dimerização de 50%.

Este perfil, possível em função da dimerização proporcionada pelo sistema de telegestão, torna o sistema flexível, e assim como a instalação com Luminária HID (VSAP) de 150W atendendo a norma brasileira NBR 5101:2012.

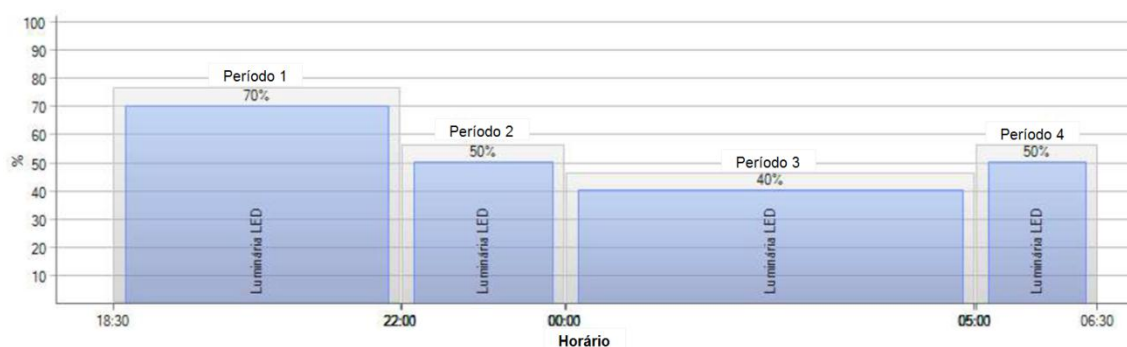


FIGURA 21 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO DA LUMINÁRIA LED – 141 W

Como informado previamente, as Tabelas 23 e 24, juntamente com os perfis de funcionamento apresentados, são dados de entrada requeridos para o estudo comparativo de TCO, e são apresentados a seguir.

TABELA 23 - ESTUDO COMPARATIVO TCO - HID X LED

Dados de entrada para estudo comparativo	HID (VSAP 150W)	LED (141W)
Potência da fonte de Luz (Lâmpada ou LED)	150W	141W
Perda de potência (reator ou driver)	15W	9W
Vida útil da fonte de Luz	20.000 horas	90.000 horas
Vida útil do reator ou driver	40.000 horas	80.000 horas
Custo da instalação inicial (*)	R\$ 915,00	R\$ 2.310,00
Custo da substituição da fonte de luz (*)	R\$ 160,00	R\$ 475,00
Custo da substituição do reator ou driver (*)	R\$ 175,00	R\$ 275,00

TABELA 24 – TARIFAS DE ENERGIA E INDICADORES DE REAJUSTE

Indicadores (Brasil)	Valor
Tarifa Média de Fornecimento (KWh)	R\$ 0,161
Custo Marginal de Operação (KWh)	R\$ 1,685
Preço de Energia de Curto Prazo (KWh)	R\$ 0,822
Taxa de Inflação 2013	5,91%
Taxa estimada de reajuste da Energia	7,42%

A Tabela 24 apresenta o custo da energia elétrica no Brasil, em KWh, em 3 dimensões: **(A)** classe de consumo iluminação pública correspondente à tarifa

média de fornecimento no Brasil, regulada pela ANEEL, que também define a taxa de reajuste de energia (ANEEL, 2014); **(B)** Custo Marginal de Operação (CMO), ou seja, o custo por unidade de energia produzida para atender a um acréscimo de carga no sistema (ANEEL, 2004), que de acordo com Operador Nacional do Sistema Elétrico do Brasil (ONS) alcançou em Fevereiro/2014 R\$1.685,28/MWh nas regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul e **(C)** o Preço de Energia de Curto Prazo, também conhecido como Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), que alcançou patamar recorde de R\$822,83 (EXAME, 2014).

A taxa de inflação é acumulada de 12 meses, segundo o Banco Central do Brasil (BCB, 2014).

A Tabela 25, a seguir, apresenta os detalhes dos custos apresentados na Tabela 23(*).

TABELA 25 - CUSTOS DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS LUMINÁRIAS HID E LED

ITEM	CUSTO (R\$)	
	HID (VSAP 150W)	LED (141W)
Luminária	270,00	850,00
Poste	400,00	400,00
Instalação/manutenção	125,00	125,00
Fonte de Luz (Lâmpada ou LEDs)	35,00	350,00
Driver/Reator	50,00	150,00
Relé Fotoelétrico (Controle)	35,00	-
Telegestão - Controlador Luminária	-	400,00
Telegestão - Controlador Rede	-	35,00
TOTAL	915,00	2.310,00

Baseado nos perfis de funcionamento das luminárias HID (VSAP) e LED, dados característicos das luminárias, custo da energia elétrica, vida útil e custos de instalação e manutenção foi possível por meio de software gerar os gráficos de custos de TCO acumulados ao longo de 20 anos, período definido para o estudo comparativo em face da vida útil média projetada das luminárias. Para fins de estudos definiu-se comparar um trecho de 1Km de instalação.

A. Custos de TCO acumulados - HID X LED baseado na Tarifa Média de Fornecimento

As Figuras 22 e 23 mostram a evolução dos custos TCO acumulados em função do tempo, para luminárias HID comparados aos das luminárias LED.

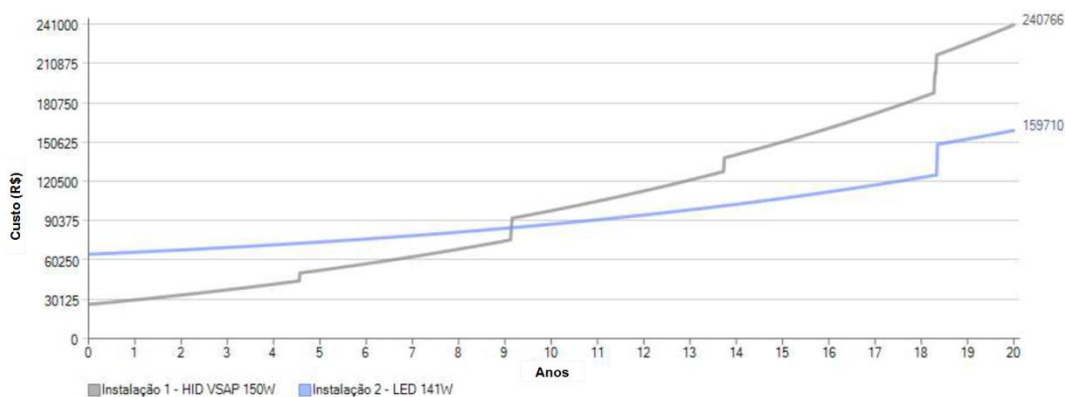


FIGURA 22 - CUSTOS DE TCO HID X LED / TARIFA MÉDIA DE FORNECIMENTO

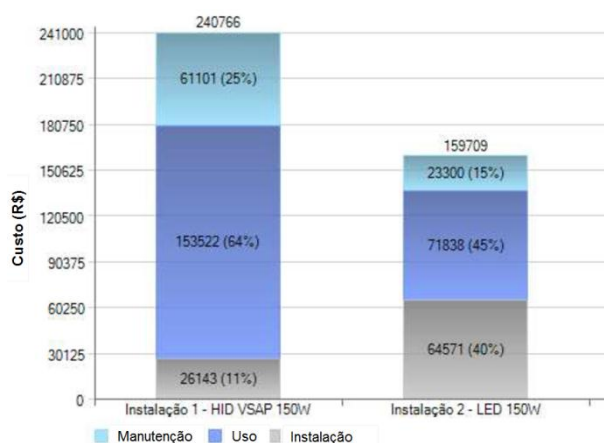


FIGURA 23 - INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE TARIFA MÉDIA DE FORNECIMENTO

Analisando a Figura 22 verifica-se que a partir do 9º (nono) ano da instalação original, a instalação com luminárias LED passa a ser mais atrativa, em face de redução nos custos de manutenção e uso, decorrente da maior eficiência do sistema LED com telegestão.

O custo da instalação inicial de Luminárias HID (VSAP) de 150W representa 11% do custo total após 20 anos, contra 40% de uma instalação equivalente com Luminárias LED de 141W com sistema de telegestão. Ao longo do tempo, o custo de uso e de manutenção torna a instalação com Luminárias LED mais atrativa, representando 45% e 15% respectivamente contra 64% e 25% da instalação com Luminárias HID (VSAP). Ao final dos 20 anos a instalação com Luminárias LED poderá gerar uma economia de 34% por Km de instalação em relação a uma instalação equivalente com Luminárias HID (VSAP).

B. Custos de TCO acumulados - HID X LED baseado no Custo Marginal de Operações (CMO)

A Figura 24 mostra a evolução dos custos TCO acumulados, comparando as luminárias HID e LED, relacionados ao custo marginal de operações.

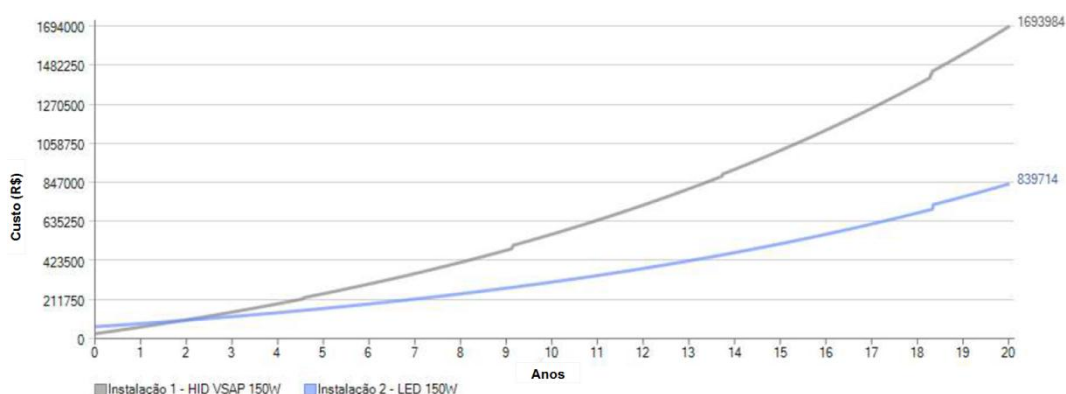


FIGURA 24 – CUSTOS DE TCO HID X LED / CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÕES

Analisando a Figura 24 verifica-se que a partir do 2º (segundo) ano da instalação original, a instalação com luminárias LED passa a ser mais atrativa, em face de redução nos custos de manutenção e uso, decorrente da maior eficiência do sistema LED com telegestão.

A Figura 25 mostra que o custo da instalação inicial de Luminárias HID (VSAP) de 150W representa 2% do custo total após 20 anos, contra 8% de uma

instalação equivalente com Luminárias LED de 141W com sistema de telegestão. Ao longo do tempo, o custo de uso e de manutenção torna a instalação com Luminárias LED mais atrativa, representando 90% e 3% respectivamente contra 95% e 4% da instalação com Luminárias HID (VSAP). Ao final dos 20 anos a instalação com Luminárias LED poderá gerar uma economia de 50% por Km de instalação em relação a uma instalação equivalente com Luminárias HID (VSAP).

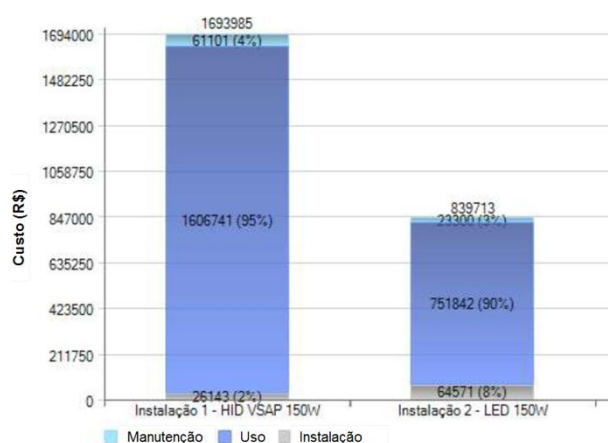


FIGURA 25 - INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÕES

C. Custos de TCO acumulados - HID X LED baseado no Preço de Energia de Curto Prazo

A Figura 26 mostra a evolução dos custos TCO acumulados, comparando as luminárias HID e LED, relacionados ao preço da energia elétrica de curto prazo. Observa-se que a partir do 3º (terceiro) ano e seis meses da instalação original, a instalação com luminárias LED passa a ser mais atrativa, em face de redução nos custos de manutenção e uso, decorrente da maior eficiência do sistema LED com telegestão.

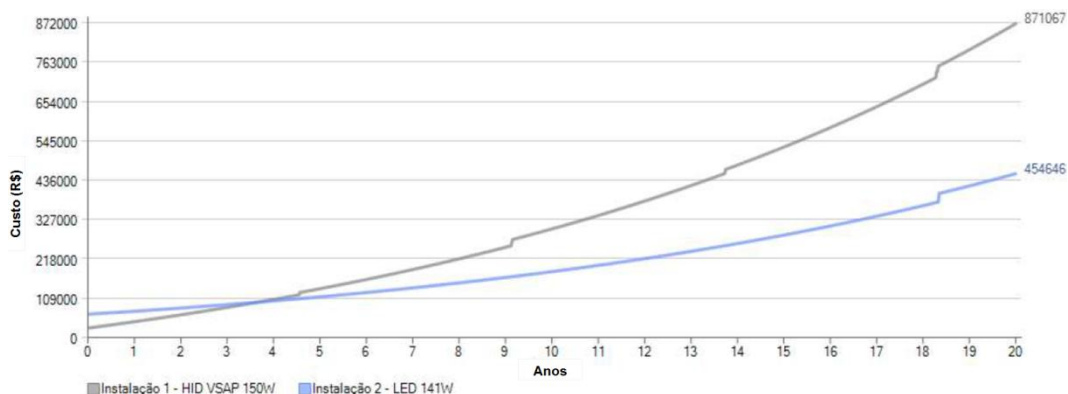


FIGURA 26 – CUSTOS DE TCO HID X LED / PREÇO DE ENERGIA DE CURTO PRAZO

A Figura 27 mostra que o custo da instalação inicial de Luminárias HID (VSAP) de 150W representa 3% do custo total após 20 anos, contra 14% de uma instalação equivalente com Luminárias LED de 141W com sistema de telegestão. Ao longo do tempo, o custo de uso e de manutenção torna a instalação com Luminárias LED mais atrativa, onde o uso e manutenção representam 81% e 5% respectivamente contra 90% e 7% da instalação com Luminárias HID (VSAP). Ao final dos 20 anos a instalação com Luminárias LED poderá gerar uma economia de 48% por Km de instalação em relação a uma instalação equivalente com Luminárias HID (VSAP).

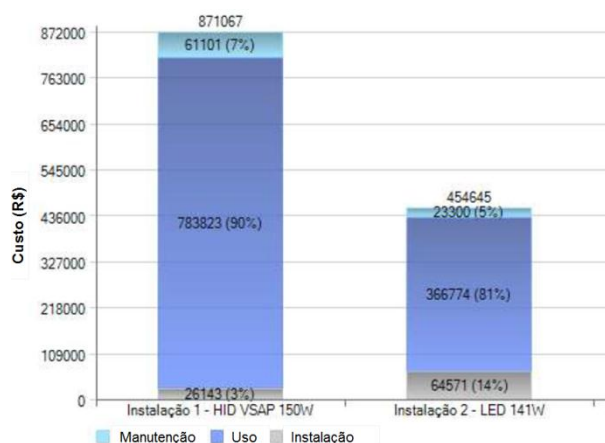


FIGURA 27 – INSTALAÇÃO HID X LED / COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS AO LONGO DE 20 ANOS – BASE PREÇO DE ENERGIA DE CURTO PRAZO

5. CONCLUSÕES

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, pois, além de proporcionar segurança no tráfego de veículos e pedestres, contribui na redução da criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens e permite um melhor aproveitamento das áreas de lazer. Melhorar o sistema de iluminação pública, com substituição de equipamentos obsoletos por outros de tecnologias mais eficientes é fundamental e apresenta resultados de curto prazo: economia de energia, melhora na qualidade dos serviços e permite a redução da demanda no horário de ponta do sistema elétrico.

No que pesem as vantagens descritas no presente trabalho, principalmente de sustentabilidade, que em grande parte absorvem os custos ainda elevados frente à tecnologia tradicional (HID), o preço ainda é um elemento inibidor de um maior crescimento da aplicação da tecnologia. Assim, a viabilidade de instalações de luminárias LED que cumpram os critérios de qualidade de iluminação deve ser determinada por meio de análises de custos de longo prazo. Neste estudo, as análises de custos de instalações com luminárias LED em conjunto com telegestão foram realizadas e comparadas com instalações convencionais de luminárias HID (VSAP) equivalentes, considerando custos de instalação, operação e manutenção.

Existem dois fatores-chave para a redução dos custos de iluminação LED. O primeiro é melhorar a eficiência luminosa (lm/W). A eficiência luminosa tem crescido de forma acelerada e, hoje, os LEDs de luz branca (CCT ~ 6000 K) estão disponíveis com eficiência típica da ordem de 130 lm/W e continuam a evoluir muito rapidamente. O segundo é reduzir os custos de produção das luminárias LEDs através da fabricação local e pela participação do governo federal através de programas de incentivo, como os PPBs (Processos Produtivos Básicos), muito utilizados na modernização da indústria de informática, que incentivaria a instalação de novas plantas e a modernização

daquelas já instaladas, o que também faria frente ao ingresso descontrolado e de forma muitas vezes irresponsável de produtos importados de qualidade duvidosa.

A possibilidade de dimerização das luminárias LEDs em conjunto com sistema de telegestão é uma vantagem competitiva uma vez que a dimerização é realizada através da redução da corrente do(s) controlador(es) eletrônico(s) dos módulos LEDs usados nas luminárias e conseqüente redução da potência e consumo, tornando o sistema mais econômico do que a solução equivalente com luminárias HID, cuja dimerização só é possível de forma limitada e com uma vida útil menor que a solução com LEDs.

A instalação das duas unidades pilotos que atuaram como um “laboratório dinâmico” proporcionou a medição das distribuições de iluminância que instruíram a elaboração de um estudo comparativo de desempenho e eficiência energética da tecnologia LED + Telegestão comparada à tecnologia HID e os resultados decorrentes nos permite concluir que a utilização de luminárias com tecnologia LED e sistemas eficientes de telegestão é uma solução viável, atual, e disponível.

6. BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5101 Iluminação Pública – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa ANEEL n. 109, de 26 de outubro de 2004 (10 de nov. 2004, seção 1, p. 47). Brasília: Diário Oficial da União, 2004.

_____. Resolução Normativa ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010 (15 de set. 2010, seção 1, p. 115). Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

_____. Tarifas de energia elétrica. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ReajusteTarifario/default_aplicacao_reajuste_tarifario.cf> Acesso em: 31 de janeiro de 2014.

BCB, Inflação Acumulada (12 meses – IPCA). Disponível em:
<<http://www.bcb.gov.br/pt-br/paginas/default.aspx>> Acesso em 31 de janeiro de 2014.

BILGIN, B. E., & GUNGOR, V. C. Performance evaluations of ZigBee in different smart grid environments. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 56(8), pp. 2196-2205. 2012. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2012.03.002>> Acesso em: 25 de Agosto de 2013.

BOU-HARB, E. et. al. Communication Security for Smart Grid Distribution Networks. *Communications Magazine*, 51(1). 2013. Disponível em:
<<http://www.comsoc.org/>> Acesso em: 25 de Agosto de 2013.

BRODRICK, J. LD+A Magazine. (Ed. Abril). 2012.

CAMPOS, S. J. F. Iluminação Urbana Eficiente – das fontes de luz em HID ao uso de luminárias LEDs em conjunto com sistemas de telegestão. *Lumière Electric*(174), 174, 114-120. 2012.

CAMPOS, S. J. F., & COUTINHO, A. APPLICATION OF LED LUMINAIRES IN COMBINATION WITH TELEMAGEMENT CONTROL FOR URBAN LIGHTING EFFICIENCY. Foz do Iguaçu, PR, Brazil: 22nd International Conference on Production Research. 2013.

CHI, W.-H., CHOU, T.-L., Han, C.-N., & Chiang, K.-N. Analysis of Thermal Performance of High Power Light Emitting Diodes Package. *10th Electronics Packaging Technology Conference*. HsinChu, 2008.

DEVONSHIRE, R. The Competitive Technology Environment for LED Lighting. *J. Light & Vis. Env.*, 32, pp. 275-276. Japan, 2008.

ELETOBRAS. *Iluminação Pública*. 2009. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/main.asp?TeamID=%7BEB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57%7D>> Acesso em 17 de Agosto de 2013.

_____. *Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros*. Rio de Janeiro : Eletrobras/ Procel, 266 p., 2013.

EUROPEAN COMMISSION. *Lighting the Cities - Accelerating the Deployment of Innovative Lighting in European Cities*. Brussels, Belgium: Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2013.

EXAME.COM. Custo de operação cai mas preço de energia fica no máximo. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/custo-de-operacao-do-sistema-cai-mas-preco-de-energia-fica-no-maximo-no-se-e-sul?page=2>> Acesso em 12 de Março de 2014.

GARROCHO, J. S. Luz Natural e Projeto de Arquitetura: Estratégias para Iluminação Zenital em Centros de Compras. Brasília, 2005.

GASTON, K. J. A green light for efficiency. *Nature*, 497. 2013. Disponível em: <<http://www.nature.com>> Acesso em: 17 de Agosto de 2013.

GIANELLI, B. et. al. O Emprego de Tecnologia LED na Iluminação Pública – Seus Impactos na Qualidade de Energia e no Meio Ambiente. Guaratinguetá: UNESP. 2009.

GIELEN, A. W. J. et. al. Development of an intelligent integrated LED system-in-package. *Microelectronics and Packaging Conference (EMPC), 18th European*. Brighton, UK, 1-2: IEEE XPlore Digital Library. 2011.

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America.. *The IESNA Lighting Handbook - Reference & Application* (IES 9th Edition ed.). New York, NY. 2000.

_____. *Fundamentals of Lighting. Fundamentals of Lighting - Module 1*. New York, NY, USA 2008.

_____. *The IESNA Lighting Handbook - Reference & Application* (IES 10th Edition ed.). New York, NY. 2011.

JOSEFOWWICZ, J. *LED Street Light best practice guidelines for high performance and long life expectancy*. CEATI REPORT N° T094700-5083, Montreal. (2010).

- KNOOP, M. 27th session of CIE – Commission Internationale de L'Eclairage. South Africa. 2011.
- KOSTIC, M., & DJOKIC, L. Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting. *Energy*, 34. 2009. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/energy>> Acesso em: 25 de Agosto de 2013.
- LIN, Y., CHEN, D., & CHEN, W. The significance of mesopic visual performance and its use in developing a mesopic photometry system. *Building an Environment*, 41(2), pp. 117-125. (2006). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230500017X>> Acesso em: 05 de Julho de 2013.
- LO, Y.et. al. Optical design of a Butterfly lens for a street light based on a double-cluster LED. *Microelectronics Reliability*. 2011. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/microelectronics-reliability>> Acesso em: 25 de Agosto de 2013.
- MARCATO, M. A. Iluminação Pública no Brasil. *Brasil Engenharia*, 588, 106-112. 2008.
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *Lighting the way: Perspectives on the global lighting market*. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/automotive%20and%20assembly/lighting_the_way_perspectives_on_global_lighting_market_2012.ashx> Acesso em 05 de Julho de 2013,
- MOREIRA, V. A. *Iluminação e Fotometria - teoria e aplicação*. São Paulo, SP: Edgard Blücher. 1987.
- PAINE, M., & JÚNIOR, R. (s.d.). Diferenças entre luz natural e artificial. *eHow Brasil*. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/diferencas-entre-luz-natural-artificial-info_4858/> Acesso em 07 de Junho de 2013.
- PHILIPS. LEDs: Coming Soon to a Street Light Near You. 2008. Disponível em: <www.philipslumileds.com/uploads/166/WP14-pdf> Acesso em: 22 de Agosto de 2013.
- RADULOVIC, D. et. al. Energy efficiency public lighting management in the cities. *Energy*, 36, p. 1908-1915, 2011.
- SCHRÉDER. Urban Lighting – Schröder Seminar. Liege, Belgium. 2009.
- _____. LED Efficiency. *Schröder LED Seminar*. Liege, Belgium. 2010.
- SCHUBERT, E. F., & KIM, J. K. Solid-State Light Sources Getting Smart. *Science*, 308, p. 1274. 2005. Disponível em: <www.sciencemag.org> Acesso em 07 de Junho de 2013.

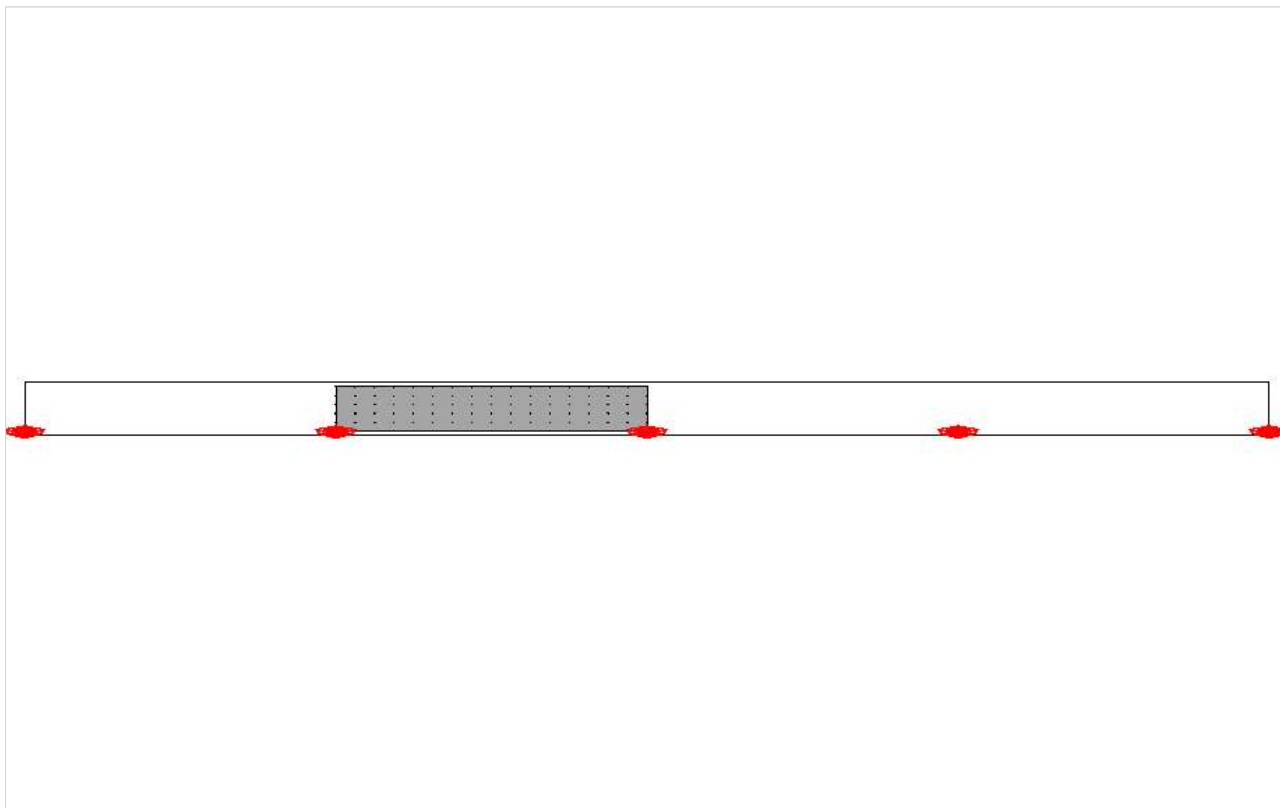
- SHIZHONG, C., YAO, J. & WU, Y. Analysis of the Power Consumption for Wireless Sensor Network Node Based on ZigBee. *ScienceDirect - Procedia Engineering*, 29. 2012. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/procedia> Acesso em: 22 de agosto de 2013.
- TÄHKÄMÖ, L. et.al. Life cycle assessment of light-emitting diode downlight luminaire. *Int J Life Cycle Assess*, 18. 2013. Disponível em: <<http://www.springer.com/environment/journal/11367>> Acesso em: 01 de julho de 2013.
- USMAN, A., & SHAMI, S. H. Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19. 2013. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/rser> Acesso em: 22 de agosto de 2013.
- U.S. Department of Energy (DOE). *Energy Efficiency and Renewable Energy. 2007*. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/thermal_led_feb07_2.pdf> Acesso em 25 de Agosto de 2013,
- _____. *Energy Efficiency of White LEDs – LED Measurement Series*. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energy_efficiency> Acesso em 02 de Outubro de 2012.
- _____. *Luminaire Efficacy – LED Measurement Series*. Disponível em : <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/luminaire_efficacy.pdf> Acesso em 02 de Outubro de 2012,
- VASCONCELLOS, L., & LIMBERGER, M. *Iluminação Eficiente - Iniciativas da Eletrobras, Procel e Parceiros*. Rio de Janeiro: Eletrobras, Procel. 2013.
- VITTA, P. et. al. Concept of Intelligent Solid-State Street Lighting Technology. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 18(10). 2012. Disponível em: <www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article> Acesso em: 01 de julho de 2013.
- WEINERT, J. *LED Lighting Explained - Understanding LED Sources, Fixtures, Applications and Opportunities*. Burlington, Massachusetts, USA: Philips Solid-State Lighting Solutions Inc. 2010.
- YÜKSEL, E., NIELSON, H. R. & NIELSON, F. A Secure Key Establishment Protocol for ZigBee Wireless Sensor Networks. *The Computer Journal*, 54(4). 2011. Disponível em: <<http://comjnl.oxfordjournals.org/>> Acesso em: 27 de maio de 2012.

ANEXO 1

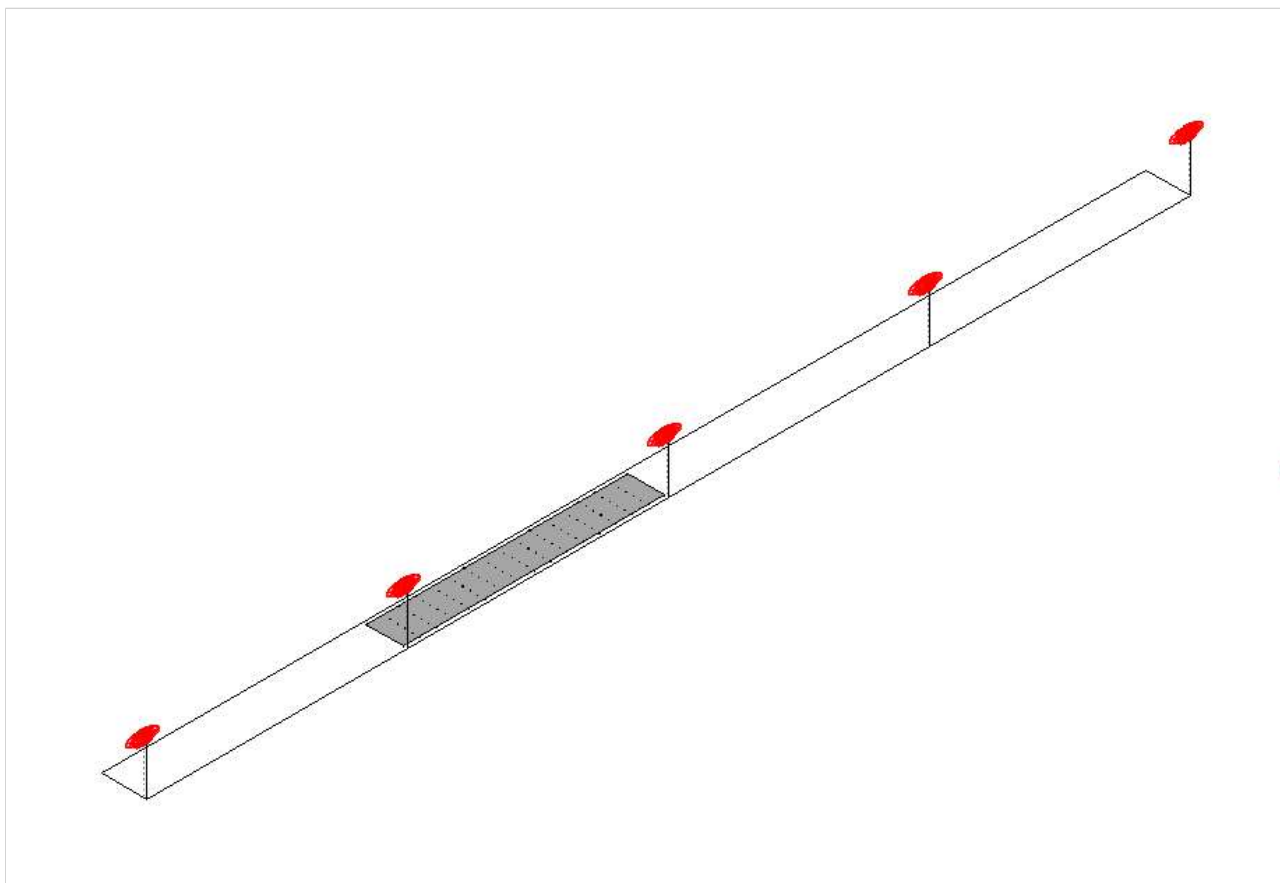
Luminária HID VSAP 150W

1. Vistas

1.1. Instantâneo 1



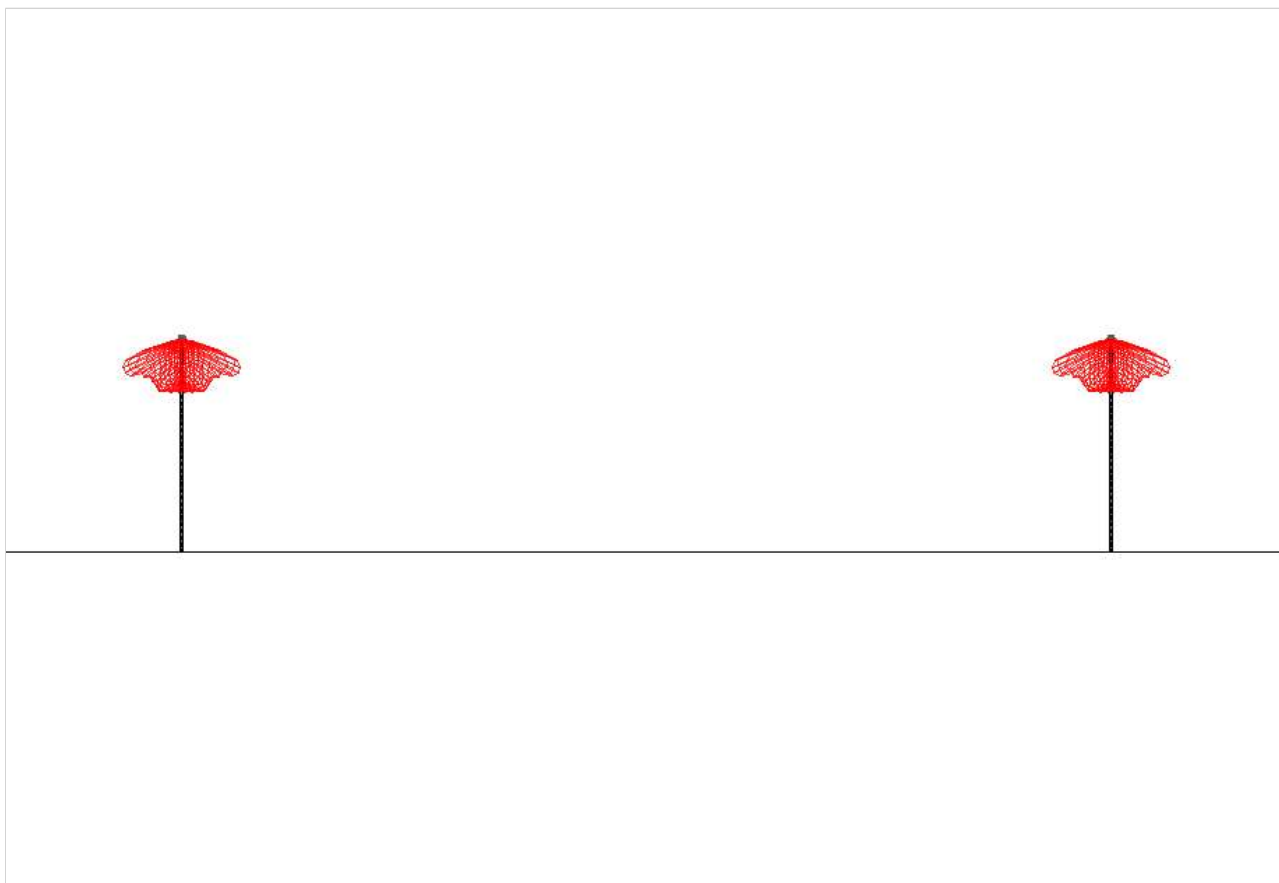
1.2. Instantâneo 2



1.3. Instantâneo 3



1.4. Instantâneo 4



2. Luminária

2.1. AMBAR 2 VSAP 150W (reg. V2-H2)_274334



Tipo:

Refletor:

Fonte:

Protetor:

Ajuste:

Fluxo: klm

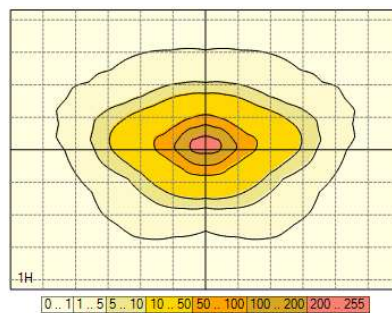
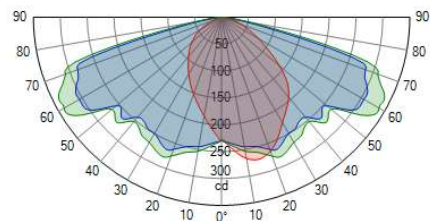
Classe:

Potência: W

Potência: W

FM:

Matriz:

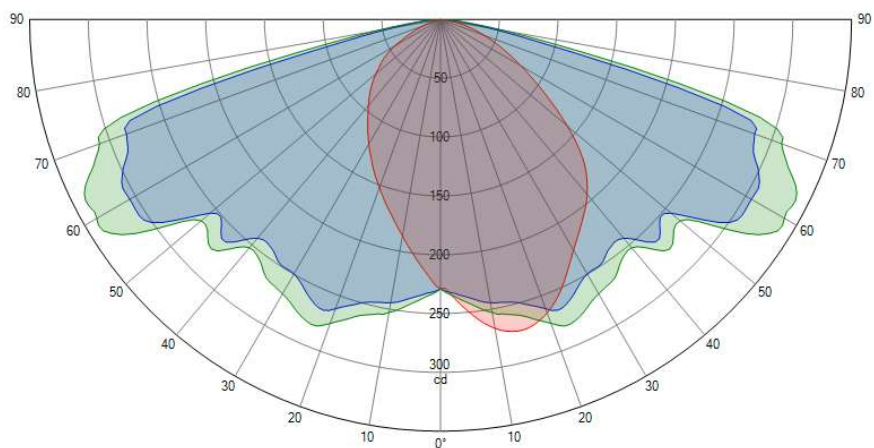


3. Documentos Fotométricos

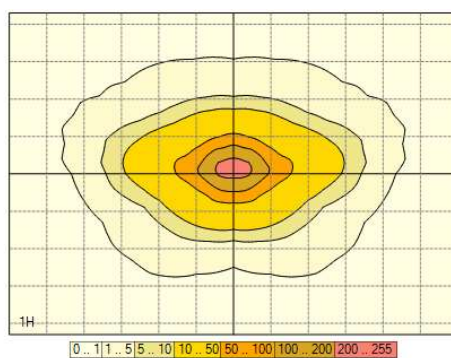
3.1. AMBAR 2 VSAP 150W (reg. V2-H2)_274334

274334

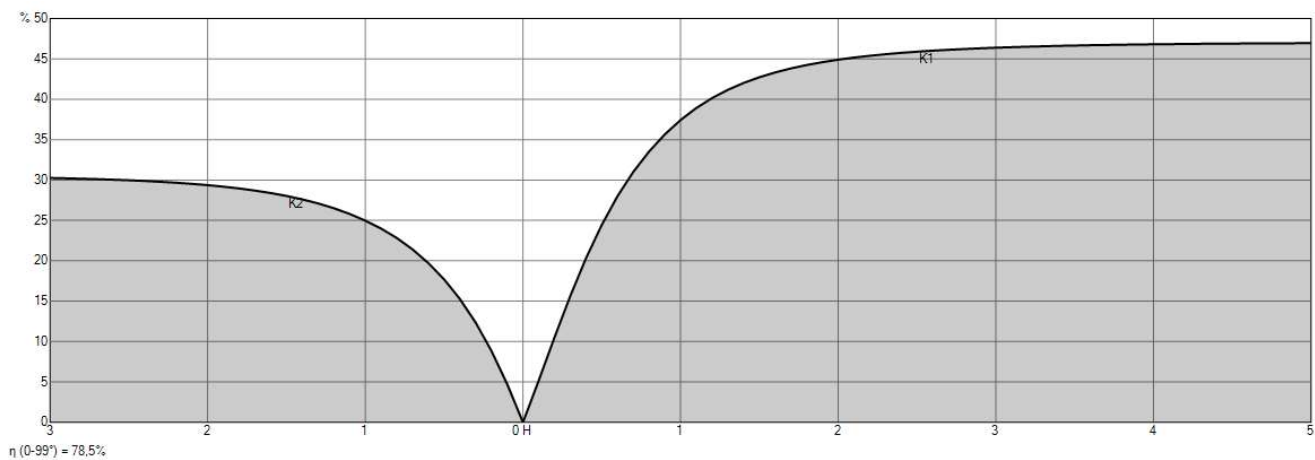
Diagrama Polar/Cartesiano



Isolux



Curva de Utilização



4. ResultUXcs

4.1. E i UXfc FYg a c

1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012


1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	24,0	35,4	14,8	8,5	57,6

2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	27,3	31,1	14,8	8,5	57,6

5. DUXf~c

5.1. 8YgW], ~c`XU'A Urf]n

Matriz	Descrição	Fluxo[klm]	FM	Luminária
274334	AMBAR 2 VSAP 150W (reg. V2-H2)_274334	16,000	0,900	

5.2. ; fi dc `XY`@ a]bzf]Ug

Linear															
N°	Posição			Luminária					Dimensão			Rotação			
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Matriz	Az [°]	Incl [°]	Rot [°]	Dim [%]	Cont	Esp [m]	Tam [m]	X [°]	Y [°]	Z [°]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-35,00	0,25	8,00	274334	0,0	0,0	0,0	100	5	35,00	140,00	0,0	0,0	0,0

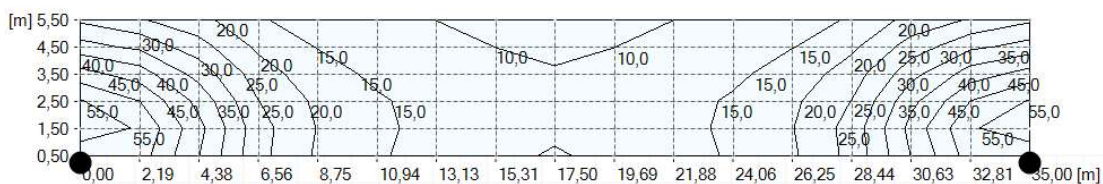
5.3. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012 - η a η b η c η d η e η f η g η h η i η j η k η l η m η n η o η p η q η r η s η t η u η v η w η x η y η z

ValcFYg

[m]	5,50	28,9	25,3	21,5	15,6	12,3	10,4	9,9	8,8	8,5	8,8	9,9	10,4	12,3	15,6	21,5	25,3	28,9
4,50	36,9	33,6	27,0	19,0	14,7	12,4	11,4	9,9	9,5	9,9	11,4	12,4	14,7	19,0	27,0	33,6	36,9	
3,50	46,9	42,3	33,1	22,3	17,0	14,0	12,5	10,7	10,2	10,7	12,5	14,0	17,0	22,3	33,1	42,3	46,9	
2,50	55,3	49,9	38,3	25,1	19,0	15,6	13,3	11,2	10,5	11,2	13,3	15,6	19,0	25,1	38,3	50,0	55,3	
1,50	57,6	54,5	41,5	26,9	19,8	16,1	13,3	11,2	10,5	11,2	13,3	16,1	19,8	26,9	41,5	54,5	57,6	
0,50	52,6	52,3	40,1	26,5	19,3	15,7	12,6	10,5	9,8	10,5	12,6	15,7	19,3	26,5	40,1	52,3	52,6	
	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00 [m]	

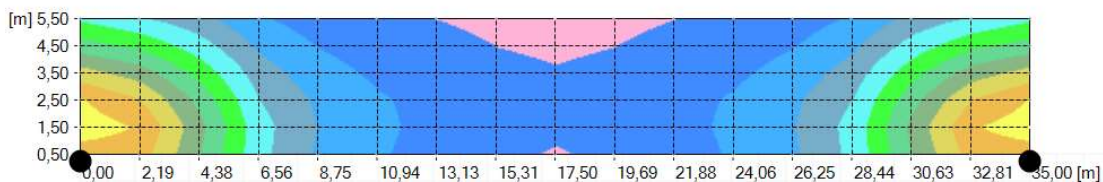
Min : 8,5 lux
 Max : 57,6 lux
 Avg (A) : 24,0 lux
 Min / Max : 14,8 %
 Min / Avg : 35,4 %
 Illum. Type : Normal

Isoli I



Min : 8,5 lux
 Max : 57,6 lux
 Avg (A) : 24,0 lux
 Min / Max : 14,8 %
 Min / Avg : 35,4 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 8,5 lux
 Max : 57,6 lux
 Avg (A) : 24,0 lux
 Min / Max : 14,8 %
 Min / Avg : 35,4 %
 Illum. Type : Normal



6. Grids

6.1. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Descrição Malha para cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="17"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="2,19"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

6.2. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

Descrição Malha para cálculo pra verificação In-Loco, segundo ABNT NBR 5101:2012

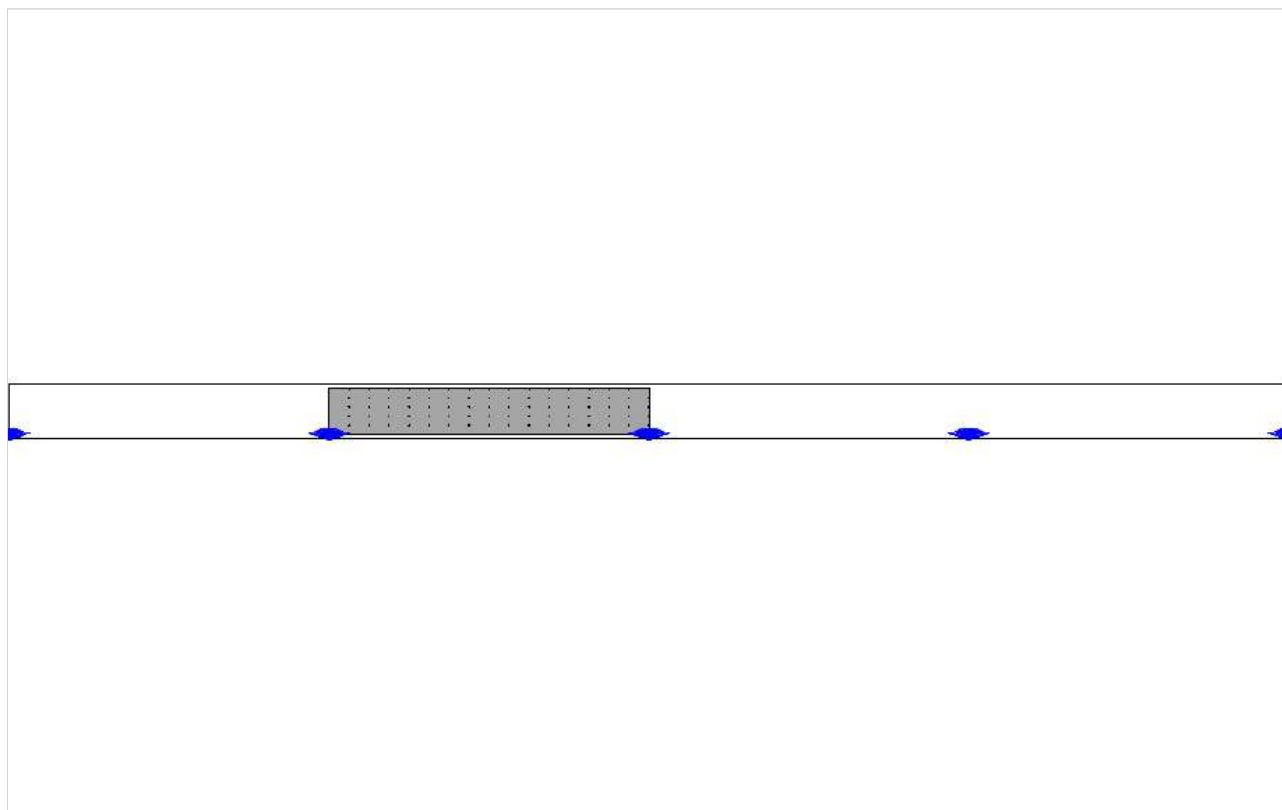
Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="5"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="8,75"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

ANEXO 2

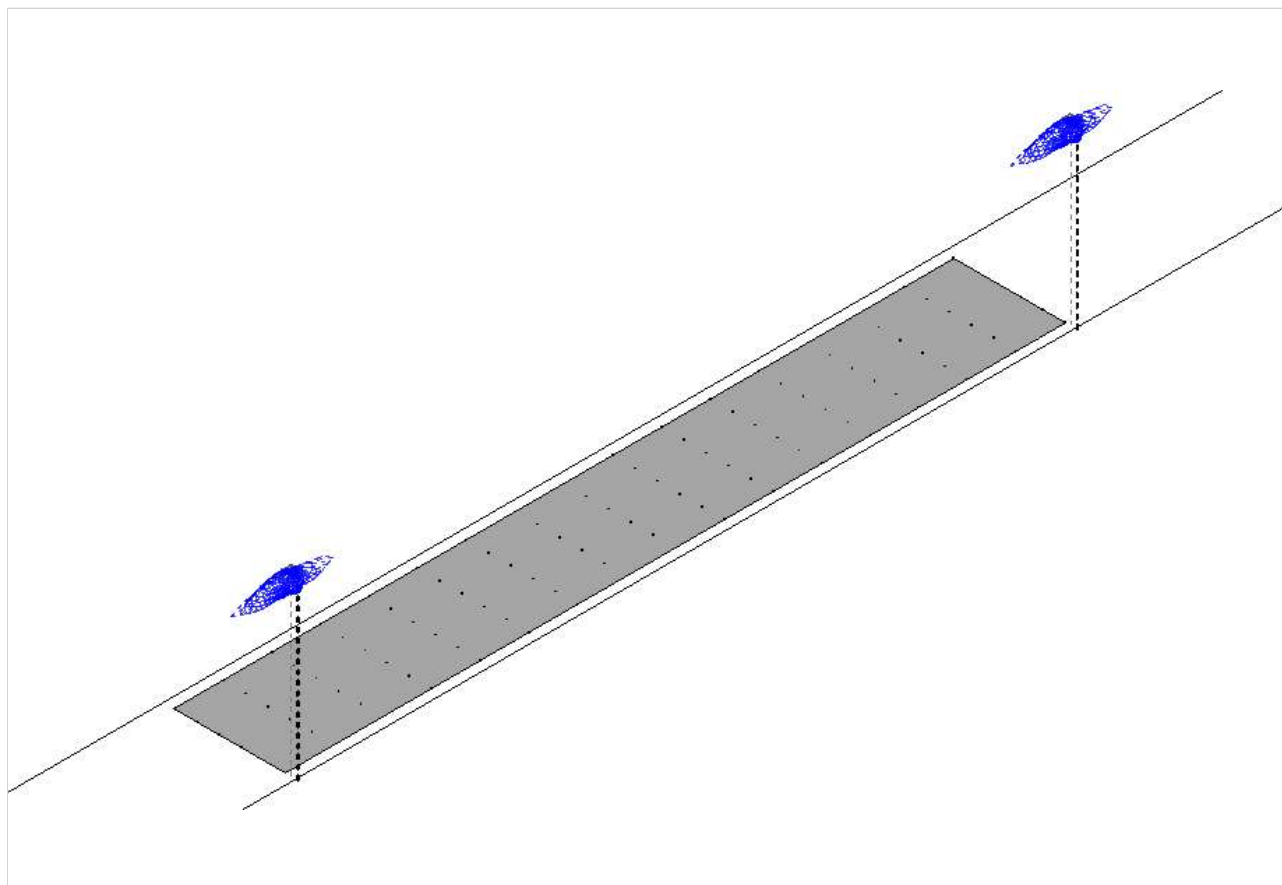
Luminária LED 141W (sem dimerização - 100 % do fluxo)

1. Vistĭĭg

1.1. ȳgĭbĭĭ bYc '%



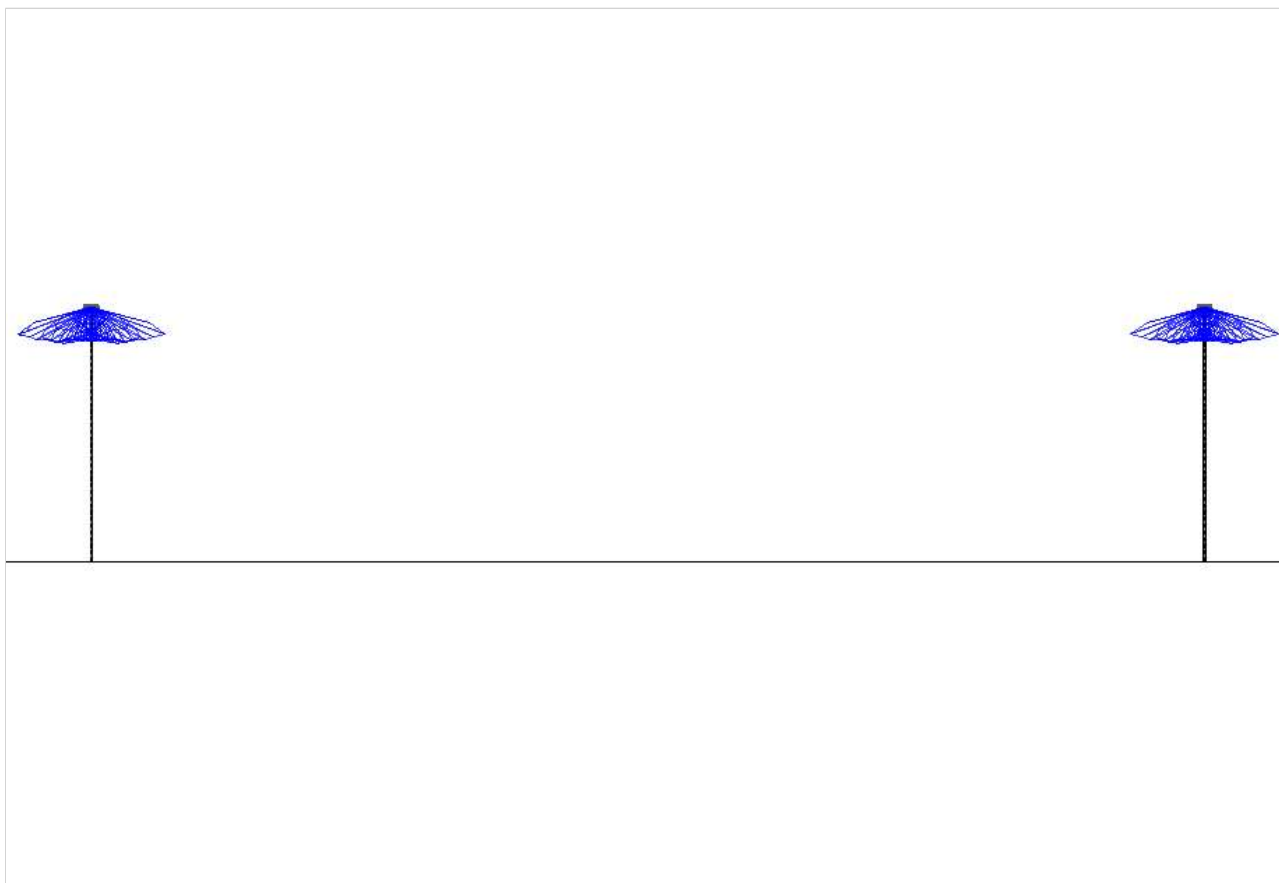
1.2. ȳgĭbĭĭ bYc 2



1.3. Էջմուխի bYc 3

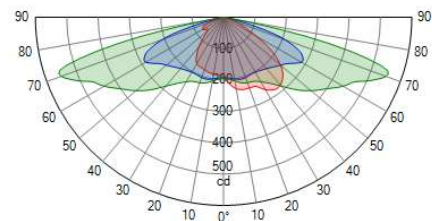


1.4. Էջմուխի bYc 4



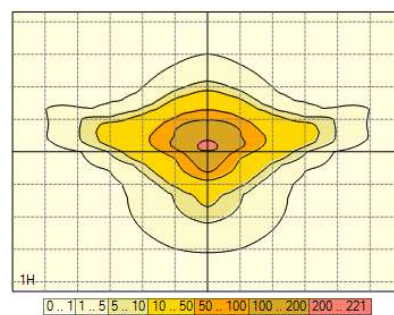
2. @ a]bzfjU

2.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972



Tipo : AKILA
 Refletor : 5096
 Fonte : 96 LEDS 530mA NW
 Protetor : Vidro Plano transparente
 Ajuste :
 Fluxo : 16,7 klm
 Classe : 3

Potência : 150,0 W
 Potência : 141,0 W
 FM : 0,90
 Matriz : 324972

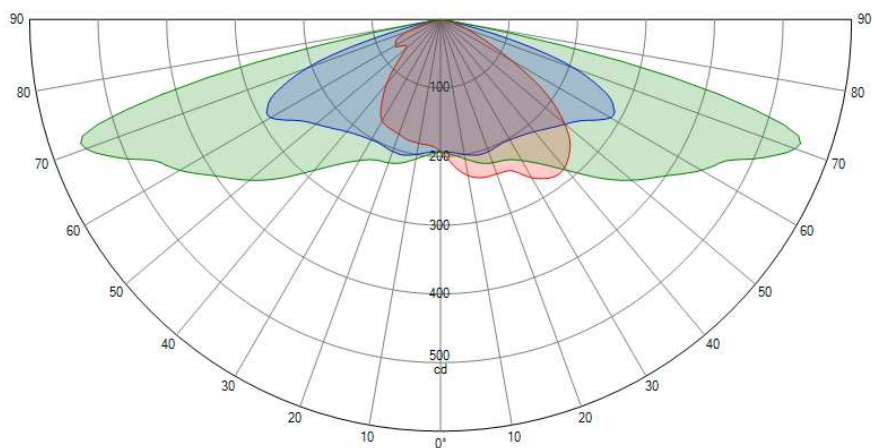


3. 8cW a Ybhcg: chca fh]Mtg

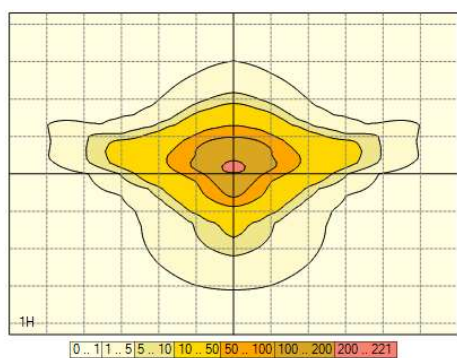
3.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972

324972

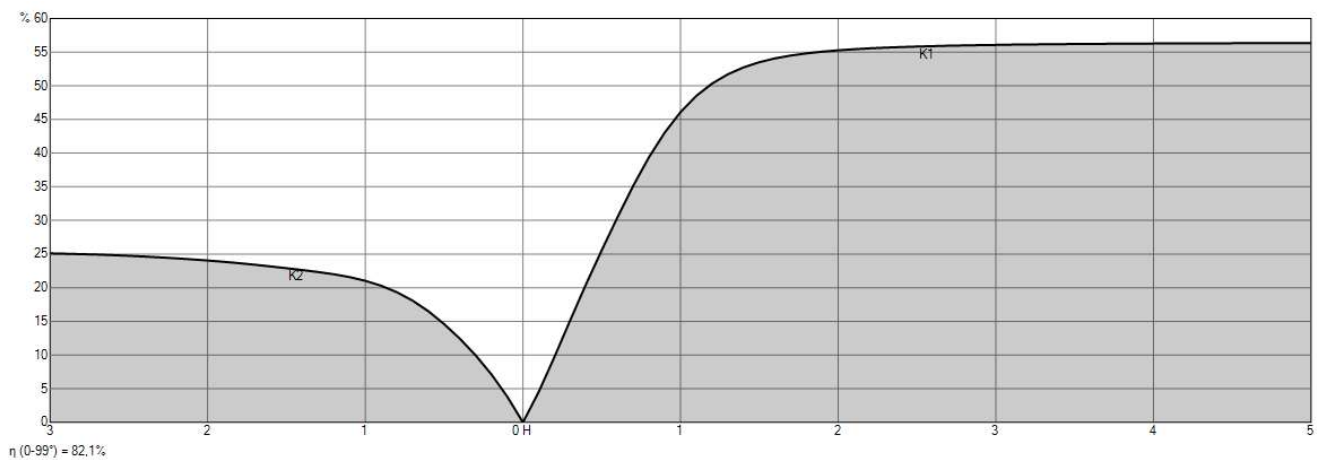
8]U[fUa U'Polar/Cartesianc



Isolux



7i fj U'XY Utiliza, ~c



4. ResultUXcs

4.1. E i UXfc FYg a c

1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012


1. ñi a b bVUBcfa U	A YX (A)(lux)	Min/A eX (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	26,0	31,6	16,6	8,2	49,6

2) Malha de Verificação In-Loce (resultados do cálculo via software)

1. ñi a b bVUBcfa U	A YX (A)(lux)	Min/A eX (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	29,1	28,3	16,6	8,2	49,6

5. DUXf~c

5.1. 8escr, ~c`XU'A Urf]n

Matriz	Descrição	Fluxo[klm]	FM	Luminária
324972	AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972	16,700	0,900	

5.2. ; fi dcg`XY`Luminzf]Ug

Linear															
N°	Posição			Luminária					Dimensão			Rotação			
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Matriz	Az [°]	Incl [°]	Rot [°]	Dim [%]	Cont	Esp [m]	Tam [m]	X [°]	Y [°]	Z [°]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-35,00	0,25	8,00	324972	0,0	5,0	0,0	100	5	35,00	140,00	0,0	0,0	0,0

5.3. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012 - Iluminância Normal

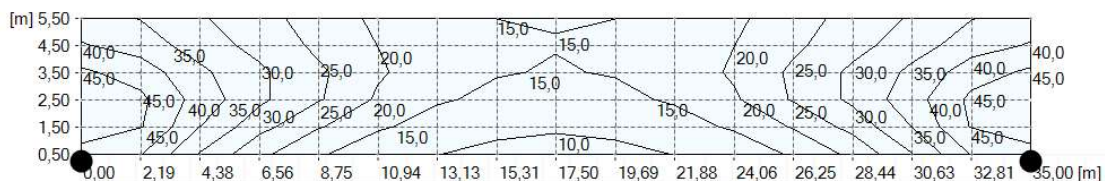
Valores

Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 26,0 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal

[m]	5,50	36,9	34,8	30,6	26,7	22,8	19,0	16,3	14,9	14,7	14,9	16,3	19,0	22,8	26,7	30,6	34,8	36,9
	4,50	40,4	37,6	32,5	28,3	23,9	19,9	17,3	16,0	15,2	16,0	17,3	19,9	23,9	28,3	32,5	37,6	40,4
	3,50	45,9	42,7	36,0	31,0	25,9	20,7	17,3	15,3	14,7	15,3	17,3	20,7	25,9	31,0	36,0	42,7	45,9
	2,50	49,6	46,1	37,9	31,1	25,6	19,3	15,7	13,8	13,1	13,8	15,7	19,3	25,6	31,1	37,9	46,1	49,6
	1,50	47,4	45,4	35,1	26,8	20,5	15,7	13,0	11,3	10,6	11,3	13,0	15,7	20,5	26,8	35,1	45,4	47,4
	0,50	43,7	40,3	29,9	21,3	15,7	12,1	10,1	8,7	8,2	8,7	10,1	12,1	15,7	21,3	29,9	40,3	43,7
		0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00 [m]

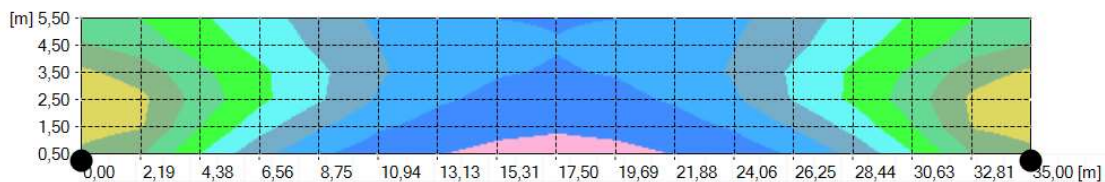
Isolux

Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 26,0 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal



Sombreamento

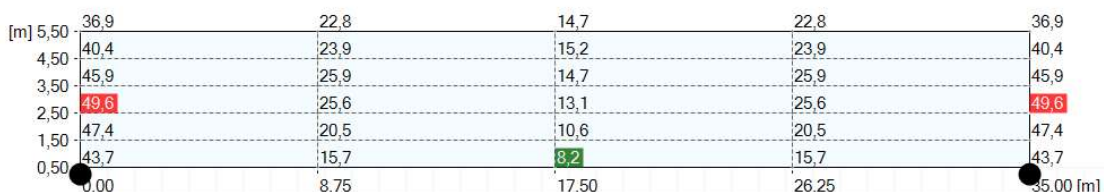
Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 26,0 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal



8,2 - 10,0 lux	10,0 - 15,0	15,0 - 20,0	20,0 - 25,0	25,0 - 30,0	30,0 - 35,0	35,0 - 40,0	40,0 - 45,0	45,0 - 49,6
----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

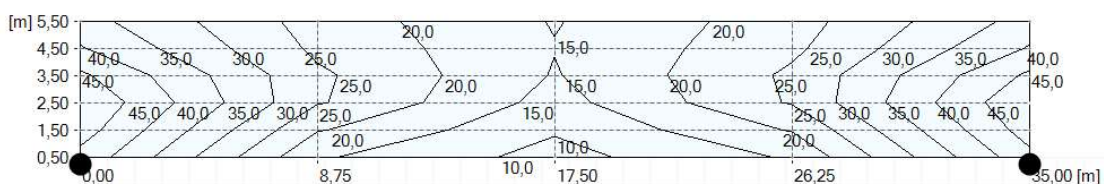
5.4. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software) - Iluminância Normal

Valores



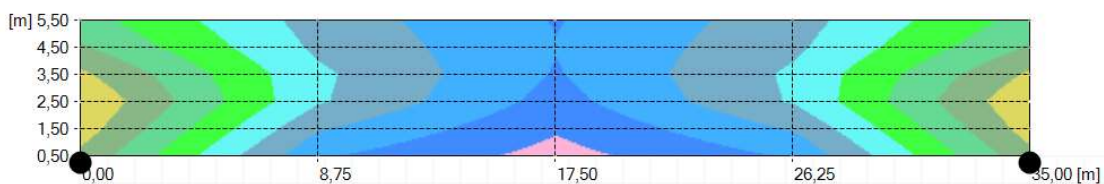
Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 29,1 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal

Isolux

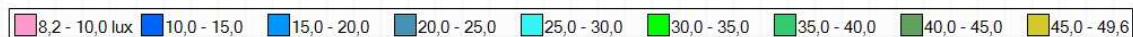


Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 29,1 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 8,2 lux
 Max : 49,6 lux
 Avg (A) : 29,1 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal



6. Grids

6.1. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Descrição Malha para cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral			
Tpo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="17"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="2,19"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

6.2. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

Descrição Malha para cálculo para verificação In-Loco, segundo ABNT NBR 5101:2012

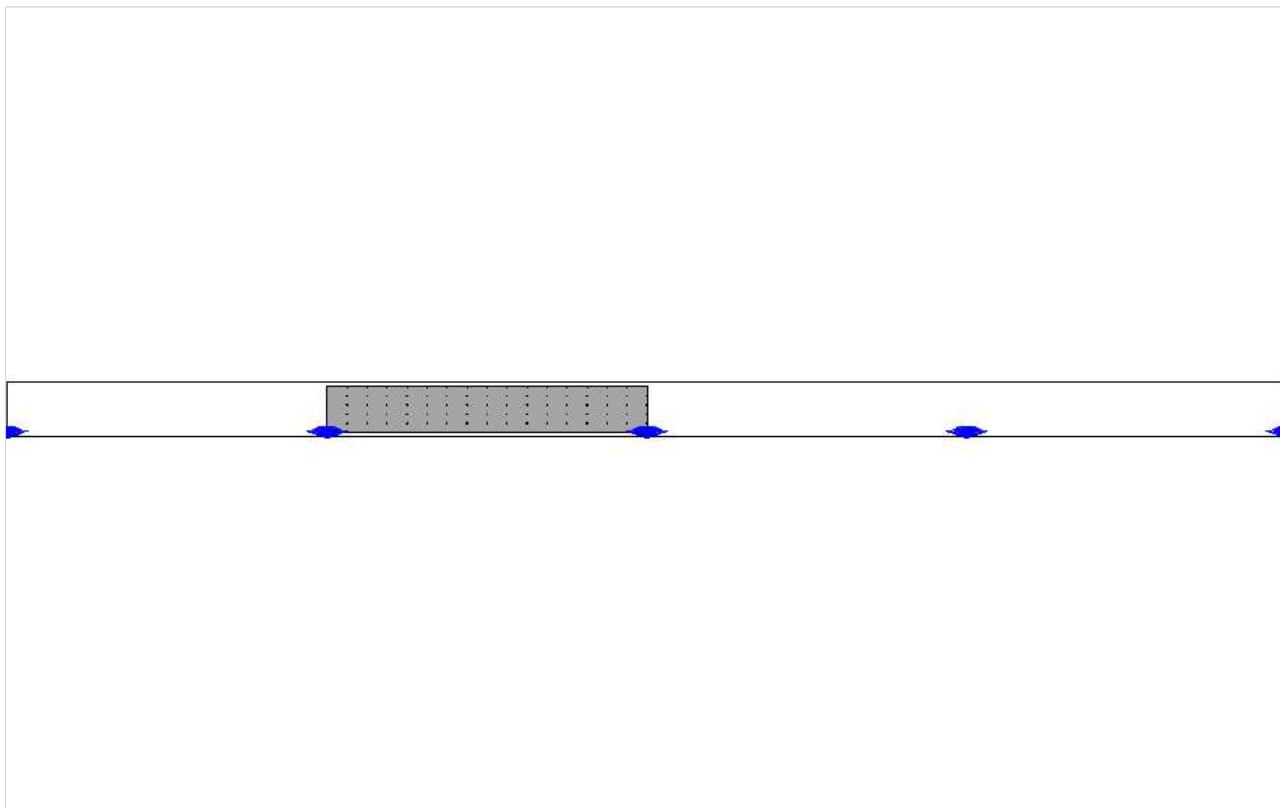
Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="5"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="8,75"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

ANEXO 3

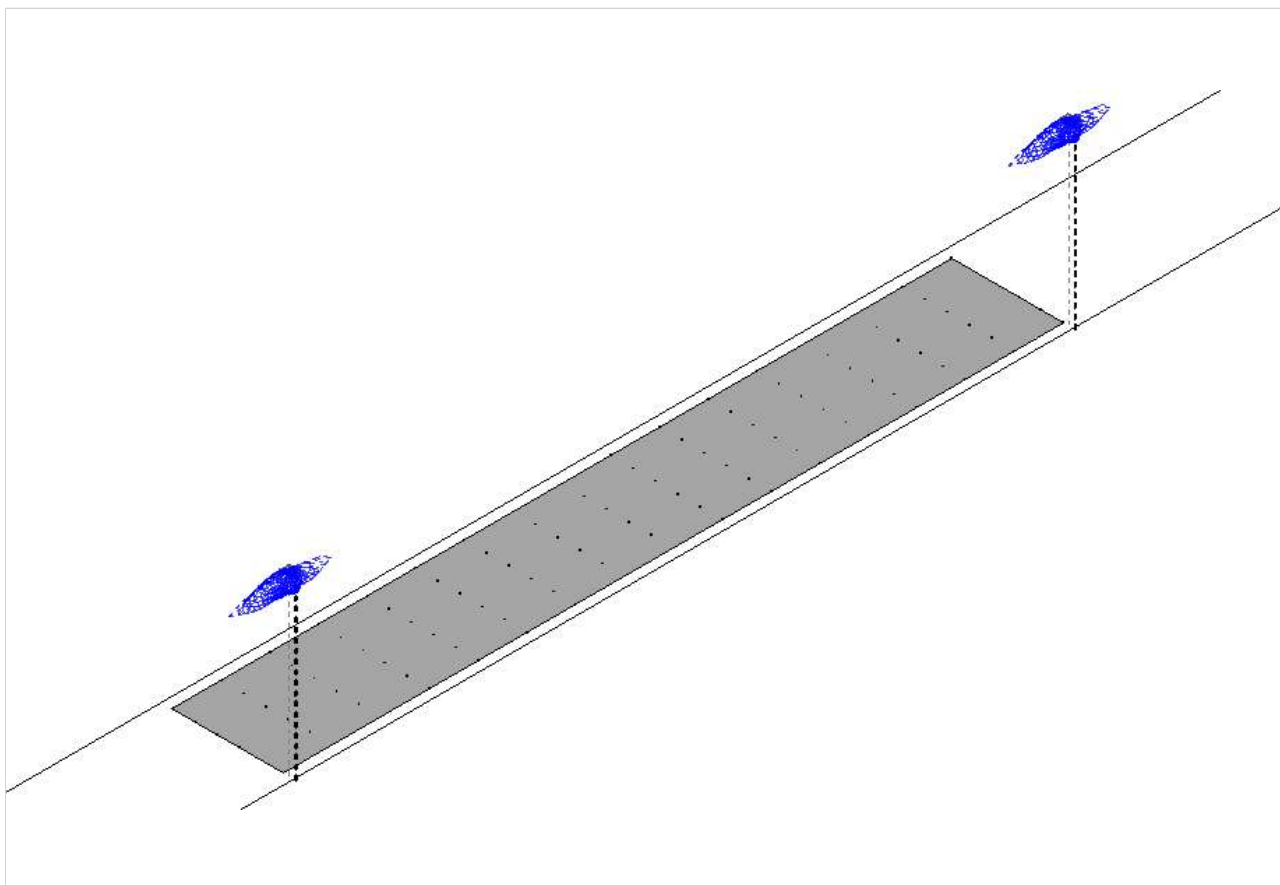
Luminária LED 141W (Dimerização 70 %)

1. Vistas

1.1. Instantâneo 1



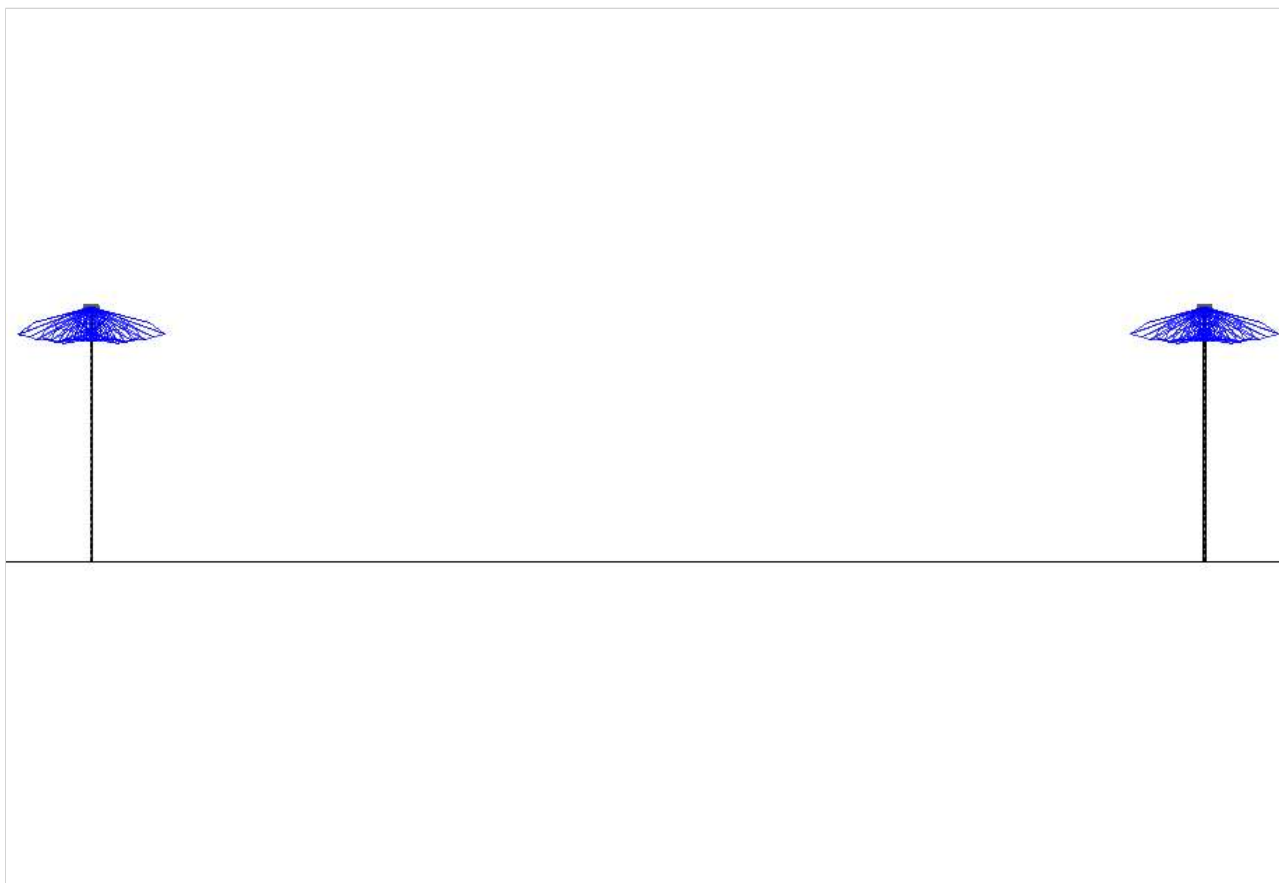
1.2. Instantâneo 2



1.3. Instantâneo 3

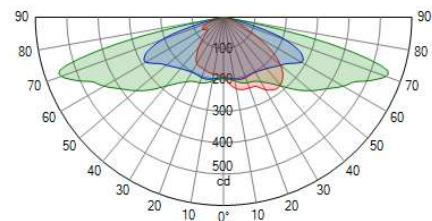


1.4. Instantâneo 4



2. Fixtures

2.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972



Tipo : AKILA

Refletor : 5096

Fonte : 96 LEDS 530mA NW

Protetor : Vidro Plano Transparente

Ajuste :

Fluxo : 16,7 klm

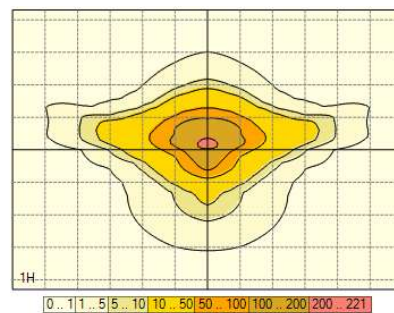
Classe : 3

Potência : 150,0 W

Potência : 141,0 W

FM : 0,90

Matriz : 324972

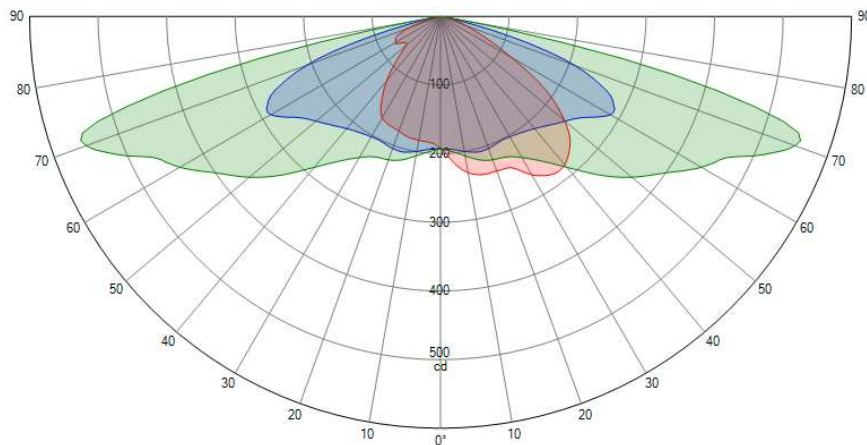


3. Documentos Fotométricos

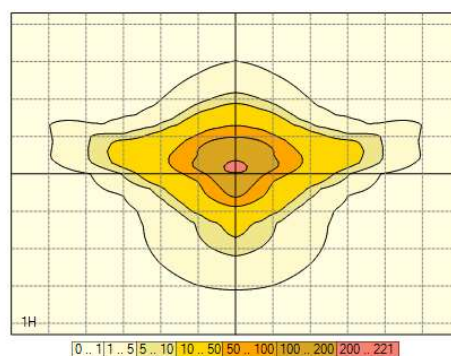
3.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972

324972

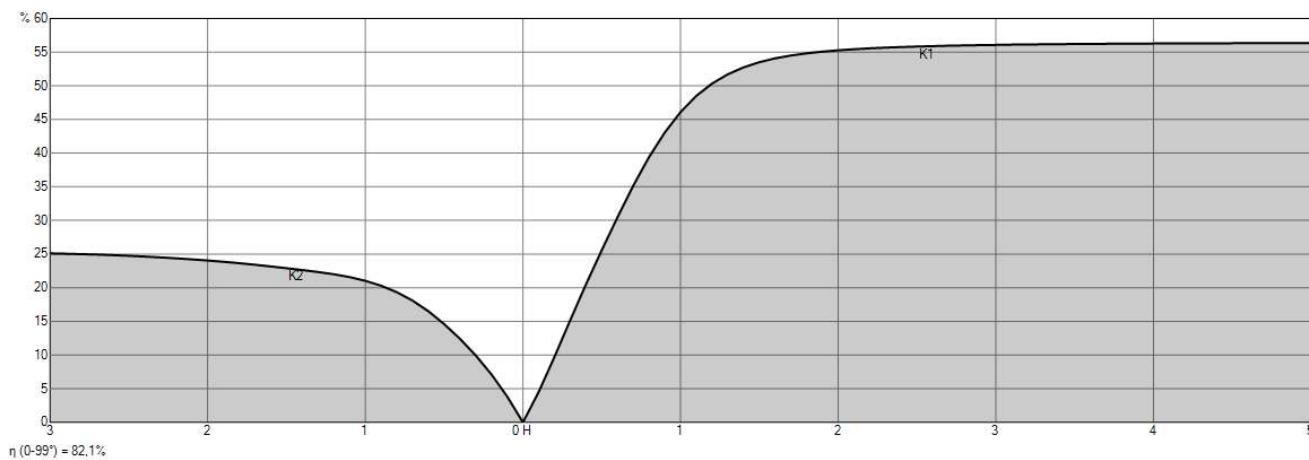
Diagrama Polar/Cartesiano



Isolux



Curva de Utilização



4. Resultados

4.1. Quadro Resumo

1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012


1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	18,2	31,6	16,6	5,8	34,7

2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	20,4	28,3	16,6	5,8	34,7

5. Padrão

5.1. Descrição da Matriz

Matriz	Descrição	Fluxo[klm]	FM	Luminária
324972	AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972	16,700	0,900	

5.2. Grupos de Luminárias

Linear															
N°	Posição			Luminária					Dimensão			Rotação			
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Matriz	Az [°]	Incl [°]	Rot [°]	Dim [%]	Cont	Esp [m]	Tam [m]	X [°]	Y [°]	Z [°]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-35,00	0,25	8,00	324972	0,0	5,0	0,0	70	5	35,00	140,00	0,0	0,0	0,0

5.3. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012 - Iluminância Normal

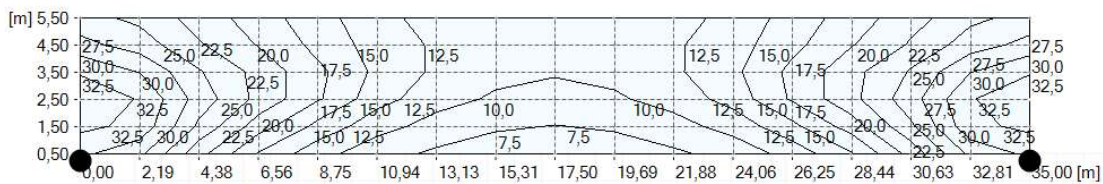
Valores

Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 18,2 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal

[m] 5,50	25,8	24,3	21,4	18,7	16,0	13,3	11,4	10,5	10,3	10,5	11,4	13,3	16,0	18,7	21,4	24,3	25,8
4,50	28,3	26,3	22,8	19,8	16,7	13,9	12,1	11,2	10,6	11,2	12,1	13,9	16,7	19,8	22,8	26,3	28,3
3,50	32,1	29,9	25,2	21,7	18,1	14,5	12,1	10,7	10,3	10,7	12,1	14,5	18,1	21,7	25,2	29,9	32,1
2,50	34,7	32,3	26,5	21,8	17,9	13,5	11,0	9,6	9,2	9,6	11,0	13,5	17,9	21,8	26,5	32,3	34,7
1,50	33,2	31,8	24,6	18,8	14,4	11,0	9,1	7,9	7,4	7,9	9,1	11,0	14,4	18,8	24,6	31,8	33,2
0,50	30,6	28,2	20,9	14,9	11,0	8,5	7,1	6,1	5,8	6,1	7,1	8,5	11,0	14,9	20,9	28,2	30,6
	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00 [m]

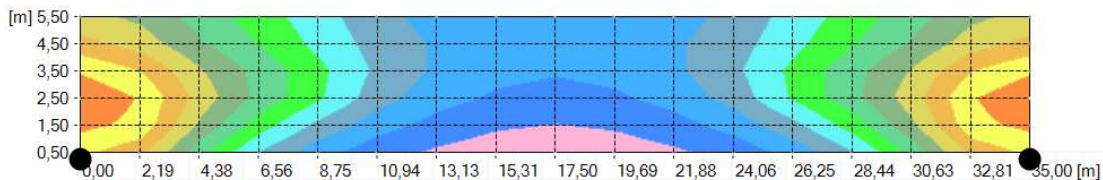
Isolux

Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 18,2 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal



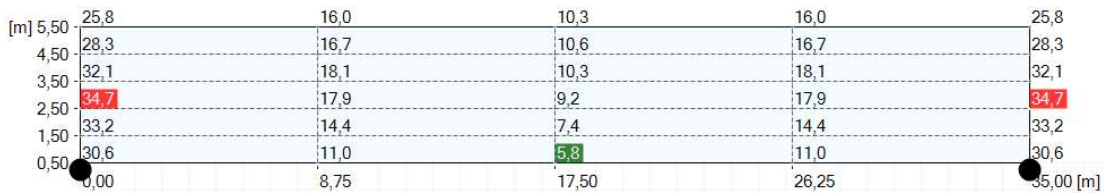
Sombreamento

Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 18,2 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 31,6 %
 Illum. Type : Normal



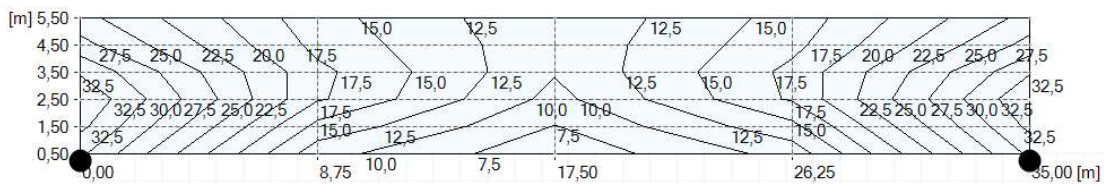
5.4. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software) - Iluminância Normal

Valores



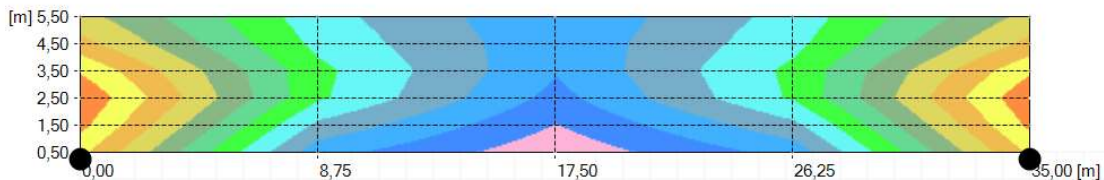
Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 20,4 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal

Isolux



Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 20,4 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 5,8 lux
 Max : 34,7 lux
 Avg (A) : 20,4 lux
 Min / Max : 16,6 %
 Min / Avg : 28,3 %
 Illum. Type : Normal



6. Grids

6.1. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Descrição Malha para cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral

Tipo : Grid retangular XY Use Exclusion : - En : Cor : ■

Geometria

Origem

X : Y : Z : m

Rotação

X : Y : Z : °

Dimensão

Cont X : Cont Y :

Espaçam X : Espaçam Y : m

Tam X : Tam Y : m

6.2. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

Descrição Malha para cálculo pra verificação In-Loco, segundo ABNT NBR 5101:2012

Getsl

Tipo : Grid retangular XY Use Exclusion : - En : Cor : ■

Geometry

Origem

X : Y : Z : m

Rotação

X : Y : Z : °

Dimensão

Cont X : Cont Y :

Espaçam X : Espaçam Y : m

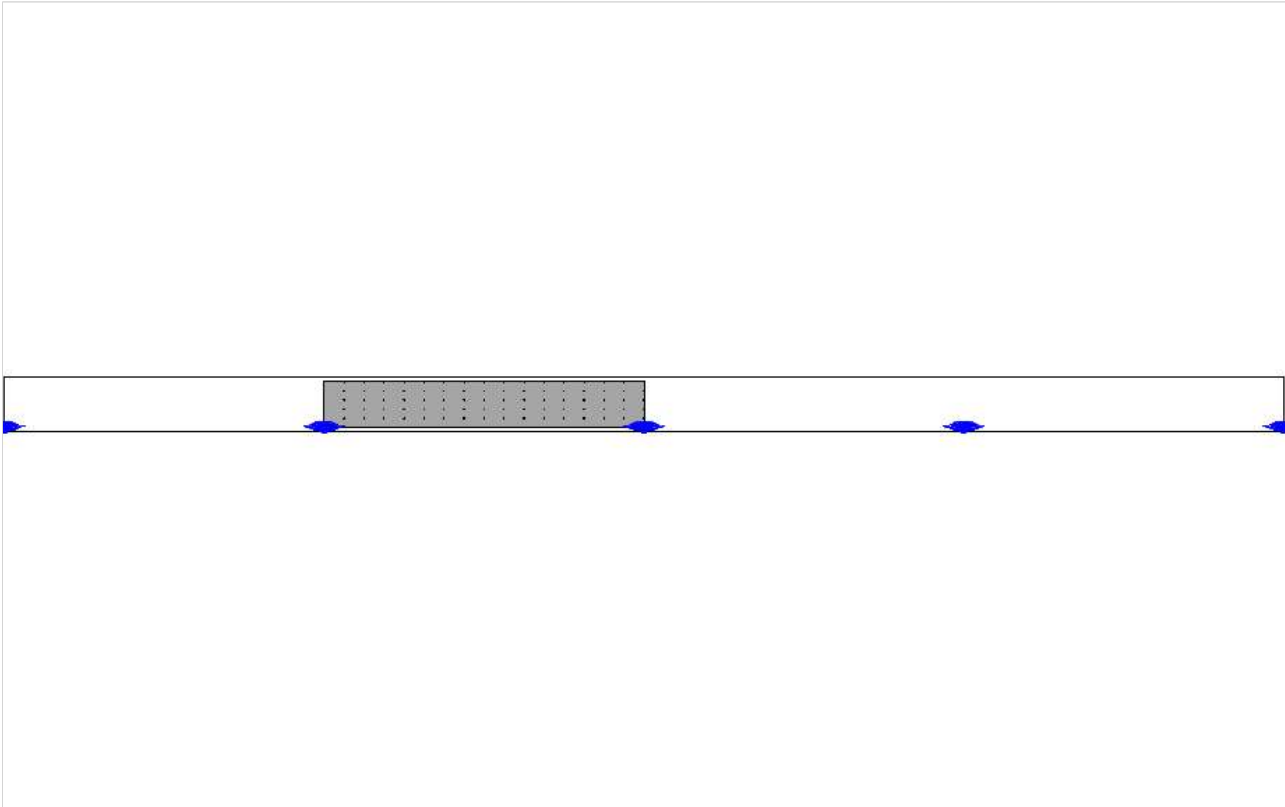
Tam X : Tam Y : m

ANEXO 4

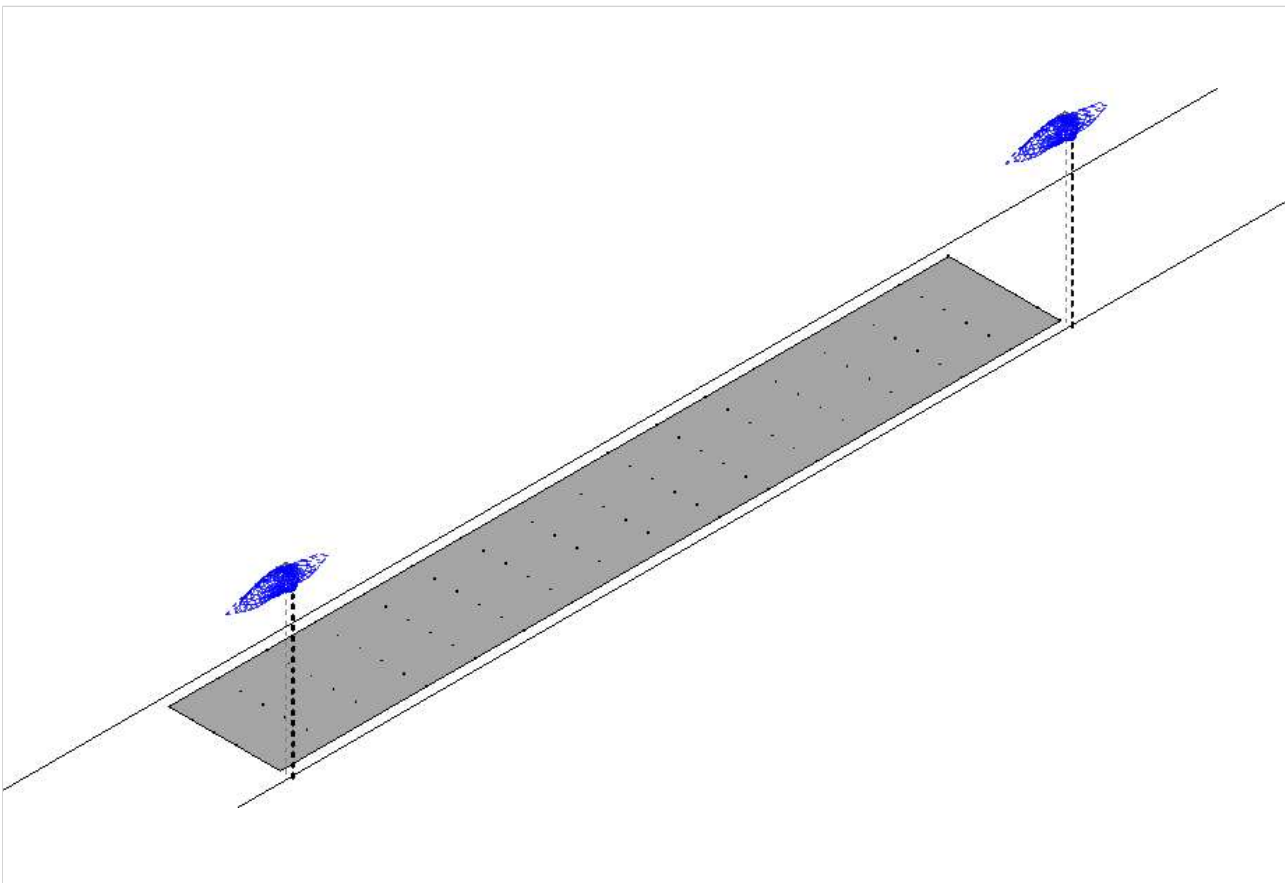
Luminária LED 141W (Dimerização 50 %)

1. Vistas

1.1. Instantâneo 1



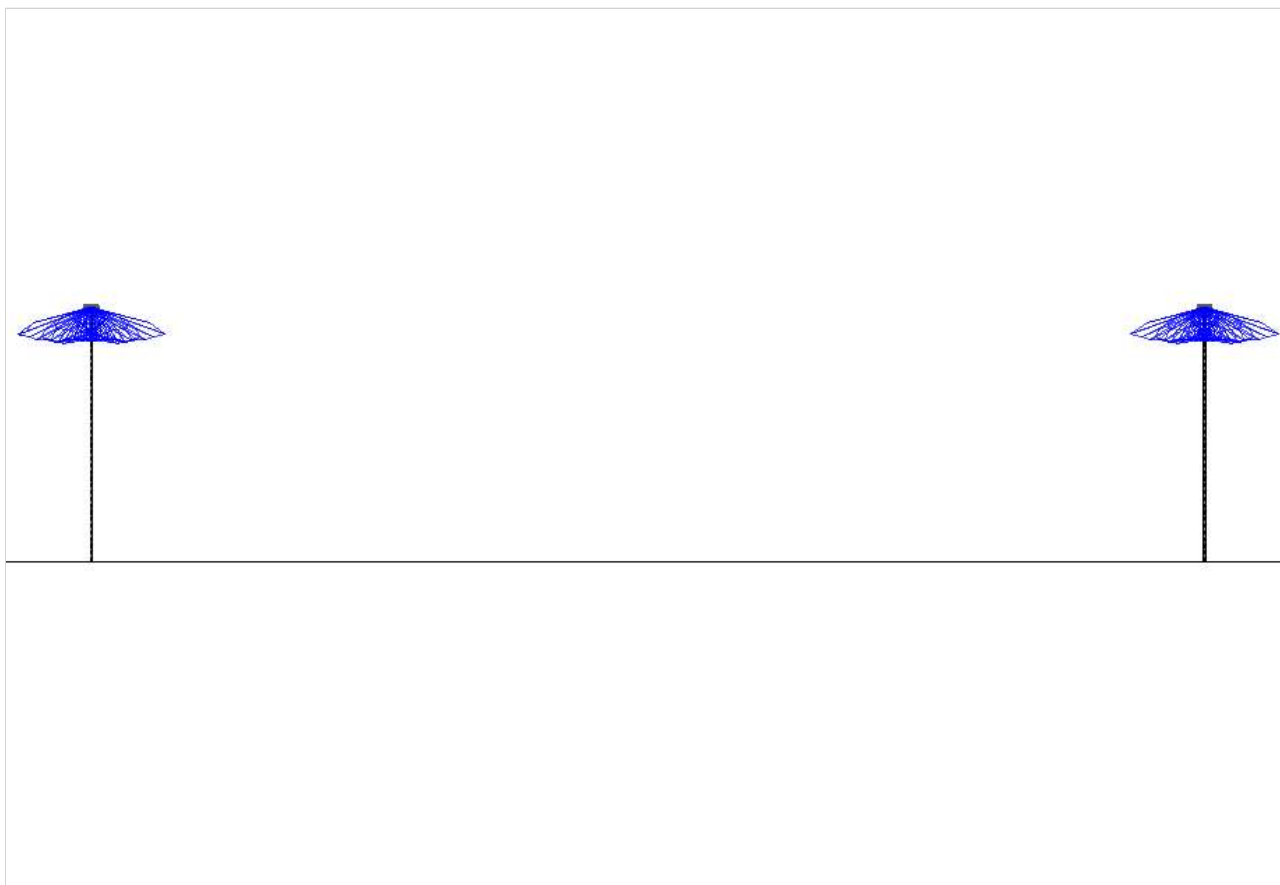
1.2. Instantâneo 2



1.3. Instantâneo 3



1.4. Instantâneo 4



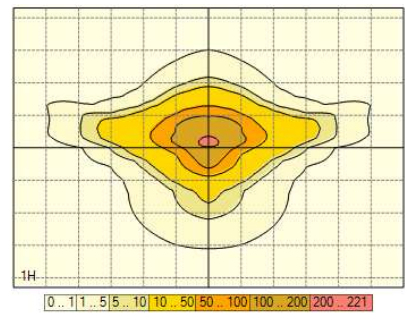
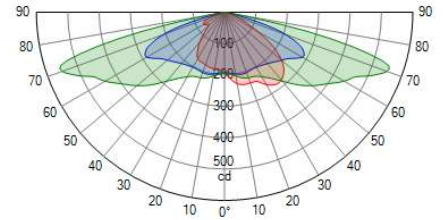
2. Luminária

2.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972



Tipo : AKILA
Refletor : 5096
Fonte : 96 LEDS 530mA NW
Protetor : Vidro Plano Transparente
Ajuste :
Fluxo : 16,7 klm
Classe : 3

Potência : 150,0 W
Potência : 141,0 W
FM : 0,90
Matriz : 324972

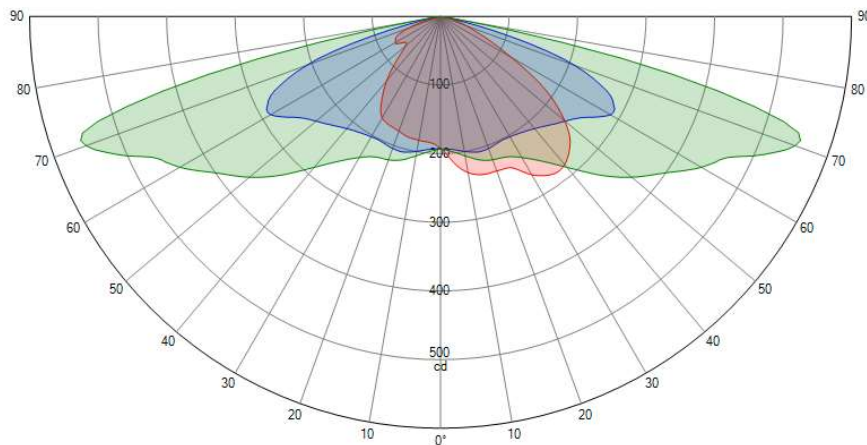


3. Documentos Fotométricos

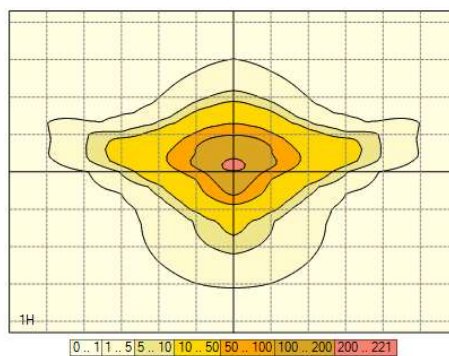
3.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972

324972

Diagrama Polar/Cartesiano



Isolux



Curva de Utilização



4. Resultados

4.1. Quadro Resumo

1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012


1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	14,0	35,2	18,8	4,9	26,1

2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	15,5	31,7	18,8	4,9	26,1

5. Padrão

5.1. Descrição da Matriz

Matriz	Descrição	Fluxo[klm]	FM	Luminária
324972	AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972	16,700	0,900	

5.2. Grupos de Luminárias

Linear															
N°	Posição			Luminária					Dimensão			Rotação			
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Matriz	Az [°]	Incl [°]	Rot [°]	Dim [%]	Cont	Esp [m]	Tam [m]	X [°]	Y [°]	Z [°]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-35,00	0,25	8,00	324972	0,0	0,0	0,0	50	5	35,00	140,00	0,0	0,0	0,0

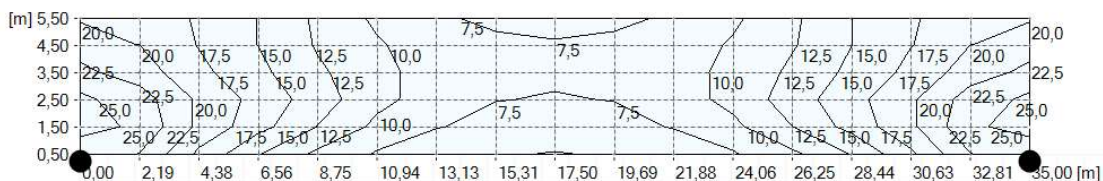
5.3. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012 - Iluminância Normal

Valores

[m]	5,50	19,6	19,0	17,2	14,9	12,0	9,5	7,8	6,9	6,6	6,9	7,8	9,5	12,0	14,9	17,2	19,0	19,6
4,50	21,4	20,0	17,4	15,0	12,2	10,3	8,8	8,0	7,7	8,0	8,8	10,3	12,2	15,0	17,4	20,0	21,4	
3,50	23,1	21,3	18,2	15,6	13,0	10,6	9,1	8,3	8,0	8,3	9,1	10,6	13,0	15,6	18,2	21,3	23,1	
2,50	25,5	23,6	19,6	16,7	13,8	10,7	8,8	7,6	7,3	7,6	8,8	10,7	13,8	16,7	19,6	23,6	25,5	
1,50	26,1	24,5	19,5	15,9	12,5	9,4	7,7	6,6	6,2	6,6	7,7	9,4	12,5	15,9	19,5	24,5	26,1	
0,50	23,4	22,5	17,0	12,6	9,5	7,3	6,1	5,2	4,9	5,2	6,1	7,3	9,5	12,7	17,0	22,5	23,4	
	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00 [m]	

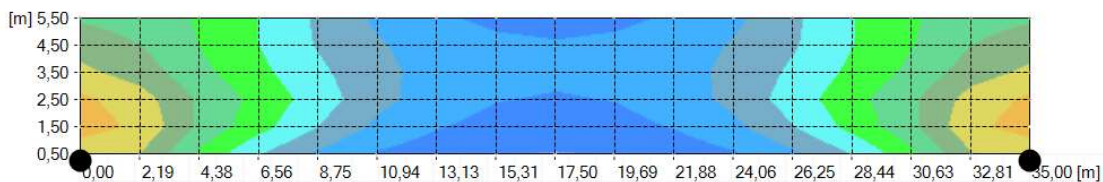
Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 14,0 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal

Isolux



Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 14,0 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 14,0 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal



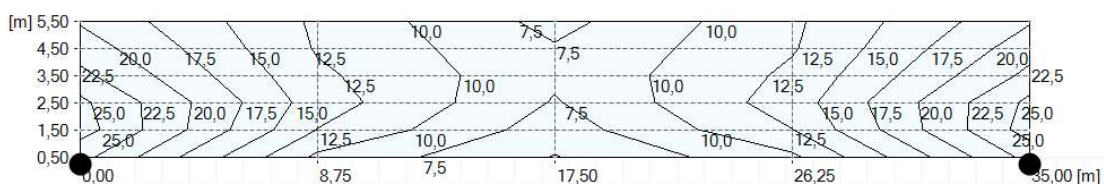
5.4. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software) - Iluminância Normal

Valores



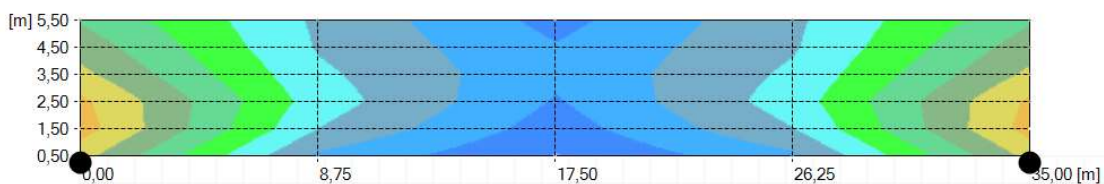
Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 15,5 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal

Isolux



Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 15,5 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 4,9 lux
 Max : 26,1 lux
 Avg (A) : 15,5 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal



6. Grids

6.1. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Descrição Malha para cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="17"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="2,19"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

6.2. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

Descrição Malha para cálculo pra verificação In-Loco, segundo ABNT NBR 5101:2012

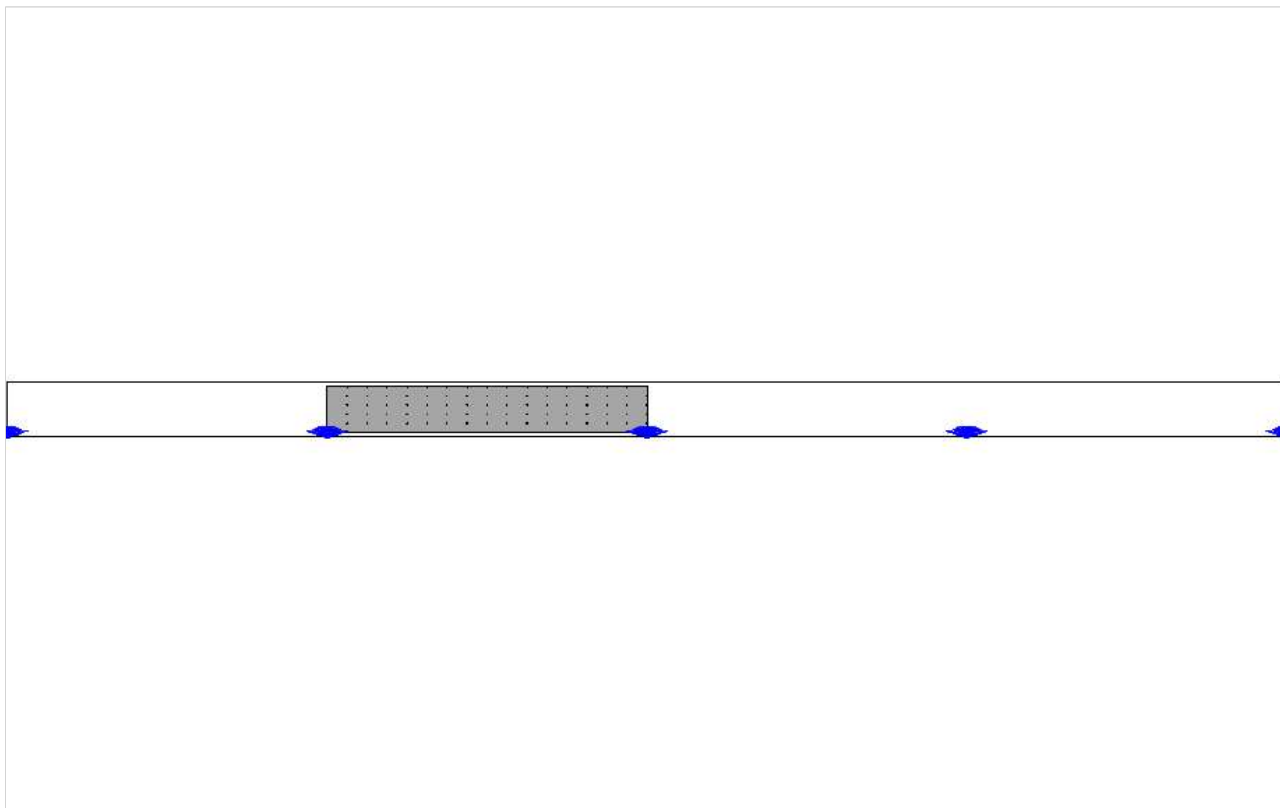
Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="5"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="8,75"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

ANEXO 5

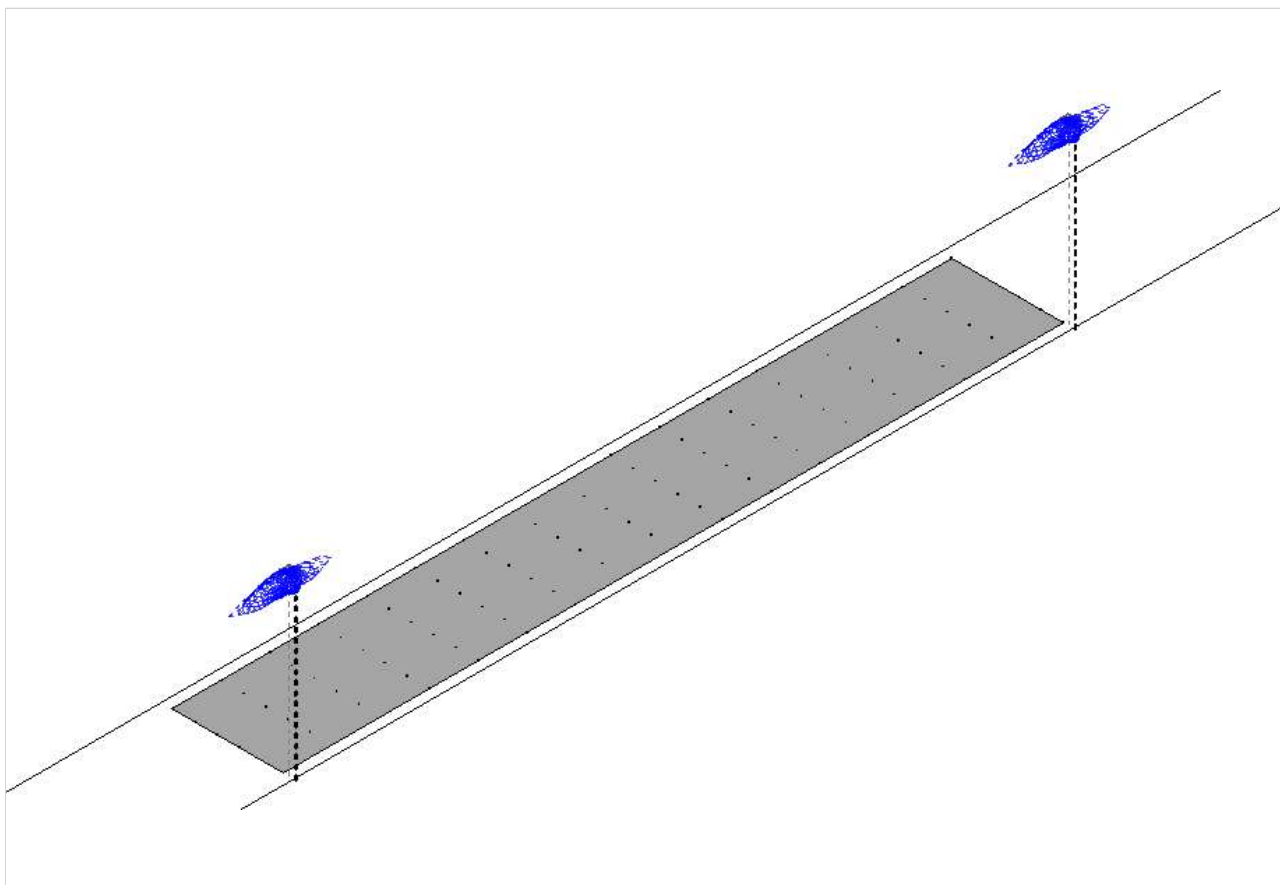
Luminária LED 141W (Dimerização 40 %)

1. Vistas

1.1. Instantâneo 1



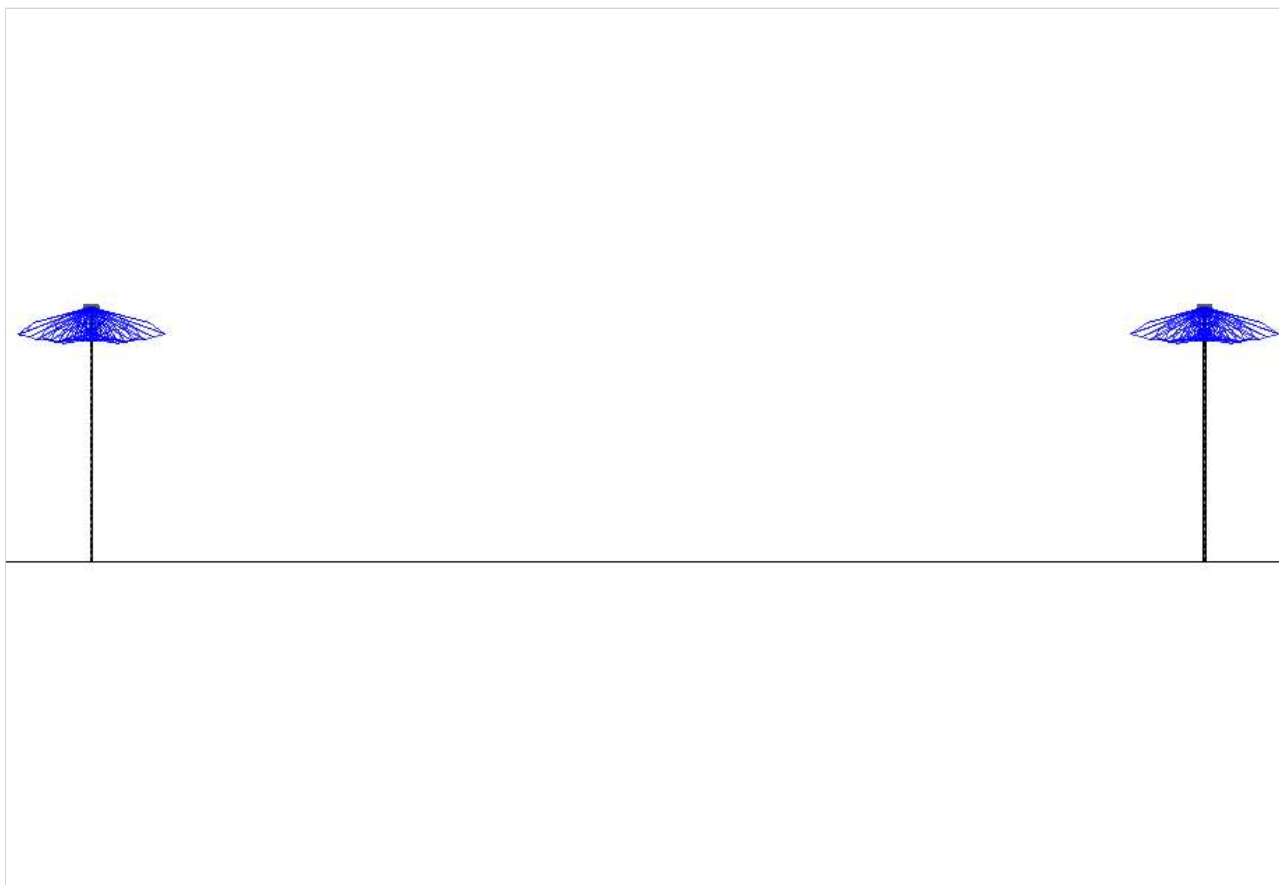
1.2. Instantâneo 2



1.3. Instantâneo 3

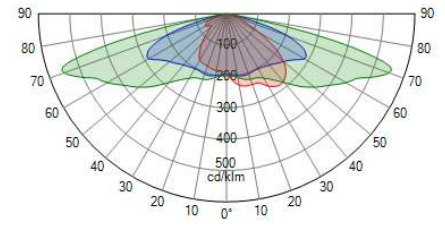


1.4. Instantâneo 4



2. Luminária

2.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972



Tipo :

Potência : W

Refletor :

Potência : W

Fonte :

Protetor :

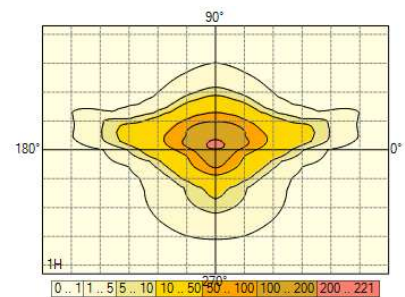
Ajuste :

Fluxo: klm

FM :

Classe :

Matriz :

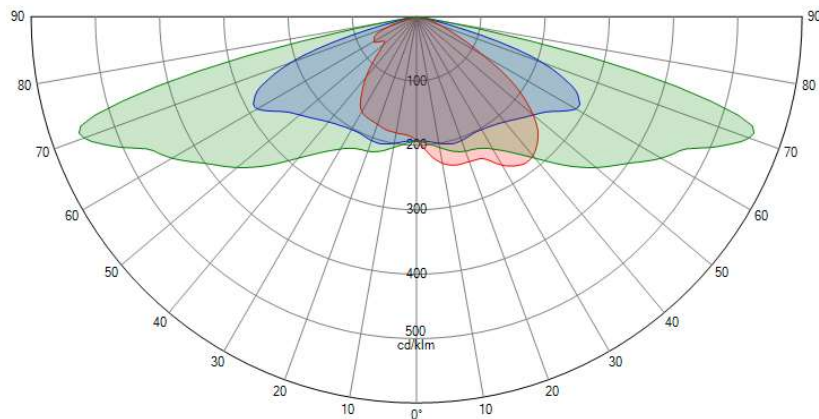


3. Documentos Fotométricos

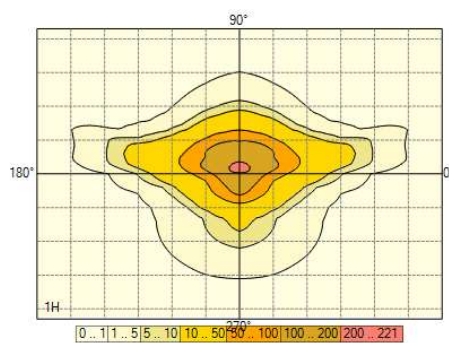
3.1. AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972

324972

Diagrama Polar/Cartesiano



Isolux



Curva de Utilização



4. Resultados

4.1. Quadro Resumo

1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012


1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	11,2	35,2	18,8	3,9	20,9

2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

1. Iluminância Normal	Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min(lux)	Max (lux)
Padrão	12,4	31,7	18,8	3,9	20,9

5. Padrão

5.1. Descrição da Matriz

Matriz	Descrição	Fluxo[klm]	FM	Luminária
324972	AKILA 5096 - 96 LEDS 530mA_324972	16,700	0,900	

5.2. Grupos de Luminárias

Linear															
N°	Posição			Luminária					Dimensão			Rotação			
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Matriz	Az [°]	Incl [°]	Rot [°]	Dim [%]	Cont	Esp [m]	Tam [m]	X [°]	Y [°]	Z [°]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-35,00	0,25	8,00	324972	0,0	0,0	0,0	40	5	35,00	140,00	0,0	0,0	0,0

5.3. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012 - Iluminância Normal

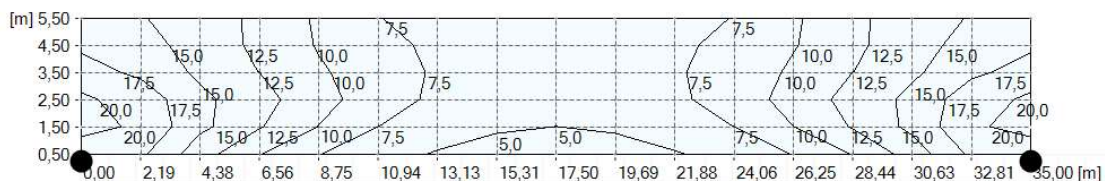
Valores

Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 11,2 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal

[m]	5,50	15,7	15,2	13,8	12,0	9,6	7,6	6,3	5,5	5,3	5,5	6,3	7,6	9,6	12,0	13,8	15,2	15,7
4,50	17,1	16,0	13,9	12,0	9,8	8,2	7,0	6,4	6,1	6,4	7,0	8,2	9,8	12,0	13,9	16,0	17,1	
3,50	18,5	17,0	14,5	12,5	10,4	8,5	7,3	6,6	6,4	6,6	7,3	8,5	10,4	12,5	14,5	17,0	18,5	
2,50	20,4	18,9	15,7	13,3	11,0	8,6	7,1	6,1	5,8	6,1	7,1	8,6	11,0	13,3	15,7	18,9	20,4	
1,50	20,9	19,6	15,6	12,7	10,0	7,5	6,1	5,3	5,0	5,3	6,1	7,5	10,0	12,7	15,6	19,6	20,9	
0,50	18,7	18,0	13,6	10,1	7,6	5,8	4,8	4,2	3,9	4,2	4,8	5,8	7,6	10,1	13,6	18,0	18,7	
	0,00	2,19	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,31	17,50	19,69	21,88	24,06	26,25	28,44	30,63	32,81	35,00	[m]

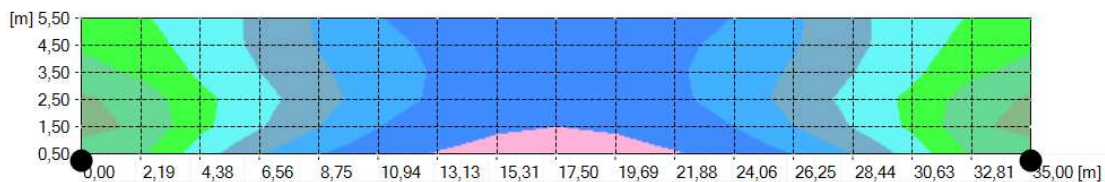
Isolux

Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 11,2 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal



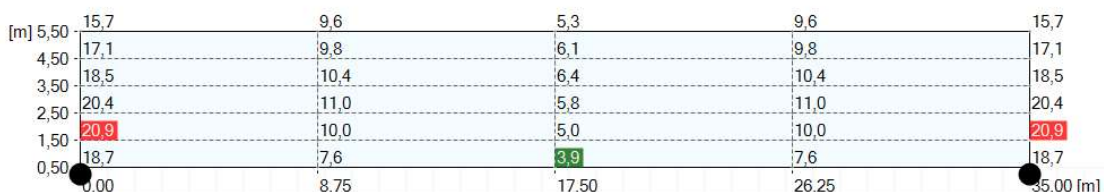
Sombreamento

Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 11,2 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 35,2 %
 Illum. Type : Normal



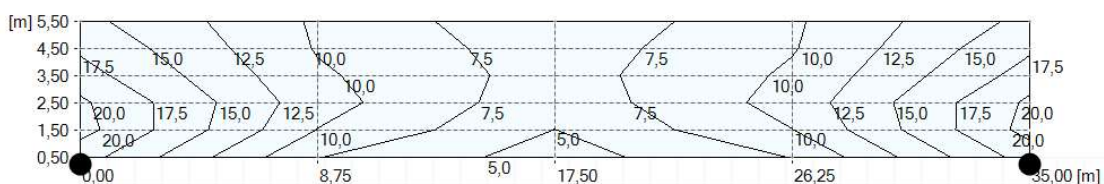
5.4. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software) - Iluminância Normal

Valores



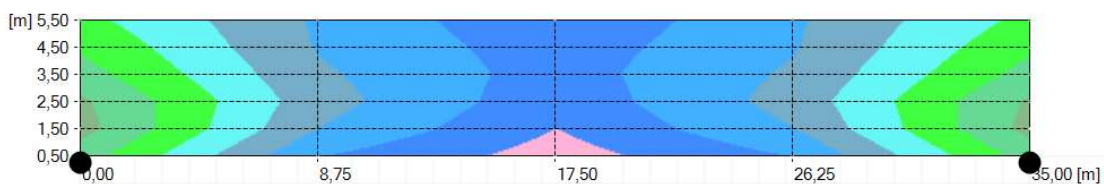
Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 12,4 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal

Isolux



Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 12,4 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal

Sombreamento



Min : 3,9 lux
 Max : 20,9 lux
 Avg (A) : 12,4 lux
 Min / Max : 18,8 %
 Min / Avg : 31,7 %
 Illum. Type : Normal



6. Grids

6.1. 1) Malha de Cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Descrição Malha para cálculo via software, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="17"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="2,19"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m

6.2. 2) Malha de Verificação In-Loco (resultados do cálculo via software)

Descrição Malha para cálculo pra verificação In-Loco, segundo ABNT NBR 5101:2012

Geral			
Tipo :	Grid retangular XY	Use Exclusion :	-
En :	<input checked="" type="checkbox"/>	Cor :	■
Geometria			
Origem			
X :	<input type="text" value="0,00"/>	Y :	<input type="text" value="0,50"/>
Z :	<input type="text" value="0,00"/>	m	
Rotação			
X :	<input type="text" value="0,0"/>	Y :	<input type="text" value="0,0"/>
Z :	<input type="text" value="0,0"/>	°	
Dimensão			
Cont X :	<input type="text" value="5"/>	Cont Y :	<input type="text" value="6"/>
Espaçam X :	<input type="text" value="8,75"/>	Espaçam Y :	<input type="text" value="1,00"/> m
Tam X :	<input type="text" value="35,00"/>	Tam Y :	<input type="text" value="5,00"/> m