

LUCAS EDUARDO DORNELES ANTUNES

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA: NORMATIZAÇÃO DE VIAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESTUDO DE CASO- LOTEAMENTO NILO GONÇALVES- ALEGRETE-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do Curso de Engenharia Elétrica do Campus Alegrete da Fundação Universidade Federal do Pampa, área de concentração Sistemas Elétricos.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

**ALEGRETE
2015**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

A933i Antunes, Lucas Eduardo Dorneles
Iluminação Pública: Normatização de Vias e
Eficiência Energética. Estudo de Caso- Loteamento
Nilo Gonçalves- Alegrete/RS / Lucas Eduardo Dorneles
Antunes.
84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA,
2015.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

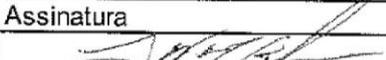
1. Iluminação Pública. 2. Geração Distribuída. 3.
Energia Solar. 4. Eficiência Energética. I. Título.

Autoria: Lucas Eduardo Dorneles Antunes

Título: ILUMINAÇÃO PÚBLICA: NORMATIZAÇÃO DE VIAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESTUDO DE CASO- LOTEAMENTO NILO GONÇALVES- ALEGRETE-RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das atividades para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Elétrica
do Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Pampa.

Os componentes da banca, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado

	Nome	Titulação	Instituição	Assinatura
1	José Wagner Maciel Kaehler	Prof. Dr.	unipampa	
2	Ana Paula Carboni de Mello	Prof. Me.	unipampa	Ana Paula C. de Mello
3	Natalia Braun Chagas	Prof. Me.	unipampa	Natalia Braun Chagas

Data da aprovação: 26 de Novembro de 2015.

*Dedico este trabalho ao grande esforço dos meus pais,
para eu ter a oportunidade de estudar.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a força e fé nas horas necessárias.

A minha mãe Cristina e meu pai Tarcísio, pelo esforço deles em proporcionar-me a oportunidade de cursar uma faculdade, que por várias vezes se mostra muito complicada e inóspita. Por todas as palavras de conforto e ajuda nas horas que precisei. E tenham certeza que só estou nessa etapa da vida por causa do amor de vocês.

Também aos meus colegas, Maicon Natã, Rodrigo Andrade e Lucas Nunes, pela parceria nas várias e intermináveis horas de estudos, e toda vez que eu sentia-me triste ou desmotivado, era só observa-los motivados e focados que logo esse sentimento passava. Por ser um grupo de amigos, colegas, e porque não família, pois por cinco anos passamos mais tempo juntos do que com a nossa própria família. E tenho certeza que nossa amizade construída na faculdade será eterna.

A minha namorada Mayara Torres, por me dar força e ajuda com palavras sábias e de experiência. E pela compreensão em todas as horas que não pude estar presente.

A minha amiga Natalie Lunardi, por toda a ajuda e materiais emprestados que não foram poucos, e por ser sempre prestativa a ajudar e escutar sobre qualquer assunto. E pode ter certeza que uma parte da minha graduação é devido a você. Muito obrigado por tudo.

E a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram a passar mais essa etapa da vida, porque o que seria de nós se não houvesse amor ao próximo.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso, sem perder o entusiasmo”

Winston Churchill

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso relacionado à eficiência energética em iluminação pública. O local escolhido foi na cidade de Alegrete-RS no bairro Airton Senna 2, tendo em vista que o projeto ali implantado de iluminação pública é recente, uniforme e dispõe de dados ainda do projeto inicial. O trabalho desenvolveu-se pela caracterização da área estudada, verificação do enquadramento nas normas regulamentadoras para iluminação pública, investigação e levantamento de dados em campo com auxílio de medidores de fluxo luminoso, utilizando os métodos de malha de medição detalhada de acordo com a ABNT 5101. Buscou-se verificar o enquadramento do projeto na normatização da via urbana daí decorrendo a proposição de cenários, tendo como pressuposto que a via deveria obedecer aos critérios normativos. Desta forma foram executadas as avaliações destes cenários, com a indicação das possíveis melhorias na eficiência tanto lumínica como energética. Através de simulação com software DIALUX pode-se analisar o enquadramento na normatização dos casos propostos, e comparando tanto com a norma europeia EN 13201 como com a brasileira ABNT 5101. Dos melhores cenários observados foram efetuadas as análises econômicas, buscando o caso com a melhor relação custo-benefício. Também foi realizada uma análise preliminar de inserção de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição onde se comparou os resultados alcançados em termos do Tempo de Retorno Atualizado, Valor Presente e Taxa Interna de Retorno da melhor configuração com e sem o sistema fotovoltaico.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação pública, Geração Distribuída, Energia Solar.

ABSTRACT

This paper presents a case study related to energy efficiency in public lighting. The site chosen was in the city of Alegrete-RS Airtton Senna 2 in the neighborhood, considering that the project deployed there is recent lighting, uniform and has data from the initial project. The work developed by the characterization of the studied area, verification of the regulatory standards framework for public lighting, research and data collection in the field with the help of luminous flow meters, using the methods of measuring detailed mesh according to ABNT 5101. To check the framing of the project on standardization of urban way, scenarios were developed, with the assumption that via should meet the regulatory criteria. In this way were performed the evaluations of these scenarios, with the indication of possible improvements in efficiency as much as energy lumínica. Through simulation with DIALUX software can analyze the framework on Standardization of the cases offered, and comparing both with the European standard EN 13201 as with the Brazilian ABNT 5101. Of the best scenarios observed, economic analyses were conducted, seeking the case with the best cost-benefit ratio. It was also carried out a preliminary analysis of insertion of a photovoltaic system connected to the distribution network where if compared the results achieved in terms of the Time of Return, net present value and internal rate of return of the best configuration with and without the photovoltaic system..

Index Terms: Energy efficiency, public lighting, distributed generation, solar energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Espectro eletromagnético.....	20
Figura 2- Detalhe para definição de ângulo sólido.....	21
Figura 3- Detalhe do ângulo plano.	22
Figura 4- Intensidade Luminosa.	22
Figura 5 - CDL luminária e lâmpada- PHILIPS SON-T 70 W.....	23
Figura 6- Representação do fluxo luminoso de lâmpada.	24
Figura 7- Esfera de Ulbricht.	24
Figura 8- Representação de iluminância.	25
Figura 9- Ângulos usados no cálculo da iluminância semicilíndrica.	27
Figura 10- Ângulos usados no cálculo da iluminância vertical.....	27
Figura 11- Lei do inverso do quadrado da distância.	28
Figura 12- Iluminância versus luminância.	29
Figura 13- Índice de Reprodução de cores.	30
Figura 14- Conversão da potência (W) em fluxo luminoso (lúmen).....	31
Figura 15- Configuração da rede de baixa tensão de iluminação pública no Brasil.	33
Figura 16- Comparação da eficiência luminosa das lâmpadas.....	35
Figura 17- Composição da lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão.	37
Figura 18- Composição da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.	38
Figura 19- Composição da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão.	39
Figura 20- Composição da lâmpada de vapor metálico.	40
Figura 21- Composição da lâmpada de Mista.	41

Figura 22- Composição de um LED (Diodo emissor de luz).....	42
Figura 23- Reator eletrônico Philips.....	44
Figura 24- Refletores e distribuição luminosa.....	45
Figura 25- Distribuição das concessões no Brasil por estados.....	47
Figura 26- Sistema conectado à rede.....	50
Figura 27- Fluxograma dos passos a seguir para obtenção dos resultados.	51
Figura 28-Mapa do município de Alegrete UNIPAMPA.	58
Figura 29-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – cenário real normatizado.	64
Figura 30- Cores falsas para a pista de rodagem- cenário real normatizado.....	65
Figura 31- Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada - caso 10.....	68
Figura 32- Cores falsas para a pista de rodagem - caso 10.	68
Figura 33-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 13.....	69
Figura 34- Cores falsas para a pista de rodagem- caso 13	70
Figura 35-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 20.....	71
Figura 36- Cores falsas para a pista de rodagem- caso 20.	71
Figura 37-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 23.....	72
Figura 38-Cores falsas para a pista de rodagem- caso 23.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Projetos de IP eficientes energeticamente.	17
Tabela 2- Eficiência e rendimento de vários tipos de lâmpadas.....	35
Tabela 3- Lâmpadas utilizadas em Iluminação Pública no brasil.....	36
Tabela 4- Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal. Fonte: (CIE,2003).	46
Tabela 5- Estimativa de energia gerada oriunda de instalações de GD no horizonte decenal (GWh).	49
Tabela 6- vantagens e desvantagens da conexão à rede.	50
Tabela 7- Quantidade de pontos medidos e cálculos referente a faixa de rolamento.....	53
Tabela 8- Configuração da grade de referência de acordo com a classe de iluminação da via.	54
Tabela 9- Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação. ...	60
Tabela 10- Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação).....	61
Tabela 11- Classe de iluminação da norma EN-13201-2.	61
Tabela 12- Resultados para o cenário real normatizado.	65
Tabela 13 – Especificações das 30 configurações utilizadas para as simulações.....	66
Tabela 14- Resultados para o caso 10.....	67
Tabela 15- Resultados para o caso 13.....	69
Tabela 16- Resultados para o caso 20.....	70
Tabela 17- Resultados para o caso 23.....	72
Tabela 18- Redução de Demanda e Energia economizada.	75
Tabela 19- Vida útil e Juros	75
Tabela 20- Custo total e anualizado.....	76
Tabela 21- Custos envolvidos.....	76
Tabela 22- Custos marginais de expansão corrigidos para BT.....	76

Tabela 23- Resumo dos resultados.	77
Tabela 24- Horas de Sol acumuladas Mensais.	77
Tabela 25- Energia produzida por mês.	78
Tabela 26- Tarifas Calculadas pela ANEEL e aplicadas pela AES SUL.	78
Tabela 27- Faturamento evitado de energia elétrica.	79
Tabela 28- Fluxo de caixa para o caso 23 com GD.	80
Tabela 29- Fluxo de caixa para o caso 23 sem GD.	80

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

LED – Light Emitting Diode - Diodo Emissor de Luz

MME – Ministério das Minas e Energia

PROCEL – Programa de Conservação de Energia Elétrica

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

IESNA- Sociedade de Engenharia em Iluminação da América do Norte

SUMÁRIO

1 Introdução	16
1.1 <i>Problematização</i>	18
1.1 <i>Justificativa</i>	18
1.2 <i>Objetivos</i>	19
1.3 <i>Organização do Trabalho</i>	19
2 Revisão bibliográfica	20
2.1 <i>Conceitos básicos luminotécnicos</i>	20
2.1.1 Luz.....	20
2.1.2 Intensidade Luminosa	21
2.1.3 Fluxo luminoso	23
2.1.4 Iluminância	24
2.1.5 Lei do Inverso do Quadrado da Distância.....	28
2.1.6 Luminância	28
2.1.7 Índice de Reprodução de Cores (IRC).....	30
2.1.8 Eficiência Luminosa	31
2.1.9 Uniformidade	31
2.1.10 Eficiência Energética.....	32
2.2 <i>Estrutura da Iluminação Pública</i>	33
2.2.1 Lâmpadas.....	34
2.2.2 Reatores	44
2.2.3 Luminária.....	45
2.2.1 Controle Fotoelétrico	46
2.3 <i>Resolução 414-2010</i>	46
2.4 <i>Concessão da Iluminação pública</i>	46
2.4.1 Tarifação na Iluminação Pública.....	47
2.5 <i>Geração Distribuída Aplicada em IP</i>	47
2.5.1 Energia Solar.....	48
2.5.2 Energia Solar Fotovoltaico	49
2.5.3 Sistemas Conectados à rede	50
3 Metodologia	51
3.1 <i>Malha de medição</i>	52
3.2 <i>Software Dialux™</i>	55
3.3 <i>Análise econômica</i>	55
3.3.1 Cálculo da Relação Custo/Benefício.....	56
3.4 <i>Geração distribuída fotovoltaica</i>	57
4 Estudo de caso	58

4.1 <i>Classificação da via</i>	59
4.1.1 ABNT NBR 5101 (2012)	59
4.1.2 EN-13201 (2004) Iluminação Pública	59
4.2 <i>Requisitos mínimos</i>	60
4.2.1 Requisitos segundo NBR 5101	60
4.2.2 Requisitos segundo EN 13201-2004	61
5 Resultados	62
5.1 <i>Cenário real</i>	62
5.2 <i>Cenário real normatizado</i>	64
5.3 <i>Cenários Propostos</i>	65
5.4 <i>Análise econômica</i>	73
5.5 <i>Inserção de geração distribuída (GD)</i>	77
6 Considerações finais	81
7 Trabalhos Futuros	82
Referências bibliográficas	83

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio a humanidade tinha seus hábitos e costumes devido a rotação da terra, ou seja, pelo dia e noite. Até a revolução da iluminação com a invenção da primeira lâmpada elétrica por Thomas Edison e pela construção em escala, que proporcionou o início das atividades noturnas em maior proporção (SOARES,2014). Edison foi o precursor da iluminação pública, inventou a lâmpada e um sistema de distribuição de energia em corrente contínua, o que permitiu iluminar locais abertos, lembrando que uma das lâmpadas que inventou apresentava uma vida útil de 45 horas.

O início da Iluminação Pública no Brasil, ocorreu no século XVIII, onde iluminavam-se áreas externas com luminárias decorativas alimentadas com óleo de baleia, um sistema precário, mas que atendia a demanda da época. A partir de então os sistemas começaram a evoluir, mas de maneira lenta e, somente na segunda metade do século XIX, exatamente em 1879, Dom Pedro II trouxe ao Brasil, Thomas Alva Edison e com o auxílio dele implementaram-se os primeiros sistemas de iluminação pública por meio da eletricidade.

Atualmente a iluminação pública (IP) consome cerca de 10% à 38% do total de energia elétrica nas cidades em todo mundo (NYCGP,2009). Portanto, a busca por sistemas mais eficientes e novas tecnologias são fontes de várias pesquisas. Tecnologias eficientes e configurações adequadas podem minimizar drasticamente o consumo e a demanda de energia elétrica, estimado pelo PROCEL entre 26% e 60%, dependendo da tecnologia utilizada (PROCEL,2005).

Um sistema de iluminação pública bem concebido e eficiente energeticamente deve permitir que os usuários, tenham boa visibilidade, segurança e conforto, além de reduzir o consumo de energia, os custos e melhorar a aparência das vias públicas urbanas.

Ainda há vários requisitos para um bom projeto de IP como citado na Tabela 1. A fim de projetar corretamente novos esquemas de IP é importante considerar a adequação e eficácia dos diversos equipamentos e configurações para cada tipo de via. E obviamente atendendo os requisitos mínimos da norma vigente de iluminação pública, buscando maximizar a eficiência energética. Assim todo projeto de implementação ou de adequação devem fornecer a iluminância e a uniformidade mínima exigida. No caso brasileiro a norma vigente é a ABNT NBR 5101-Iluminação Pública.

Por outro lado, sistemas de IP mal projetados podem levar a uma má visibilidade, uma poluição visual, ou a ambos. Muitas vezes a IP é projetada e mantida inadequadamente, por

exemplo, um sistema em que há várias lâmpadas queimadas ou usa equipamentos obsoletos. Assim são grandes o consumo de energia e recursos financeiros mal utilizados. Algumas razões para IP ineficiente são: Seleção de luminárias ineficientes, projetos e instalações inadequados à norma, baixa qualidade de energia e más práticas de operação e manutenção.

Tabela 1- Projetos de IP eficientes energeticamente.

Características	Benefícios
Altura Adequada e espaçamento entre postes	Fornece distribuição uniforme de luz, o que melhora a aparência e segurança. Atende aos níveis luminotécnicos recomendados. Minimiza o número de postes, reduzindo o custo de energia consumido e manutenção
Estrutura da Luminária	Combinando para a estética do ambiente
Vida útil da luminária e equipamentos	Reduz o custo de substituição
Alta eficiência na Lâmpada e Luminária	Minimiza o custo com energia
Relação Custo-benefício	Reduz o custo operacional
Bom rendimento de cores	Ajuda na aparência mais natural e agradável para o público. Permite um melhor reconhecimento do ambiente, melhora a segurança
Distribuição de luz Adequada	Fornece luz necessária nas estradas e calçadas
Minimizar a poluição luminosa e brilho	Reduz o uso de energia

Fonte:(NYSERDA,2002).

No Brasil a ELETROBRÁS, através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) busca melhorar a eficiência nos serviços públicos ligados ao uso de energia elétrica. Assim, procurando melhorar a eficiência da IP e ampliar os benefícios a população urbana, a ELETROBRÁS instituiu o Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente (ReLuz).

O ReLuz tem o objetivo o desenvolvimento de sistemas eficientes de IP, contribuindo para melhorar as condições de segurança e a qualidade de vida nas cidades brasileiras. Segundo (PROCEL,2004) constatou-se que a IP ineficiente pode ser responsável por aproximadamente 70% do consumo de energia elétrica nos municípios, além de ser uma questão de importância para a população urbana.

De acordo com o roteiro para elaboração de projetos de IP eficiente do PROCEL. Os projetos de melhoria para IP têm como objetivo reduzir a potência instalada e garantir qualidade no serviço, fazendo substituição de equipamentos obsoletos por outros de melhor eficiência e maior vida útil. Deve-se adotar alguns procedimentos do manual de instruções elaborado pelo PROCEL. O primeiro é elaborar diagnóstico do sistema existente, assim realizando uma análise para identificar os equipamentos utilizados e passíveis de troca. Claro que sempre respeitando a necessidade de adaptá-los aos padrões das normas técnicas aplicáveis. O segundo é verificar a conformidade das especificações segundo as normas técnicas. E por último definir as substituições necessárias.

1.1 Problematização

Os sistemas de IP são muitas vezes ineficientes energeticamente e não são normatizados, ou seja, não são adequados aos requisitos mínimos exigidos pela norma vigente. Portanto não sendo normatizados são sistemas que possuem, má visibilidade podendo causar acidentes de trânsito e facilitando a criminalidade tornado a via insegura.

1.1 Justificativa

Como supracitado acima cerca de 70% do consumo dos municípios com energia elétrica é devido a iluminação pública, que muitas vezes, são sistemas ineficientes energeticamente e utilizando equipamentos obsoletos ou inadequados para a via, ou seja, não normatizados.

Ainda em uma via com má qualidade na iluminação é maximizado a sensação de medo e desconforto. Segundo (Haans,2012) a IP é geralmente visto como o recurso físico mais importante que afeta a percepção de segurança pessoal.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é normatizar a via de estudo, analisando todos os requisitos exigidos pela norma, fazendo as medições e simulações necessárias para comprovar a normatização. Reduzir o consumo de energia, pois ao normatizar a via, precisa-se muitas vezes aumentar a potência luminosa, substituir a luminária ou até mesmo alterar a distribuição dos postes na via. Todas essas modificações poderão aumentar o consumo de energia, desta forma será feita uma análise econômica de casos propostos, afim de verificar de os benefícios e redução de consumo são aceitáveis.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho de conclusão do curso de graduação é composto por seis capítulos.

O primeiro capítulo é a introdução, qual seja, uma breve abordagem sobre o assunto, sua justificativa, problematização e justificativa.

O segundo capítulo detalha os fundamentos da iluminação, com todos seus conceitos e leis. Particularmente, são detalhados os aspectos da iluminação pública, bem como os materiais encontrados e seus aspectos legislativos. E uma pequena abordagem sobre geração distribuída aplicada à iluminação pública e geração distribuída conectada na rede.

O terceiro é a metodologia aplicada para obtenção dos resultados, ou seja, toda a parte de normas aplicáveis, assim como é recomendada a forma de medição da via para enquadramento na norma. O software que foi utilizado para as possíveis simulações e como foi feita a análise econômica para avaliação dos casos propostos.

O quarto capítulo aborda o estudo de caso contendo a descrição do local, as normas vigentes para a iluminação pública no Brasil e na Europa, também a classificação da via e requisitos mínimos de acordo com as duas normas.

O quinto capítulo contem a parte de resultados, exemplificando as configurações de via e equipamentos, também os resultados das simulações e a análise econômica utilizados em cada caso. Após a escolha do melhor caso foi feita uma pequena análise de inserção de geração distribuída.

O sexto capítulo expõe as conclusões obtidas no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste trabalho foi necessário pesquisar sobre iluminação natural e artificial, iluminação pública e ainda estudar a legislação vigente, ABNT NBR 5101 (2012) que especifica os requisitos de iluminação pública e para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança além de normas e manuais de projetos.

2.1 Conceitos básicos luminotécnicos

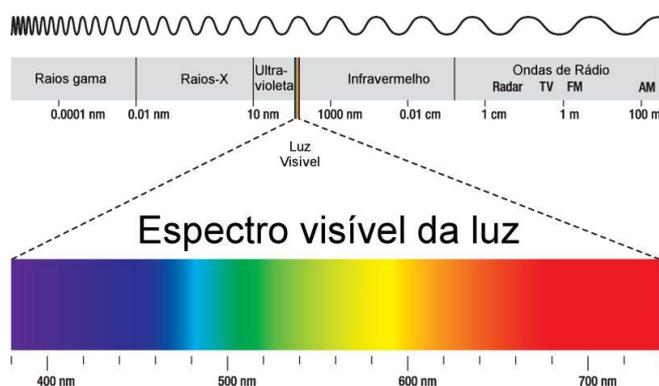
Segundo Costa (2006) as grandezas básicas utilizadas em iluminação são as leis da ótica energética e fotometria. A ótica energética é mais abrangente e atinge basicamente todos os domínios da iluminação. Já a ótica fotométrica estuda como o olho humano reage a radiação luminosa. Em luminotécnica, a partir da intensidade luminosa pode-se derivar todas as unidades, é medida em candela (cd).

2.1.1 Luz

A luz é uma radiação eletromagnética entre os comprimentos de onda em que o olho humano é capaz de perceber. Para a iluminação, o grupo de radiações entre 380 e 760 nm (nanômetro) é muito importante pois essa faixa de comprimentos de onda tem a capacidade de estimular a retina do olho humano, gerando sensação de luminosidade.

Na parcela do espectro, em que o olho humano consegue captar. Pode-se ver a cor violeta para comprimentos de onda a partir de 380 nm, por volta de 480 nm é azul, após 500nm é verde, e assim o olho humano irá percebendo as mudanças de cores até os 700 nm que é representado pela cor vermelha. Logo abaixo do espectro visível na escala do espectro eletromagnético estão as radiações ultravioletas e acima as radiações infravermelhas, como ilustra a Fig.1.

Figura 1- Espectro eletromagnético.



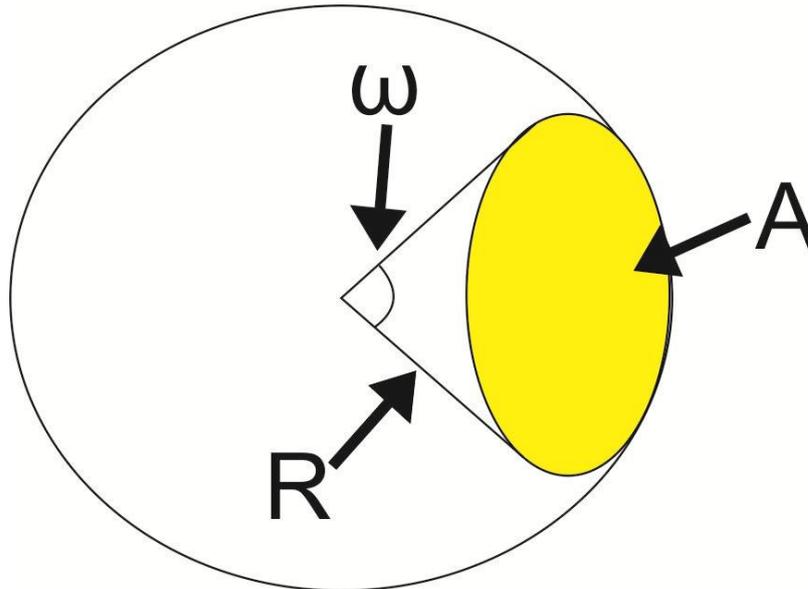
Fonte: (Imagem Internet- Site InfoEscola).

2.1.2 Intensidade Luminosa

Para entender melhor a intensidade luminosa deve-se compreender os conceitos de ângulo sólido e plano.

-Ângulo Sólido: É o ângulo espacial que tem seu vértice no centro da esfera, cuja área superficial é igual ao quadrado de seu raio, representado em detalhe na Figura 2 (IESNA,2000).

Figura 2- Detalhe para definição de ângulo sólido.



Fonte: Própria.

O ângulo sólido é dado pela equação 1

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad (1)$$

Onde: A= área da superfície da esfera (m²) = 4πR²

R= Raio do círculo (m)

ω =Ângulo Sólido (Sr)

-Ângulo Plano: Define-se ângulo plano, como sendo o quociente entre o comprimento de arco e o raio da circunferência, dado pela equação 2. Ilustrado na Figura 3.

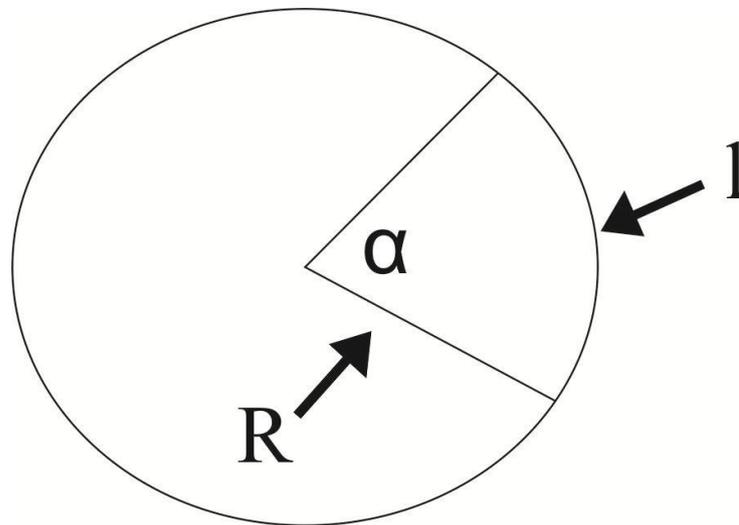
$$\alpha = \frac{l}{R} \quad (2)$$

Onde: α = ângulo plano.

R= Raio da circunferência (m)

l= Comprimento do arco (m)

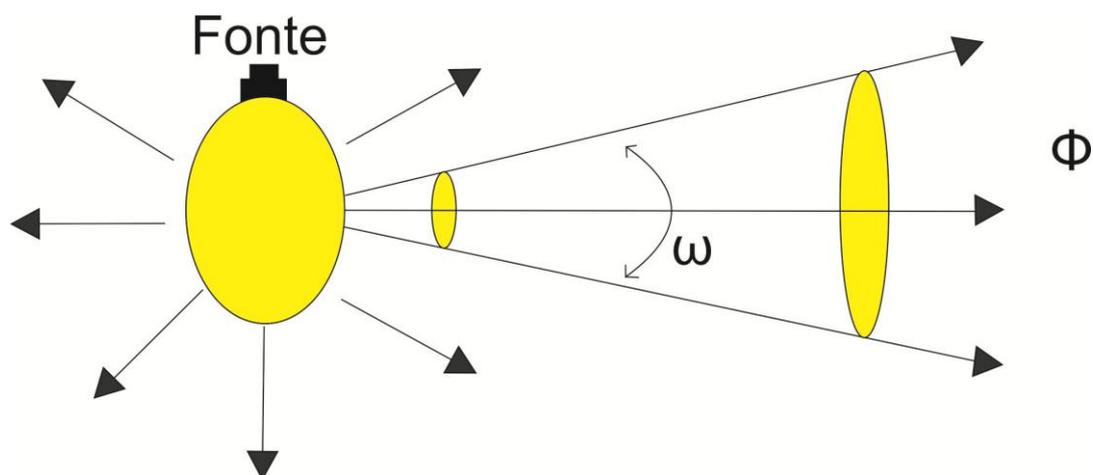
Figura 3- Detalhe do ângulo plano.



Fonte: Própria.

-Intensidade luminosa: A luz se propagando em certa direção, dentro de um ângulo sólido unitário, é dito como intensidade luminosa (I), sua unidade é lúmen/esterradiano ou candela (cd).

Figura 4- Intensidade Luminosa.

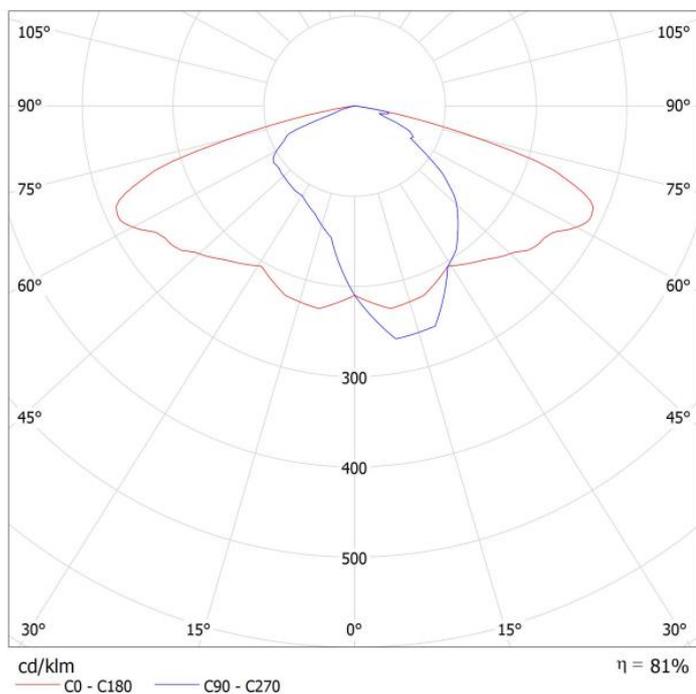


Fonte: Própria.

A distribuição de intensidade luminosa é geralmente representada na forma de um diagrama polar ou linear, chamado de curva de distribuição luminosa (CDL). A Figura 5

ilustra a distribuição real da intensidade luminosa na forma de um diagrama polar, na figura podemos ver a gradação da intensidade luminosa para cada ângulo iluminado.

Figura 5 - CDL luminária e lâmpada- PHILIPS SON-T 70 W.



Fonte: Própria.

A curva de distribuição luminosa, e muito usada por empresas para informar aos projetistas detalhes sobre a intensidade luminosa e sua direção, facilitando o uso correto do conjunto luminária lâmpada.

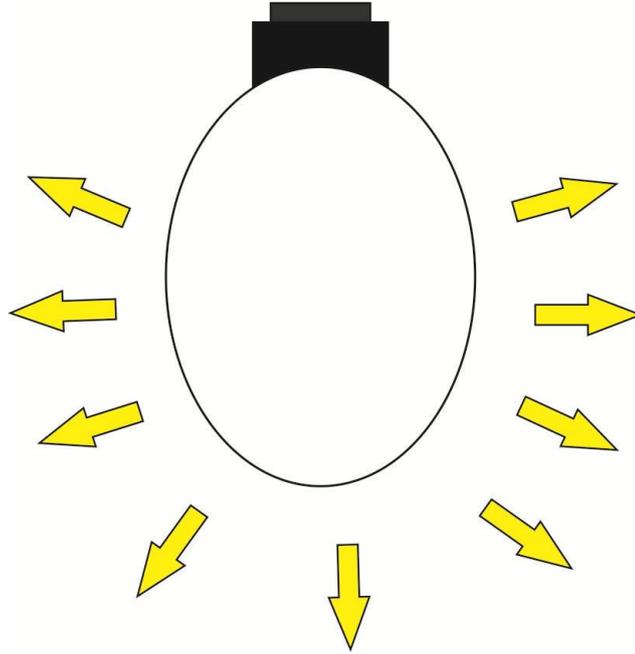
2.1.3 Fluxo luminoso

O conceito de fluxo luminoso é a quantidade de energia radiante, emitida por unidade de tempo, e classificada de acordo com a sensação luminosa gerada (GUERRINI,2010).

Outra definição utilizada para fluxo luminoso é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. O fluxo luminoso é representado pela letra Φ (FI).

O fluxo luminoso é medido através de esferas integradoras ou ainda chamadas de esferas de Ulbricht, ilustrado na Figura 7. Porém a esfera não serve apenas para medir o fluxo luminoso, também pode medir transmitâncias e refletância de uma amostra e até mesmo calibrar outros dispositivos.

Figura 6- Representação do fluxo luminoso de lâmpada.



Fonte: Própria.

Figura 7- Esfera de Ulbricht.

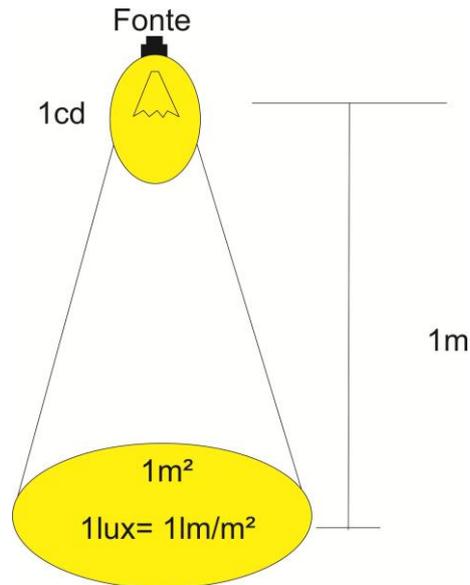


Fonte: NIMO-UFJF.

2.1.4 Iluminância

Por definição, a Iluminância é o fluxo luminoso (Lúmen) que incide em uma superfície de área (m^2), sua unidade é o lux.

Figura 8- Representação de iluminância.



Fonte: Própria.

Assim, a iluminância é dada pela equação 3, é um dos fatores mais importantes em um bom planejamento de um sistema de iluminação.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3)$$

Onde: Φ = Fluxo luminoso (Lúmen)

E = Iluminância (lux)

S = Área da superfície iluminada (m²)

Podemos exemplificar alguns níveis de iluminância:

- Dia de Sol de verão a céu aberto: 100.000 lux;
- Dia de Sol encoberto no verão: 20.000 lux;
- Uma vela a 1 metro de distância: 1 lux;
- Noite à luz das estrelas: 0,001 lux.

Existem quatro medidas de iluminância possíveis: Esse procedimento está detalhado em (SOUSA, 2012).

- Horizontal;
- Vertical;
- Semicilíndrica;
- Hemisférica.

- Iluminância Horizontal: Os pontos de cálculo devem estar localizados em um plano ao nível do chão na área de interesse. Para cada ponto, a iluminância horizontal é calculada pela equação 4.

$$E = \frac{I \times \cos^3(\varepsilon) \times \Phi \times MF}{H^2} \quad (4)$$

Onde: E = Iluminância horizontal no ponto (lux);

I = Intensidade luminosa na direção do ponto (cd);

Φ = Fluxo luminoso inicial das lâmpadas (Lúmen);

ε = Ângulo de incidência da luz no ponto (graus);

H = Altura que se encontra a luminária (m);

MF = Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada com o fator de manutenção da luminária.

- Iluminância Hemisférica: Os pontos de cálculo são novamente um plano ao nível do chão, na área de interesse. Para o cálculo da iluminância hemisférica em um determinado ponto, utiliza-se a equação 5.

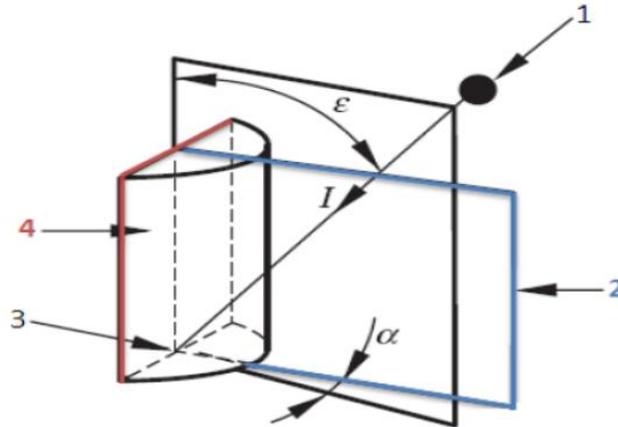
$$E = \frac{I \times [\cos^3(\varepsilon) + \cos^2(\varepsilon)] \times \Phi \times MF}{4 \times H^2} \quad (5)$$

- Iluminância Semicilíndrica: Os pontos de cálculo devem estar localizados em um plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância semicilíndrica é dada pela equação 6.

$$E = \frac{I \times [1 + \cos(\alpha)] \times \cos^2(\varepsilon) \times \sin(\varepsilon) \times \Phi \times MF}{\pi \times (H - 1,5)^2} \quad (6)$$

Onde: α = Ângulo entre o plano vertical que contém o caminho do raio incidente, com o plano vertical em ângulos retos à superfície rebatida do semicilindro Figura 9.

Figura 9- Ângulos usados no cálculo da iluminância semicilíndrica.



Fonte:(SOUSA,2012).

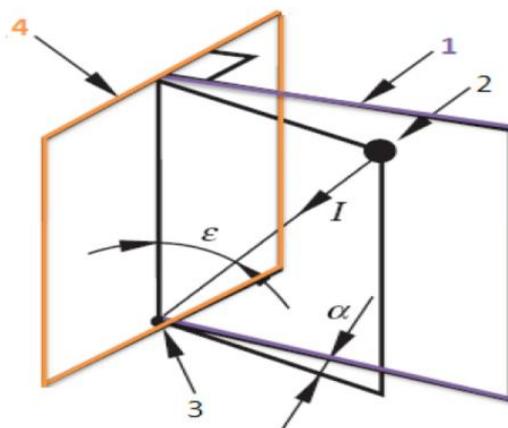
Onde:

- 1- Luminária;
- 2- Plano Vertical à Superfície Plana do Semicilindro;
- 3- Pontos de Cálculos;
- 4- Superfícies plana do Semicilindro

- Iluminância Vertical: Os pontos de cálculo devem igualmente estar localizados em um plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância vertical é calculada pela equação 7.

$$E = \frac{I \times \cos(\alpha) \times \cos^2(\varepsilon) \times \sin(\varepsilon) \times \Phi \times MF}{(H - 1,5)^2} \quad (7)$$

Figura 10- Ângulos usados no cálculo da iluminância vertical.



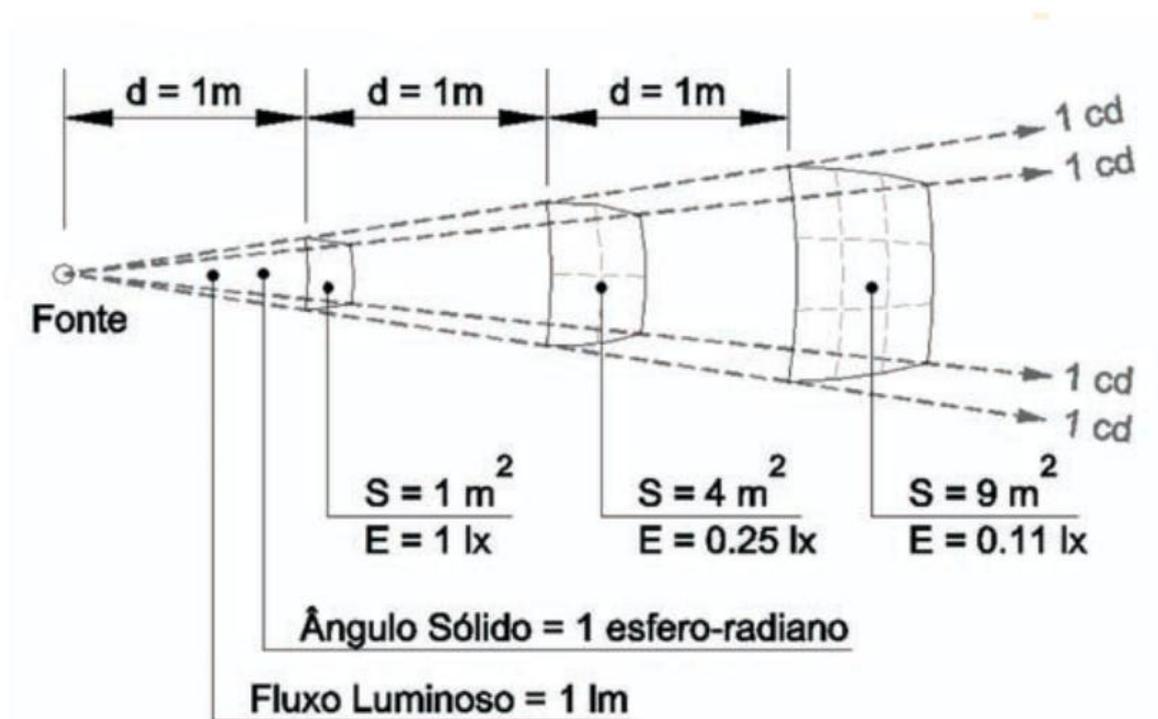
Fonte:(SOUSA, 2012).

A iluminância é medida por aparelhos chamados Luxímetros, estes são colocados no chão de onde quer ser medida a iluminância de um ambiente, e assim irá registrar o lux de cada ponto, esses pontos são escolhidos devido a normas, ou seja, para interiores a norma que rege a escolha dos pontos é a NBR 5413 e para exteriores a NBR 5101.

2.1.5 Lei do Inverso do Quadrado da Distância

A intensidade luminosa (cd), emitida por uma fonte pontual, origina o fluxo luminoso (Lúmen) e a Iluminância (lux), que é função da área atingida (m²). Como a intensidade luminosa e o fluxo luminoso permanecem constantes, quanto maior a distância entra a fonte e a superfície iluminada, maior a área atingida e, portanto, menor a Iluminância.

Figura 11- Lei do inverso do quadrado da distância.



Fonte:(IES,1993).

2.1.6 Luminância

Luminância é a diferença entre a intensidade luminosa emitida a uma fonte luminosa ou por uma superfície refletora e sua área aparente. A unidade de luminância é o cd/m^2 e o seu valor é obtido pela equação 8.

$$L = \frac{I}{S_a} \quad (8)$$

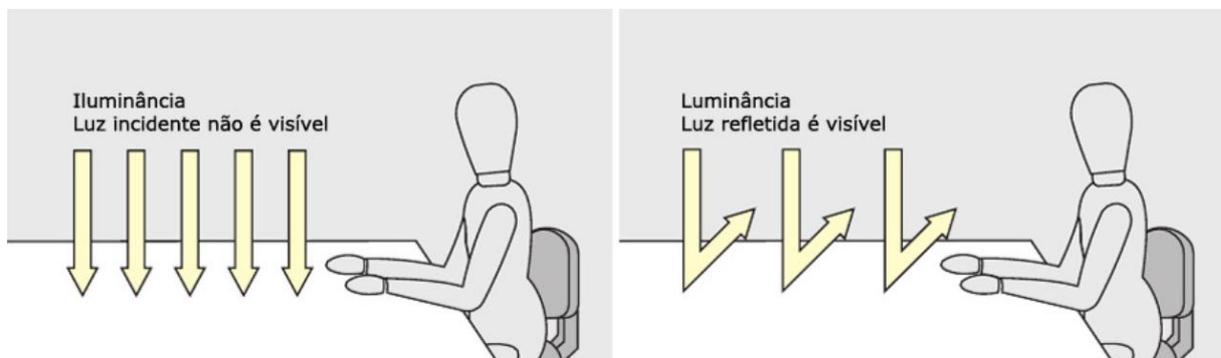
Onde: L = Luminância (cd/m^2)

I = Intensidade Luminosa (cd)

S_a = Área da superfície aparente (m^2)

Comumente é confundido o conceito de iluminância com luminância. A iluminância não depende do tipo de coeficiente de reflexão que da superfície que está sendo emitida, porque nada mais é do que o fluxo luminoso incidente por unidade de área, ou seja, não depende da superfície. Já a luminância é a intensidade luminosa emitida por uma superfície refletora e sua área aparente, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12- Iluminância versus luminância.



Fonte:(OSRAM, 2010-2011).

Luminância é um dos conceitos mais abstratos da iluminação. A luminância liga-se com contrastes, pois por exemplo, a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%), revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim, a leitura “ cansa menos os olhos”. Entretanto, quando as luminâncias se aproximam, como é o caso de uma linha de costura e o tecido, a observação torna-se mais difícil pois o contraste está reduzido, e a necessidade de mais luz.

Segundo Marchiori (2010) é grande o efeito psicológico das luminâncias no homem, quando o indivíduo vê, está comparando luminâncias. Quando compara luminâncias pode espelhar nos seus sentimentos, por isso nos dias nublados e de chuva nos sentimos mais preguiçosos.

Podemos exemplificar algumas luminâncias:

- Sol: 1600×10^6 cd/m²
- Céu Claro: $0,4 \times 10^4$ cd/m²
- Lâmpada Fluorescente (80W): $0,9 \times 10^4$ cd/m²
- Papel Branco (Fator de reflexão 80%) E= 400 lux: 100 cd/m²
- Papel Preto (Fator de reflexão 40%) E=400 lux: 5 cd/m²

2.1.7 Índice de Reprodução de Cores (IRC)

É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou mais próximo possível da luz natural (RODRIGUES,2002).

Figura 13- Índice de Reprodução de cores.



Fonte: (TEN, 2012 - Site Golden iluminação).

Um IRC por volta de 60 é razoável, já um em torno de 80 é considerado bom e 90 é excelente. Mas logicamente que depende de onde a lâmpada irá ser utilizada por exemplo um IRC de 60 para uma sala de escritório é muito baixo, já para uma via pública é aceitável, claro que não seria o melhor, mas já é admissível e para a circulação de pedestre.

2.1.8 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte e a potência por ela absorvida. A unidade SI é o lúmen por Watt (lm/W).

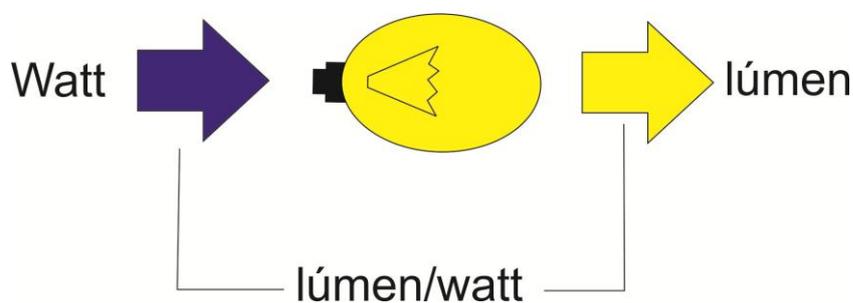
$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (9)$$

Onde: η = Eficiência luminosa (lúmen/W)

P = Potência consumida (W)

ϕ = Fluxo luminoso (lúmen)

Figura 14- Conversão da potência (W) em fluxo luminoso (lúmen).



Fonte: Própria.

As lâmpadas se diferenciam entre si, não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem.

Desde a virada do século, a tecnologia emergente (LED) vem sendo utilizada, superando rapidamente as tecnologias tradicionais demonstrando-se mais eficiente do que a fluorescente (COPETTI,2013).

2.1.9 Uniformidade

Deve-se ter uma qualidade na iluminação proporcional, quando tentamos iluminar uma zona ou objeto de ângulos diferentes, deve-se ter cautela com o critério de uniformidade, ou seja, da distribuição igualitária de luz nas superfícies.

Existem dois tipos de uniformidade: Global e a Longitudinal.

- Uniformidade Global (U_0): é a razão entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média na faixa na via, ou seja, onde há tráfego de veículos. Mede de uma forma geral a variação de luminâncias e indica o grau de desempenho da superfície da estrada como fundo para marcas rodoviárias, objetos ou condutores (CEN EN-13201-2, 2003).

$$U_0 = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} \quad (10)$$

- Uniformidade Longitudinal (U_L): é a razão entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância máxima longitudinal ao longo da via de trânsito. A uniformidade longitudinal proporciona uma medida da evidência do padrão repetido de zonas claras e escuras na estrada. Relaciona-se com as condições visuais ao longo de trechos ininterruptos de estrada (CEN EN13201-2,2003).

$$U_L = \frac{E_{mín}}{E_{máx}} \quad (11)$$

2.1.10 Eficiência Energética

A energia, entre os vários custos gerenciáveis de uma empresa, seja ela do setor industrial, comercial, pública ou privada, vem assumindo uma importância crescente, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. De qualquer maneira, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos de engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. Contudo, dada à diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e que reduzam as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (PROCEL, 2007).

Eficiência Energética, segundo o MME (2011), refere-se a ações de diversas naturezas que resultam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Visa atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto na natureza.

Ao realizar qualquer atividade voltada para a Eficiência Energética é necessário conhecer e diagnosticar a realidade energética, só assim pode-se estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Tal abordagem é válida para instalações novas, de maneira preventiva, ou instalações existentes, de maneira corretiva, em empresas de todos os setores, industriais ou comerciais, públicas ou privadas (PROCEL,2007).

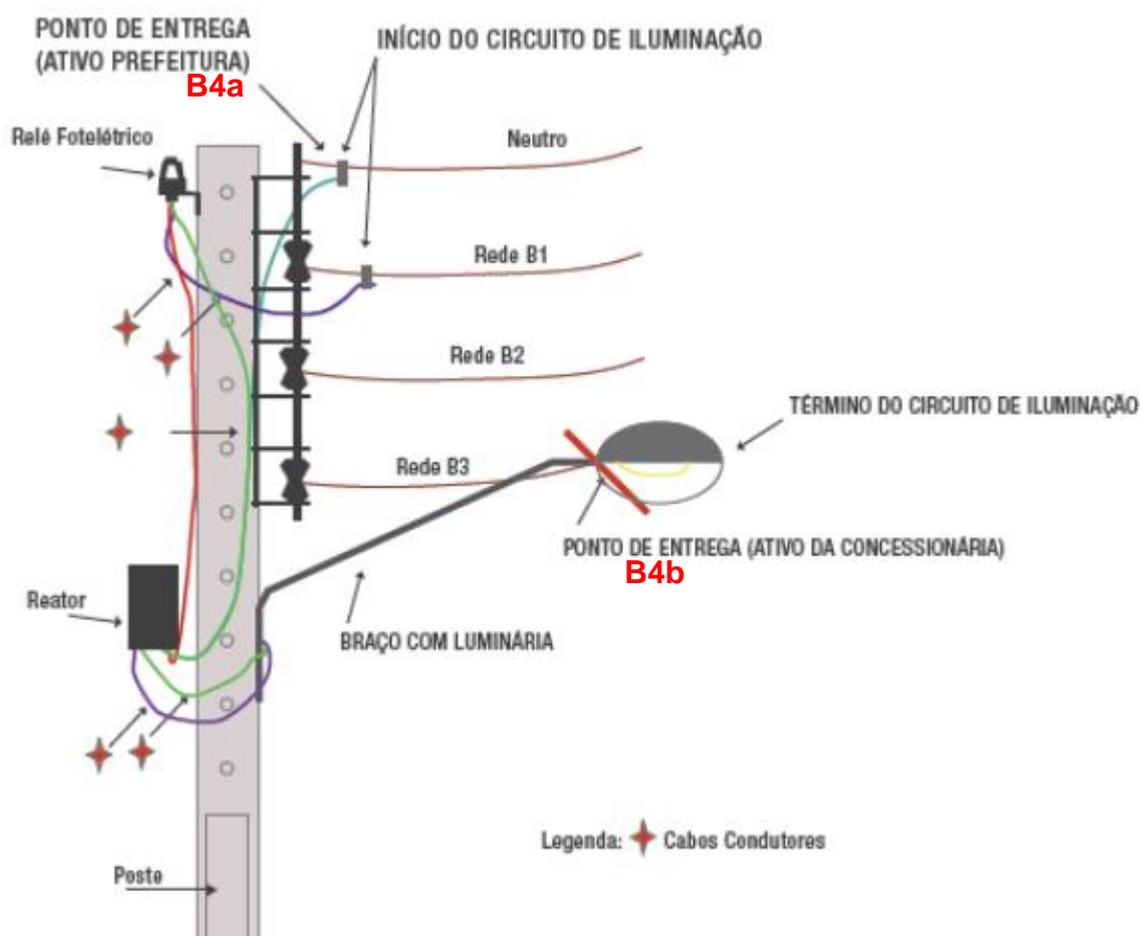
2.2 Estrutura da Iluminação Pública

O sistema de iluminação que utiliza a alimentação em baixa tensão, é de vigência do município desde o ponto de entrega de energia a partir do ponto de conexão do braço da luminária com a rede de energia elétrica ou no bulbo da lâmpada (SANTANA,2010).

A Figura a seguir apresenta a configuração mais utilizada no Brasil, ou seja, da rede em baixa tensão, alimentada a partir da rede secundária da concessionária:

A seguir será descrito com detalhes os equipamentos utilizados, como as lâmpadas, reatores, braço extensor, relé fotoelétrico, e luminárias. Somente estes serão abordados devido ao intuito do trabalho, que posteriormente serão substituídos procurando uma melhor configuração.

Figura 15- Configuração da rede de baixa tensão de iluminação pública no Brasil.



Fonte: (Confederação Nacional dos Municípios,2015).

O circuito de IP inicia-se no ponto de conexão com a rede de distribuição de energia elétrica da concessionária (distribuidora). Quando esse ativo é de responsabilidade da distribuidora, o ponto de entrega está situado no bulbo da lâmpada, e, nesse caso, é aplicada a tarifa B4b sobre o consumo total de energia elétrica do sistema de IP. No entanto, se o ativo

de IP pertence à prefeitura, o ponto de entrega é na conexão com a rede de distribuição, coincidindo com o início do circuito de iluminação, e sobre o consumo total será aplicada a tarifa B4a.

2.2.1 Lâmpadas

As lâmpadas que atualmente existem no mercado para comércio, podem ser divididas basicamente pelo seu método de funcionamento, ou seja, seu método de produzir a luz. Em geral as lâmpadas comerciais utilizadas para iluminação são caracterizadas por:

- Potência Absorvida (W);
- Fluxo Luminoso Produzido (Lúmen);
- Temperatura de cor (K);
- Índice de Reprodução de cores ou IRC.

As lâmpadas com filamento convencional ou halógenas produzem luz pela incandescência que é o processo de emissão de radiação eletromagnética por um corpo sob alta temperatura, assim como o sol.

As lâmpadas de descarga aproveitam a luminescência que nada mais é do que a emissão de luz por uma substância quando submetida a algum tipo de estímulo como luz, reação química, radiação ionizante, assim como os relâmpagos e as descargas atmosféricas.

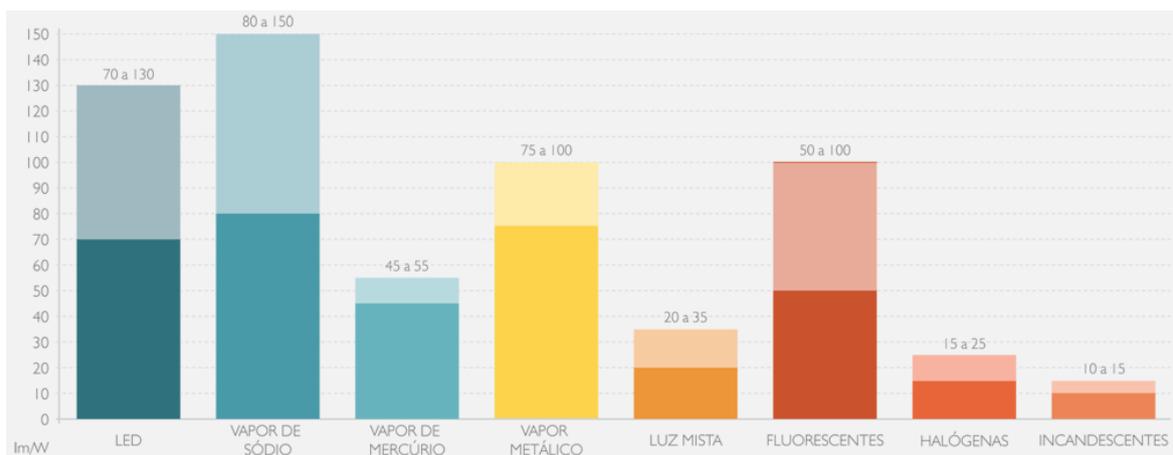
E os diodos (LED) utilizam a fotoluminescência que é a capacidade que algumas substâncias possuem de emitir luz própria por um determinado espaço de tempo, após um período de exposição à luz solar ou mesmo à luz artificial, assim como os vaga-lumes.

Existem ainda as mistas que combinam incandescência e luminescência, e as fluorescentes cuja característica é o aproveitamento da luminescência e da fotoluminescência (FREITAS,2010).

Também há a lâmpada de indução que segue o mesmo princípio das lâmpadas de descargas, com a diferença de que a descarga no gás é produzida por uma corrente induzida por um campo magnético externo (sem a existência de elétrodos) (TEIXEIRA,2005).

A seguir apresenta-se uma comparação da evolução da eficiência luminosa das lâmpadas.

Figura 16- Comparação da eficiência luminosa das lâmpadas.



Fonte:(Site EMPALUX,2015).

A Tabela 2 compara a eficiência e rendimento entre as lâmpadas empregadas na iluminação pública no Brasil.

Tabela 2- Eficiência e rendimento de vários tipos de lâmpadas.

Tipo de Lâmpada	Eficiência (lm/W)	Rendimento (%)
Incandescentes	10 a 15	1,5 a 2,3
Halógenas	15 a 25	2,2 a 3,8
Mista	20 a 35	2,9 a 5,2
Vapor de Mercúrio	45 a 55	6,6 a 8,2
Fluorescentes comuns	55 a 75	8,1 a 11,1
Fluorescentes compactas	50 a 85	7,3 a 12,5
Vapor Metálico	65 a 90	9,5 a 13,3
Fluorescente Eficiente	75 a 90	11 a 13,3
VSAP	80 a 140	11,7 a 20,6
VSBP	130 a 200	19 a 29,3
LED	70 a 208	10,2 a 30,45

Fonte:(SALES,2011).

Serão abordadas com maior ênfase as lâmpadas de descarga, que são as mais utilizadas atualmente em iluminação pública como mostrado na Tabela 3, e as lâmpadas de LEDs que estão sendo alvo de muitos estudos e estão mostrando maior eficiência para utilização em IP. Por fim será dado uma breve introdução sobre as lâmpadas indução.

Tabela 3- Lâmpadas utilizadas em Iluminação Pública no Brasil.

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

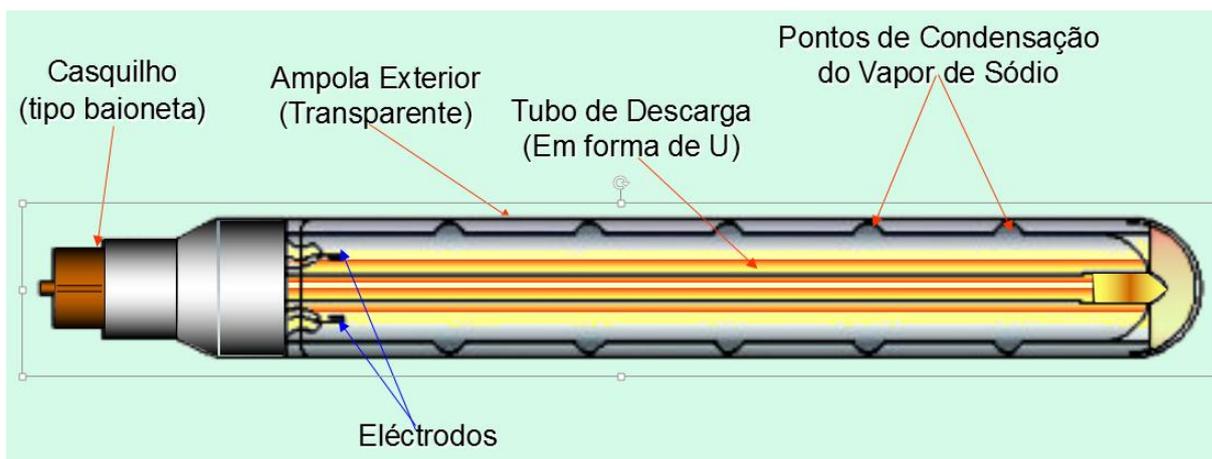
Fonte:(ELETROBRAS,2014).

Vapor de Sódio de Baixa Pressão (VSBP)

Esse tipo de lâmpada geralmente conta com uma boa vida útil e eficiência, porém têm seu ponto fraco na cor. São muito aplicadas em iluminação de ruas com pouco tráfego de pedestres, túneis e autoestradas.

Contém um tubo de descarga interno, dobrado em forma de U, que tem internamente gás neônio e 0,5 % de argônio em baixa pressão, para facilitar a partida da lâmpada, e uma certa quantidade de sódio metálico, que será vaporizado durante o funcionamento. Nas extremidades encontram-se os eletrodos recobertos com óxidos emissores de elétrons. A fim de evitar-se a variação do fluxo luminoso com a temperatura ambiente, o tubo de descarga é encerrado dentro de uma camisa externa, na qual existe vácuo.

Figura 17-Composição da lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão.



Fonte:(TIMÓTEO,2015).

Algumas características das lâmpadas de VSBP:

- Emite praticamente uma só cor (amarelo-alaranjado);
- Não permite a distinção das cores dos objetos que ilumina, baixo IRC;
- Tem uma elevada eficiência luminosa (100-200 lm/W);
- Vida útil elevada (cerca de 14.000 horas);
- Cor: 1700 ° K;
- Sensível a variação de tensão (capacitor em paralelo);
- Tem um arranque lento, demorando entre 7 a 15 minutos para atingir o funcionamento normal.

Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP)

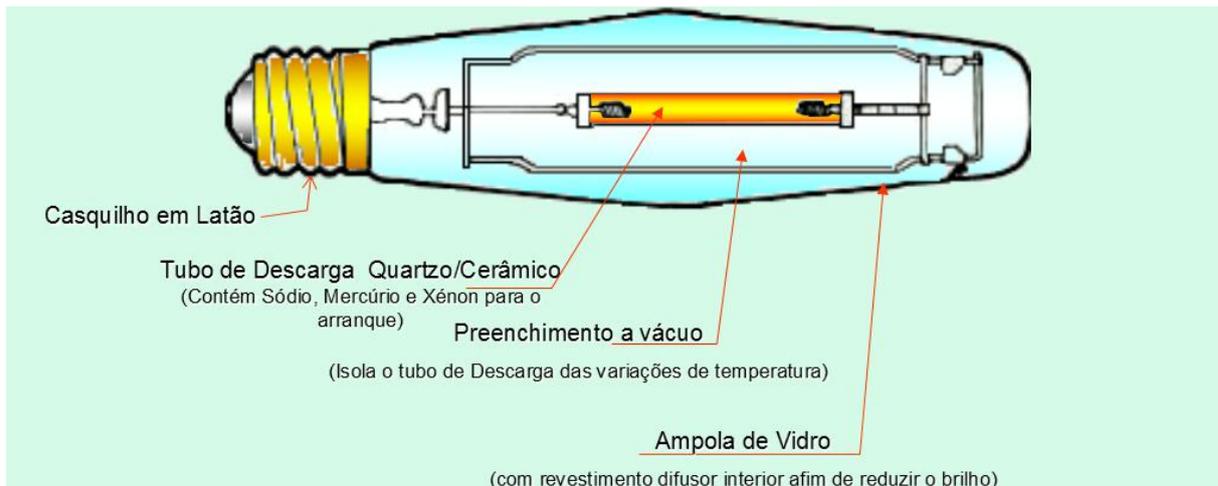
A lâmpada de VSAP ou em inglês *High Pressure Sodium* (HPS), geralmente conta com uma boa vida útil e eficiência, porém têm seu ponto fraco na cor exatamente como a VSBP. São muito aplicadas em iluminação pública com porém onde o índice de reprodução de cores não é tão importante.

É constituída de um tubo de um tubo de descarga cilíndrico e translúcido, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura mecânica, sob vácuo, no interior em um bulbo de vidro borossilicado, com formato tubular ou elipsoidal.

Algumas características das lâmpadas de VSAP:

- Cor mais agradável que as de baixa pressão e maior rendimento que as de mercúrio;

Figura 18-Composição da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.



Fonte:(TIMÓTEO,2015).

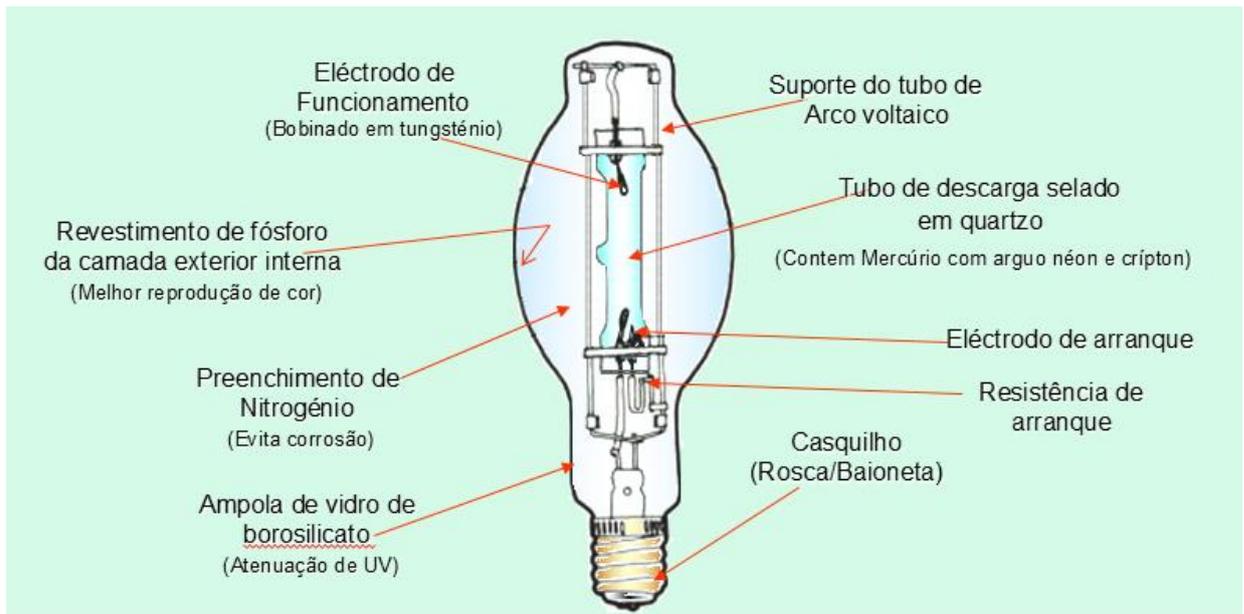
- Não permite a distinção das cores dos objetos que ilumina, baixo IRC cerca de 20;
- Elevado Rendimento luminoso (50-150 lm/W);
- Vida útil cerca de 16000 hrs;
- Perda de fluxo em 15%;
- Temperatura de cor 2000-2500 ° K;
- Acendimento em torno de 5-6 minutos;
- A vida útil é muito afeta pela variação de tensão da rede;
- Tensão de acendimento da ordem de 2-5 KV que o reator proporciona.

Vapor de Mercúrio de Alta Pressão (VMAP)

A lâmpada de VMAP ou em inglês *High Pressure Mercury* (HPM), geralmente conta com uma excelente vida útil e cor, porém deixa a desejar na eficiência. Utilizadas geralmente em IP, estádios, fábricas, etc.

É constituída de um tubo transparente, de dimensões reduzidas inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de “ fósforo” para correção do índice de reprodução de cores. Uma pequena quantidade do metal mercúrio, no estado líquido, é colocada numa cápsula de vidro (tudo de descarga) com gás Árgon no seu interior. O Árgon serve para ativar o arco voltaico que é formado entre eletrodos colocados nas extremidades da cápsula.

Figura 19-Composição da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão.



Fonte:(TIMÓTEO,2015).

Algumas características das lâmpadas de VSAP:

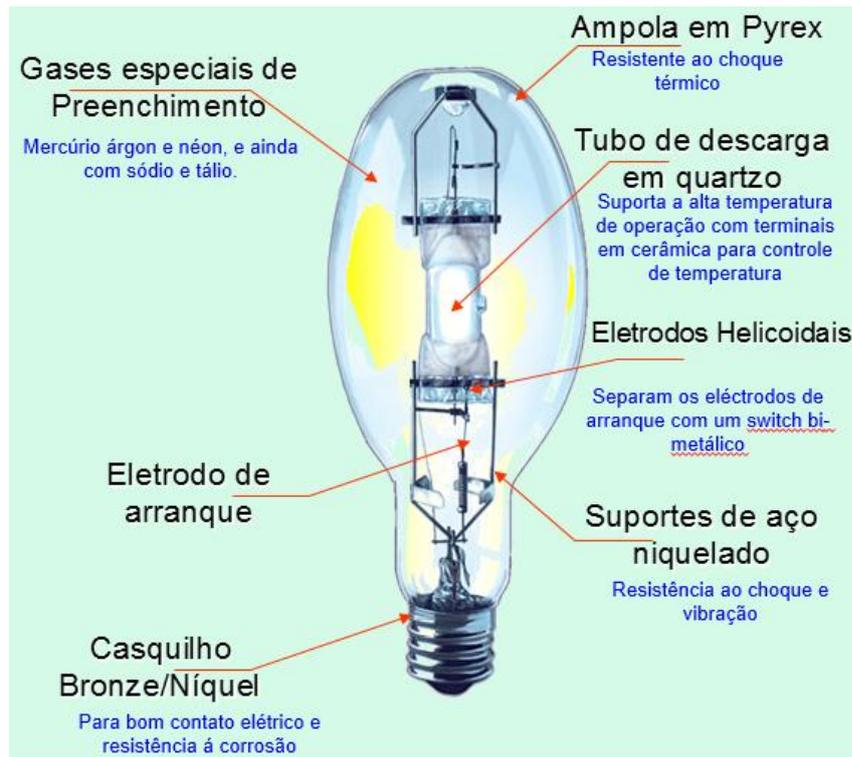
- Cor Branca Azulada após a conversão da luz ultravioleta pelo revestimento de fósforo;
- Melhoramento do IRC 15-55;
- Eficiência varia de 40 a 60 lm/W;
- Vida útil por volta de 8000 horas;
- Temperatura de cor vai de 3500°K até 6000° K;
- Acendimento por volta de 4-5 minutos;
- Após apaga a lâmpada não acende instantaneamente, devido ao aquecimento do mercúrio, ou seja, precisa ser resfriado.

Multivapores Metálicos (Vapor Metálico)

A lâmpada de vapor metálico (VM) ou em inglês *High Pressure Metal Halide* (HPMH), geralmente conta com uma boa vida útil, cor e eficiência. Utilizadas geralmente em iluminação de interiores ou para iluminação de monumentos ou outdoors.

É construtivamente semelhante à lâmpada de mercúrio de alta pressão, ou seja, utiliza um tubo de descarga de sílica fundida inserida no interior de um bulbo de quartzo transparente. Os modelos mais comuns são os de lapiseira.

Figura 20-Composição da lâmpada de vapor metálico.



Fonte: (TIMÓTEO,2015).

Algumas características das lâmpadas de VM:

- Emitem luz branca, são mais eficientes que a vapor de mercúrio e têm maior variedade de tonalidade;
- Possuem IRC em torno de 75 a 96 %;
- Possuem eficiência em torno de 100 lm/W;
- Vida Útil: 6.000 a 20.000 horas;
- Temperatura de cor de 3000- 6000° K;
- Acendimento: 5 minutos;
- São caras devido a sua complexa fabricação.

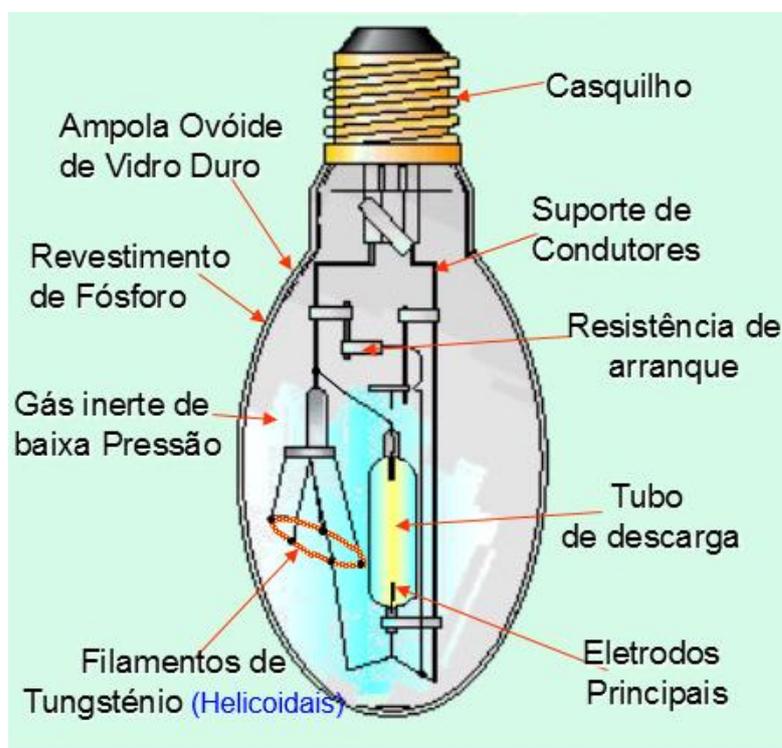
Mista

A lâmpada mista como seu nome já diz é uma combinação de uma lâmpada vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, geralmente conta com uma boa ou média vida útil e cor. Porém tem seu ponto fraco na eficiência que geralmente não é das melhores.

É constituída de um filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente, incorporado na ampola e ligado em série com o tubo de descarga, ou seja, consiste em uma ampola cheia

de gás revestida na parede interna por uma camada fluorescente, contendo um tubo de descarga em série com um filamento, como dito anteriormente.

Figura 21-Composição da lâmpada de Mista.



Fonte:(TIMÓTEO,2015).

Algumas características das lâmpadas de VM:

- A combinação de radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca;
- Possui IRC 61 a 63;
- Uma eficiência de 20 a 60 lm/W;
- Em média 6.000 horas;
- Temperatura de cor de 3600°K;

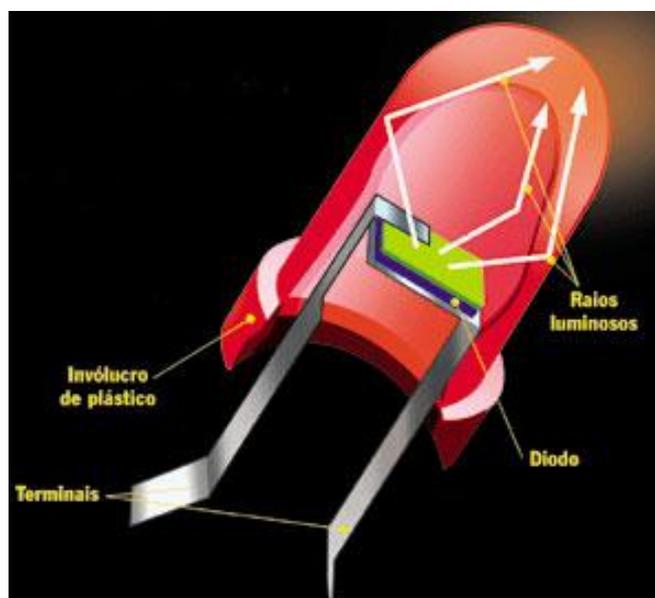
LED

Os diodos emissores de luz, conhecidos como LEDs por sua nomenclatura em inglês (*Light Emitting Diode*), foram inicialmente usados como luz de sinalização em aparelhos eletrônicos, pois não tinham fluxo luminoso suficiente para iluminar ambientes (GOEKING, 2009).

São compostos por diodos semicondutores que convertem eletricidade em luz visível. Quando formados por materiais de silício e germânio uma pequena parte só se torna luz,

sendo que a maior parte da energia é convertida em calor. Por isso, precisamos acoplar um dissipador de calor para diminuir a alta temperatura que pode danificar o equipamento. Já os compostos por arseneto de gálio ou fosfereto de gálio são capazes de emitir ainda mais luz.

Figura 22- Composição de um LED (Diodo emissor de luz).



Fonte: (Imagem internet).

Os LEDs possibilitam uma distribuição uniforme e constante, que em comparação com as lâmpadas convencionais é muito superior em conforto visual, tanto para áreas internas, como para área externas. A desvantagem do LED ainda é o alto custo, enquanto uma lâmpada incandescente custa em torno de R\$ 1,50, uma fluorescente R\$ 12,00, uma lâmpada LED está por volta de R\$ 30,00. Porém o investimento em consumo vale a pena em longo prazo, que terá ser investimento de volta em torno de cinco anos.

Algumas características das lâmpadas LED:

- Várias cores cerca de 16 mil nuances diferentes;
- Geralmente IRC acima de 80, mas há no mercado LEDs com IRC superiores a 93, obviamente sendo muito mais caros;
- Alta eficiência luminosa 70-130 lm/W;
- Vida útil: 70 mil horas;
- As temperaturas de cor variam de 2.700 à 6.500 ° K;
- Arranque rápido.

Indução

A lâmpada de indução eletromagnética apresenta uma inovação fundamental para o próprio conceito de sistemas de iluminação. É muito utilizada para locais onde a substituição das lâmpadas é difícil e de alto custo, como em iluminação de túneis.

A lâmpada de indução introduz um conceito parcialmente novo na geração de luz. Baseada no princípio de descarga em gás a baixa pressão, a principal característica desta lâmpada é o fato de não necessitar de eletrodos para originar a ionização do gás.

Existem basicamente dois tipos de lâmpadas de indução: Núcleo interno e núcleo externo.

-Lâmpadas fluorescente com núcleos externos:

- Não necessita de eletrodos para a descarga;
- A forma de anel fechado de vidro permite a descarga a partir de energia fornecida por campos exteriores;
- O campo é produzido por dois anéis de ferrite;

As principais vantagens desta lâmpada são:

- Vida útil: 60.000 horas;
- Potência luminosa de 100 a 150 W;
- Eficiência luminosa até 80 lm/W;
- Luz confortáveis e sem oscilações;
- Arranque rápido.

- Lâmpada Fluorescente sem eletrodos com núcleo interno:

- Recipiente de descarga que contém gás a baixa pressão;
- Cilindro de ferrite, que cria o campo magnético induzindo corrente no gás provocando a ionização;

As principais vantagens desta lâmpada são:

- Vida útil elevada: 60.000 horas;
- Potências de lâmpadas: 55,65 e 165 W;
- Fluxo luminoso entre 65 e 81 lm/W;
- Acendimento instantâneo;
- Luz agradável.

2.2.2 Reatores

Tem por finalidade provocar um acréscimo de tensão durante ignição e um decréscimo no valor da corrente, durante o funcionamento da lâmpada. Podem se apresentar de duas formas: reatores eletromagnéticos ou reatores eletrônicos (RODRIGUES,2002).

Eletromagnético

São os mais utilizados em instalações de iluminação pública. São compostos de núcleo de ferro, bobinas de cobre e para a correção do fator de potência utilizam capacitores. Devido as suas perdas elétricas, emissão de ruído audível, efeito flicker e carga térmica elevada não são mais vistos bem pelos projetistas que pretendem uma eficiência na sua instalação.

São constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltados ou alumínio. Geralmente são impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica (PHILIPS,2007).

Eletrônico

São os mais procurados por projetistas e profissionais que procuram uma eficiência no uso da energia. Trabalham em uma frequência bem elevada 20 a 50 kHz, e está faixa de operação sendo bem projetada proporciona mais fluxo luminoso com menor potência isso torna eles mais eficientes que os eletromagnéticos.

São constituídos por capacitores e indutores para alta frequência, resistores, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos.

Figura 23- Reator eletrônico Philips.



Fonte: (Philips,2015).

2.2.3 Luminária

As luminárias são muito importantes para qualquer sistema de iluminação, pois eles contribuem diretamente para a distribuição correta da luz local da instalação e o conforto visual dos observadores.

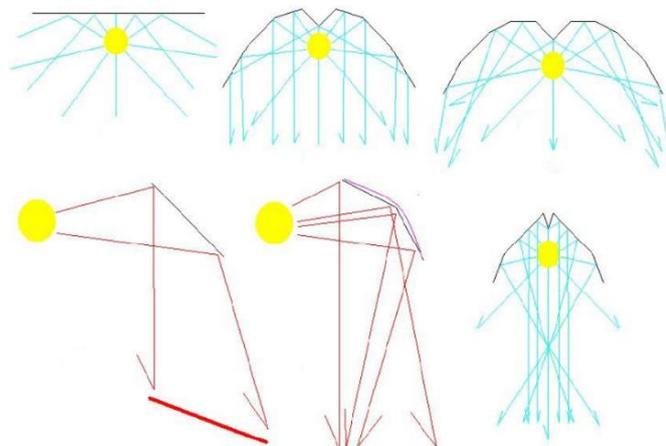
Temos alguns requisitos para uma boa luminária (LUMINOTÉCNICA BÁSICA,2013):

- Proporcionar suporte e conexão elétrica das lâmpadas;
- Controlar e distribuir a luz;
- Ter um bom rendimento;
- Manter a temperatura de operação da lâmpada dentro dos limites estabelecidos;
- Facilitar a instalação e a conservação;
- Ser esteticamente agradável;
- Evitar o desconforto luminoso (ofuscamento);

O rendimento de uma luminária é a divisão entre o fluxo luminoso irradiado pela luminária e o fluxo luminoso total da lâmpada. Caso a luminária tenha uma reflexão ruim, boa parte da luminosidade gerada pela lâmpada não será transmitida para o ambiente (baixo rendimento luminoso), já se a luminária tiver uma boa reflexão, ou seja, um bom refletor, a maioria ou todo o fluxo luminoso produzido pela lâmpada será transmitida para o ambiente, assim sendo uma luminária de alto rendimento luminoso.

A luminária pode modificar, controlar, distribuir e filtrar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, desviá-lo para certas direções (refletores) ou reduzir a quantidade de luz em certas direções para diminuir o ofuscamento (difusores) (RODRIGUES,2002).

Figura 24- Refletores e distribuição luminosa.



Fonte: (LUM. BÁSICA,2013).

A Tabela 3 apresenta a classificação proposta pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) de luminárias, de acordo com o direcionamento do fluxo luminoso total para cima ou para baixo de um plano horizontal de referência.

2.2.1 Controle Fotoelétrico

O relé fotoelétrico verifica a luminosidade do local e faz o acionamento da IP. Pelas características de operação há dois tipos chamados de NA e NF O relé NF mantém os contatos fechados na ausência de luz enquanto que, o NA, mantém os contatos abertos (ELETROBRÁS,2002).

Tabela 4- Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal. Fonte: (CIE,2003).

Classificação das luminárias	Para o teto	Para o plano de trabalho
Direta	0-10	90-100
Semidireta	10-40	60-90
Indireta	90-100	0-10
Semi-indireta	60-90	10-40
Difusa	40-60	60-40

2.3 Resolução 414-2010

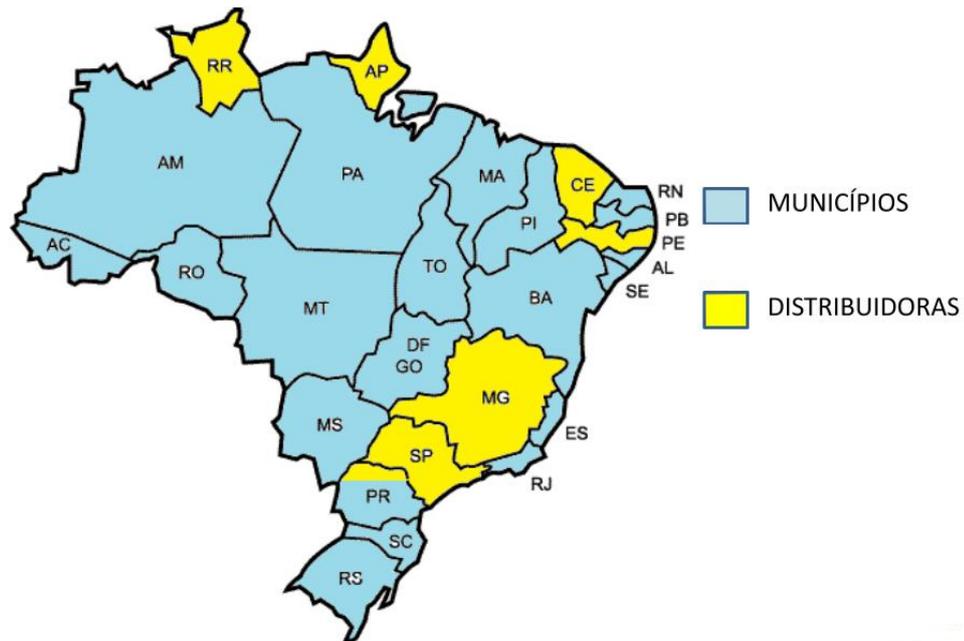
Conforme a Resolução n°.414 ANEEL (2010, p.5), Art.2°, Inciso XXXIX, a iluminação pública é definida como sendo o “ serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual”.

2.4 Concessão da Iluminação pública

Reza a constituição federal, Art. 30, Inciso V, “compete aos municípios: organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial; ”

Portanto e de responsabilidade do município a iluminação pública, desde, a manutenção até a instalação de novos pontos. Porém a distribuidora de cada região pode prestar esse serviço mediante contrato específico. Atualmente a concessão da IP nos estados está disposto conforme ilustra a Figura 25.

Figura 25- Distribuição das concessões no Brasil por estados.



Fonte:(ANEEL,2013).

2.4.1 Tarifação na Iluminação Pública

A resolução n°. 456 (ANEEL,2000) define as tarifas aplicáveis aos fornecimentos de energia elétrica para iluminação pública, de acordo com a localização do ponto de entrega, a saber:

Tarifa B4a: aplicável quando o poder Público for proprietário do sistema de iluminação pública, e realiza os serviços de operação e manutenção. Portanto, esta é a tarifa de menor valor, e neste caso, o ponto de entrega é a conexão da rede de distribuição;

Tarifa B4b: aplicável quando o sistema de iluminação pública for de propriedade da concessionária. A concessionária é quem realiza os serviços de operação e manutenção, e por este motivo, é a tarifa de maior valor. O ponto de entrega é no bulbo da lâmpada.

A resolução ainda determina que o tempo a ser considerado para o consumo diário deve ser de onze horas e cinquenta e dois minutos, ressalvando o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente.

2.5 Geração Distribuída Aplicada em IP

Geração Distribuída (GD), de acordo com o Instituto Nacional de Energia Elétrica (INEE), é um termo usado para nomear a geração de energia elétrica realizada perto da carga ou perto dos consumidores finais, independente da potência, tecnologia e fonte de energia.

Tem-se vantagem em relação a geração central pois tem economia em transmissão até a carga e diminui perdas nos sistemas, melhorando a confiabilidade e estabilidade do sistema.

De acordo com (KREITH & GOSWAMI,2007), a GD pode ser definida como uma geração de energia elétrica conectada ao sistema de distribuição ou à rede do consumidor. No Brasil é adotada uma classificação por porte (grande geração ou agrupamento de média ou pequena geração). As unidades de grande porte estão associadas à geração centralizada que assegura Fatores de Capacidade elevados. Já a geração distribuída de pequeno porte está associada a realidade de geração distribuída, mais vinculada ao setor residencial, rural e comercial.

Diversas fontes e tecnologias de energia podem ser tomadas no contexto de geração distribuída, sendo elas renováveis ou não.

- Renováveis: Solar fotovoltaica, hidráulica, eólica e biomassa;
- Não renováveis: Microturbinas e moto geradores a gás natural, motores a diesel;

Ainda em âmbito nacional com objetivo de reduzir a barreira de geração distribuída de pequeno porte a ANEEL através da resolução nº 482/2012 estabelece regras, para micro geração e mini geração. E também produz um sistema de compensação de energia, que concede ao consumidor colocar geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. Porém somente são válidas para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada (ANEEL,2014).

Neste trabalho será focado a geração por sistemas solares fotovoltaicos, por serem os mais utilizados para implementação em iluminação pública, a Tabela 5 mostra a estimativa decenal de crescimento de pontos de GD com sistemas fotovoltaicos.

2.5.1 Energia Solar

A energia elétrica é um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento das populações. Apesar dos avanços tecnológicos, cerca de 1,3 bilhões de pessoas no mundo ainda vivem sem acesso aos benefícios da energia elétrica. (ANEEL, 2008).

Tabela 5- Estimativa de energia gerada oriunda de instalações de GD no horizonte decenal (GWh).

	2014	2018	2023
Fotovoltaica (instalações)	37	149	877
Total	53.208	71.974	90.580

Fonte:(EPE,2014).

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética. Havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.) (CRESESB, 2006).

A região brasileira menos ensolarada, tem 40% mais radiação do que o local mais ensolarado da Alemanha, sendo a Alemanha um dos maiores produtores de energia solar fotovoltaica no mundo (FINDER, 2011).

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo. Consequência do movimento de rotação e translação da Terra. Assim, a Terra recebe um diferente grau de intensidade de radiação a cada dia.

2.5.2 Energia Solar Fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desses processos de conversão.

2.5.2.1 Células Fotovoltaicas

O princípio de funcionamento das células fotovoltaicas é idêntico ao funcionamento das junções p-n de um diodo. Estas células têm a capacidade de transformar a energia contida em um fóton em tensão e corrente elétrica.

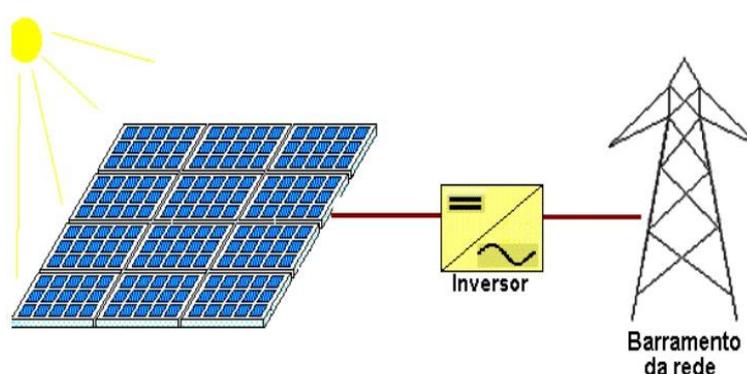
As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: Silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, pode ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível.

A potência, em kW, produzida nos terminais do painel solar pode ser calculada, em função do tempo, pela expressão $Pg(t) = \eta \times A \times Rs(t)$, em que η é o rendimento total do sistema (10 a 20%), A é a área do painel solar em m^2 e $Rs(t)$, a radiação solar incidente, em função do tempo.

2.5.3 Sistemas Conectados à rede

Esses sistemas não utilizam baterias para acumular a energia, porque a energia que é produzida é consumida diretamente pela carga, ou pode ser enviada para a rede de distribuição da concessionária, para ser retomada em outra ocasião. Essa energia gerada representa um complemento ao sistema elétrico de grande porte (CRESESB,2006).

Figura 26- Sistema conectado à rede.



Fonte: (CRESESB,2006).

Como os sistemas conectados na rede não apresentam baterias e nem controladores de carga, são 30% mais eficientes que os convencionais e também garante que a energia possa ser utilizada em outros pontos da rede (SANTOS & PEREIRA, 2013).

A Tabela 6 mostra algumas vantagens e desvantagens dos sistemas conectados na rede.

Tabela 6- vantagens e desvantagens da conexão à rede.

Vantagens	Desvantagens
Produção de energia junto à carga, diminuindo as perdas de transmissão	Investimento imediato para implementar o sistema
Possível “crédito” de energia com a concessionária	Compatibilizar o sistema com o da concessionária local

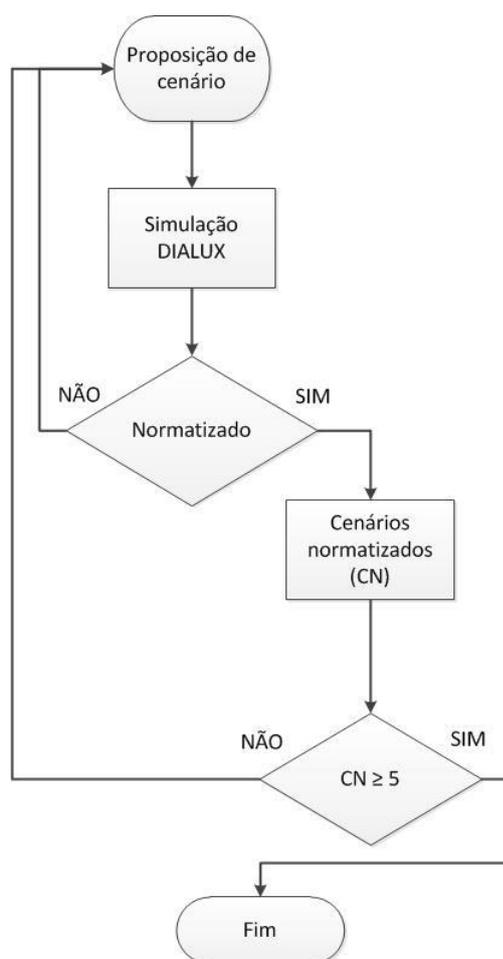
3 METODOLOGIA

Primeiramente para a realização deste trabalho foi feita revisão sobre iluminação pública como: As normas vigentes para iluminação com o intuito de classificação, medição e normatização da via de estudo e trabalhos executados sobre eficiência energética em iluminação pública são: No Brasil NBR 5101 (2012) e na maioria dos países da Europa, excetos os países que tem sua própria norma, a EN 13201 (2003), após o estudo das mesmas, pode-se classificar e ver os requisitos mínimos exigidos para cada norma.

Afim de analisar a normatização da via, faz-se necessário estruturar a malha de medição para obtenção dos dados e avaliação dos requisitos exigidos pelas normas.

O fluxograma abaixo explica os passos que serão seguidos após a escolha do caso real normatizado, ou seja, depois de proposto o caso que irá normatizar a via.

Figura 27- Fluxograma dos passos a seguir para obtenção dos resultados.



Fonte: Própria.

3.1 Malha de medição

Segundo a norma brasileira NBR 5101, há três tipos de malha de medição: Malha para verificação detalhada, malha de medição devido ao número de rolamentos e malha de referência. Abaixo são abordados os três tipos:

1. Malha para verificação detalhada:

Os pontos de grade devem ser a intersecção das linhas transversais e longitudinais à pista e as calçadas, sendo:

- a) Uma linha transversal alinhada com cada luminária;
- b) Uma linha transversal no ponto médio entre as duas luminárias;
- c) Uma linha longitudinal no eixo de cada faixa;
- d) Uma linha longitudinal no eixo de cada calçada;

Os espaçamentos entre os pontos da malha são definidos como a seguir:

- a) Espaçamento longitudinal segundo a equação 12, que significa o espaçamento entre postes.

$$S_{gr} = \frac{S}{16} \quad (12)$$

S – Espaçamento entre postes;

S_{gr} – Espaçamentos longitudinais.

Obs.: Os pontos extremos de cada fileira pertencem às linhas transversais que passam pelas luminárias do vão.

- b) Espaçamentos transversais segundo a equação 13.

$$S_{gt} = 0,2 * F_r \quad (13)$$

S_{gt} - Espaçamentos transversais;

F_r - Largura da faixa de rolamento.

Obs.: Os pontos extremos de cada coluna de postes estão afastados de uma distância igual a equação 14, em relação as linhas longitudinais do meio-fio (linhas das calçadas);

$$S_c = 0,1 * F_r \quad (14)$$

2. Malha de Medição devido ao número de rolamentos

O quadro abaixo indica a quantidade de pontos das malhas de cálculo e de medição em função do número de faixas do rolamento da via.

Tabela 7- Quantidade de pontos medidos e cálculos referente a faixa de rolamento.

Número de faixas de rolamentos	Quantidade de pontos de grade de cálculo	Quantidade de pontos de grade de medição
1	17*5=85	15
2	17*10=170	30
3	17*15=255	45
4	17*20=340	60
5	17*25=425	75

Fonte:(NBR5101,2012).

3. Malha de Referência

Devido ao grande número de prestadoras de serviço de iluminação pública, definem-se as chamadas malhas de referência como representa a Tabela abaixo.

Tabela 8- Configuração da grade de referência de acordo com a classe de iluminação da via.

Classe de iluminação da via (m)	Vão médio (m)	Altura de montagem (m)	Número de faixas de trânsito da via	Largura por faixa de via (m)	Largura total da via calha (m)	Avanço (m)	Número Pontos Projeto	Número de Pontos Medição
V5	35	7	3	2,7	8,10	1,5	72	24
V4	35	8	3	3	9	1,5	72	24
V3	35	8	3	3	9	1,5	72	24
V2	35	9	4	2,7	10,8	2,5	96	32
V1	40	10	4	3	12	3	96	32

Fonte:(NBR 5101,2012).

O método utilizado foi o da malha de medição com detalhamento, que é o primeiro método explicado anteriormente. No próximo capítulo será apresentado os resultados a partir das equações da malha detalhada e também irá obter-se os requisitos para avaliar se a via está normatizada.

3.2 Software Dialux™

Após a obtenção dos resultados da malha de medição, foi preciso a escolha de um software para simulações de possíveis propostas de cenários para normatizar a via.

Atualmente existem vários softwares para simulações e projetos de iluminação. Eles são importantes pois possibilitam simular as condições reais da instalação, projetar uma iluminação eficiente através de cálculos, etc. Entre eles existem os gratuitos: Dialux, Relux, Radiance. E os comerciais e pagos como AGI32, Lumen micro design, Rayfront. Porém um dos softwares mais utilizados e escolhido foi o Dialux™.

Ainda quando as empresas não disponibilizam os arquivos de fotometria das luminárias, é possível importa-los para software, e o último recurso a ser considerado é utilizar aparelhos de fotometria para obter as características fotométricas da luminária e inserir os arquivos IES (arquivos com os dados luminotécnicos da luminária) no Dialux.

Uma das vantagens em utilizar o software em relação aos métodos tradicionais de cálculo, os quais são feitos manualmente e no papel, é a possibilidade do projetista compreender o comportamento da luz artificial e natural do local de estudo. Ainda o Dialux™, conta com uma interface fácil e interativa com o usuário, tendo como possibilidades a importação de arquivos CAD em DWG, visualizar o resultado em imagens e vídeos e conta ainda com diversos recursos. Por último mas não menos importante vem as várias formas de exportar os resultados. Tem-se a possibilidade de gerar curvas isográficas, níveis cinzentos, gráficos e até um PDF completo com todos os resultados.

3.3 Análise econômica

Toda a análise econômica é feita segundo o guia técnico PROCEL/RELUZ (2005). Que diz que todos os projetos dos sistemas de iluminação pública apresentados, terão que trazer benefícios aceitáveis de redução de demanda e de economia de energia elétrica. E para financiamento serão recomendados como aceitos ao financiamento, os projetos que forem viáveis economicamente, ou seja, relação Benefício/Custo ($R-B/C > 1$), ou obviamente também a Relação Custo/Benefício ($R-C/B < 1$), acordando com a metodologia utilizada pelo guia técnico.

3.3.1 Cálculo da Relação Custo/Benefício

Na relação custo benefício do projeto é levado em conta alguns fatores:

- Como custo: O investimento total anualizado levando em conta a vida útil dos equipamentos utilizados;
- Como benefício: A redução de demanda do novo projeto e a energia economizada anualmente.

Portanto a equação 15 mostra claramente essa diferenciação entre o custo e benefício, levando em conta os parâmetros acima citados.

$$RCB = \frac{K}{(EE * CMEG) + (RD * CMETD)} \quad (15)$$

Onde: K = Investimento total anualizado.

EE = Energia economizada (MWh/ano);

$CMEG$ = Custo marginal de expansão de geração corrigido para BT (R\$/MWh);

RD = Redução de demanda (kW);

$CMETD$ = Custo marginal de expansão da Trans. E Distri. Corrigido para BT (R\$/KW.ano).

➤ Cálculo da Redução de Demanda

A redução de demanda é obtida da equação 16:

$$RD = PTE - PTP \quad (16)$$

Onde: PTE - Potência total instalada no sistema existente (kW);

PTP - Potência total proposta (kW).

➤ Cálculo da Energia Economizada

A energia economizada (MWh) anualmente é dada pela equação 17:

$$EE = \frac{RD * 4380}{1000} \quad (17)$$

Onde, 4380 = Devido ao número de horas de funcionamento da iluminação pública no ano, como tem fator de carga de 50%.

➤ Cálculo do investimento total anualizado

O investimento anualizado do projeto será composto pelo somatório dos investimentos anualizados por cada equipamento levando em conta sua vida útil, como mostra a equação abaixo:

$$CA = \sum FRC * CE \quad (18)$$

Onde, FRC= Fator de recuperação de capital

$$FRC = \frac{i x (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (19)$$

Onde: n =Vida útil de cada equipamento em anos.

CA = Custo Total Anualizado dos Equipamentos

i = Taxa de desconto :12% a.a..

CP= Custo de cada equipamento.

3.4 Geração distribuída fotovoltaica

Tendo dimensionado os requisitos energéticos de uso final, no caso, serviços de iluminação pública de forma eficiente e enquadrável na normativa, nacional, parte-se para a seleção do possível recurso energético renovável que melhor se adapta ao contexto. No caso da iluminação pública dispõe-se em função da característica física e técnica do serviço de utilização dos recursos solares fotovoltaicos.

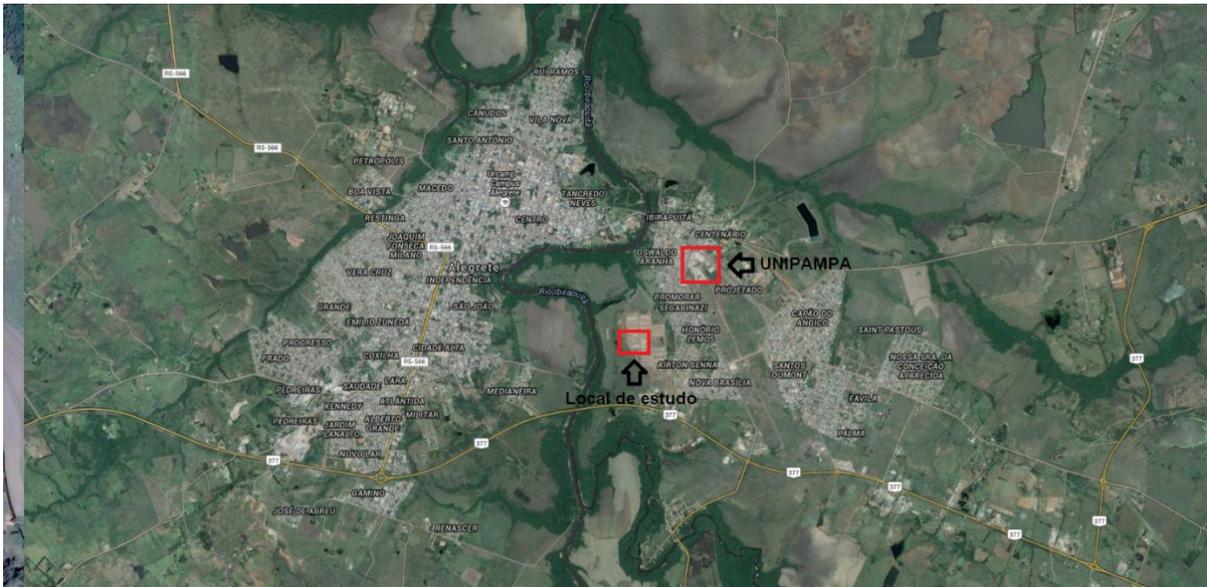
Pode-se abordar de duas formas a utilização da Geração Distribuída em sistemas de iluminação pública: Pontos de iluminação totalmente autônomos ou conjuntos de cargas de iluminação com o suporte concentrado de geração distribuída. No primeiro caso, ter-se-á que prever bancos de baterias em cada ponto de IP para garantir a estocagem da produção diária. No segundo caso, faz-se uso da Rede Elétrica para estocagem da energia durante o dia e seu consumo nos horários noturnos.

Em ambas as situações a definição da melhor alternativa depende fundamentalmente da análise econômica do projeto, assim como da disponibilidade e domínio tecnológico da mesma.

4 ESTUDO DE CASO

A via escolhida foi na cidade de Alegrete-RS, no loteamento Nilo Soares-bairro Airton Senna 2, rua índio Anguerá. Situada nas coordenadas 29°47'54.60”S 55°46'36.19”O. Abaixo tem-se a ilustração do local.

Figura 28-Mapa do município de Alegrete UNIPAMPA.



Fonte: (Google Earth,2015).



Fonte: (Google Earth,2015).

Escolheu-se está via por ser relativamente nova, portanto qualquer informação necessária seria de fácil acesso, como por exemplo: Plantas civis, desenhos em DWG, informação dos equipamentos. E também porque todas as vias do bairro são muito semelhantes ou iguais, assim para qualquer estudo de maior abordagem, ou seja, qualquer estudo que leve em conta todo o bairro com seus pontos de iluminação pública, torna o estudo mais simplório.

4.1 Classificação da via

4.1.1 ABNT NBR 5101 (2012)

A norma brasileira NBR 5101 (2012) IP que rege a iluminação pública no Brasil, ou seja, normatiza, fixa requisitos, considerados como mínimos necessários à iluminação de vias públicas, os quais são destinados a proporcionar nível de segurança aos tráfegos de pedestres e veículos.

Segundo a norma a via de estudo, está classificada como via local, onde permite acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno tráfego de veículos. Caracterizada por interseções em nível sem semáforos, destinada apenas a acesso local, com velocidades máximas de 30 km/h.

De acordo com as Tabelas 1 e 2 da norma, local de estudo é de classificação leve (L) quanto ao tráfego de veículos e leve (L) em relação ao tráfego de pedestres.

As classificações de iluminação estão divididas em classes, de V1 a V5 para veículos e P1 a P4 para pedestres. Para veículos e pedestres, tomando base as Tabelas 4 e 6 da norma, a via de estudo está classificada como:

- V5- Via local, vias de acessos residenciais, com tráfego leve de veículos;
- P4- Via de pouco uso por pedestres como vias de bairros residenciais;

4.1.2 EN-13201 (2004) Iluminação Pública

Devido algumas restrições e uso do software Dialux™, que intercala somente entre as normas europeias, norte-americanas e alemã, foi preciso compreender a norma europeia EN 13201. A seleção da norma europeia foi pelo fato de que a norma brasileira baseia-se em parte na norma europeia.

A norma europeia divide-se em quatro partes:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados;
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos;

- EN 13201-4: Métodos de medida das performances fotométricas.

As Tabelas 1 e 2 da norma são os valores de luminância média recomendada, para vias interurbanas que tem velocidades de 70 à 130 km/h.

As Tabelas 3 e 4 da norma são os valores de iluminância média recomendada para as vias urbanas, não permitem exprimir valores de luminância significativos e com velocidade máxima de 50km/h. Portanto para nossa via trabalha-se com essas tabelas que tem-se as classes de CE0 à CE5

A Tabela 5 da norma é especificada para zonas rurais, nas quais sempre é trabalhado com valores de iluminância.

Segundo a norma a via está classificada como D2, assim tem velocidade de 5 à 30 km/h, com tráfego baixo de veículos, moderado de pedestres e baixo de ciclistas.

4.2 Requisitos mínimos

4.2.1 Requisitos segundo NBR 5101

Após a obtenção da classe de iluminação, pode-se obter os requisitos mínimos exigidos pela norma. Segundo a Tabela 5 e 7 da norma, respectivamente as Tabelas 9 e 10 deste trabalho, tem-se os valores de iluminância e uniformidade mínimos exigidos.

Tabela 9- Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima (Lux)	Fator de Uniformidade mínimo ($U=E_{min}/E_{med}$)
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte:(NBR 5101,2012).

Tabela 10- Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação).

Classe de Iluminação	Iluminância horizontal média- Emed (Lux)	Fator de Uniformidade mínimo (U=Emin/Emed)
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte:(NBR 5101,2012).

Portanto para a via de estudo, a iluminância média e o fator de uniformidade devem atender aos valores tabelados e grifados nas tabelas anteriores. Também é levado em conta uma condição específica da norma que em nenhum ponto de medição a iluminância média deve ser inferior a 1 Lux.

4.2.2 Requisitos segundo EN 13201-2004

Portanto sendo a classe de iluminação CE3 ou CE4, temos como valores mínimos consideráveis os da Tabela 11.

Tabela 11- Classe de iluminação da norma EN-13201-2.

Classe	Iluminância Horizontal	
	Iluminância média mínima- Lux	Fator de uniformidade mínimo
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Fonte:(EN 13201-2,2003).

Assim deve-se respeitar os requisitos mínimos dessa norma. Pode-se ver claramente que a norma europeia é mais exigente que a norma brasileira.

5 RESULTADOS

5.1 Cenário real

Para o cenário real foi inspecionada a norma brasileira, afim de compreender como é estruturada a malha de medição para verificação dos requisitos mínimos. Seguindo os passos do capítulo da metodologia, onde foi minuciosamente demonstrada os métodos para obtenção dos requisitos.

Foram obtidos os seguintes dados da via de estudo:

- Largura da via: 9m;
- Distância entre postes: 29m;
- Distância entre terreno e luminária:7m;

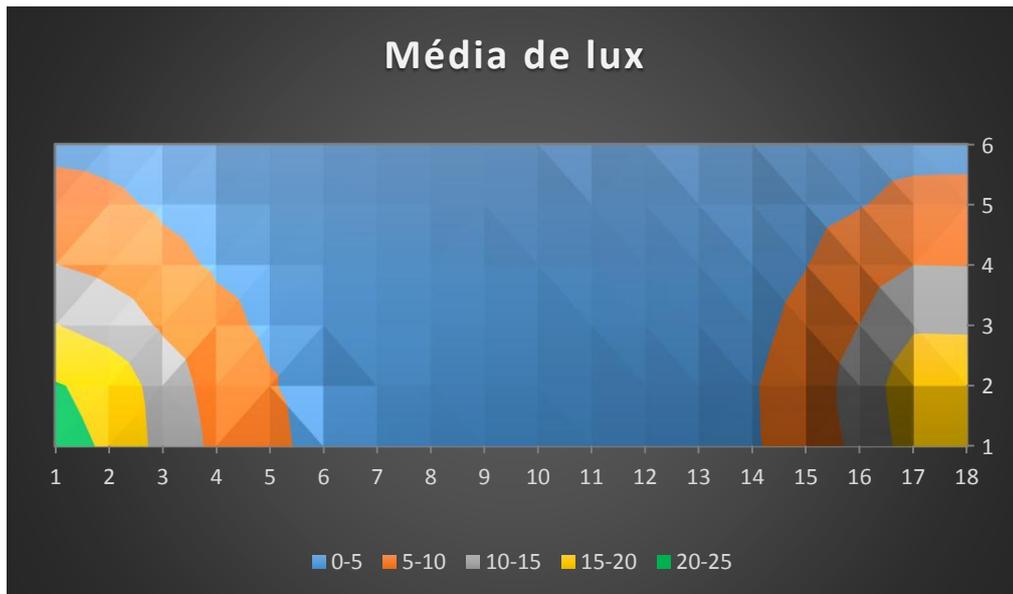
Após obter tais valores pode-se calcular o número de pontos e a localização dos pontos de medições.

Utilizando as equações 12, 13 e 14 respectivamente, foram obtidos os resultados, para espaçamentos longitudinais 1,80m, espaçamentos transversais 1,4m e distância entre primeira linha longitudinal e calçada é 0,7m.

Assim a medição de iluminância foi feita, utilizando o Luxímetro, e foram obtidos os valores de iluminância ponto por ponto, até formar completamente a malha de medição, que foi composta de 6 pontos paralelos e 18 pontos transversais. Nos Gráficos 1 e 2, observar-se claramente que os pontos de maior incidência de lux são os pontos abaixo da luminária e quando mais afastado menor o valor, até uma luminária começar a influenciar a outra, ou seja, haverá um ponto de intersecção.

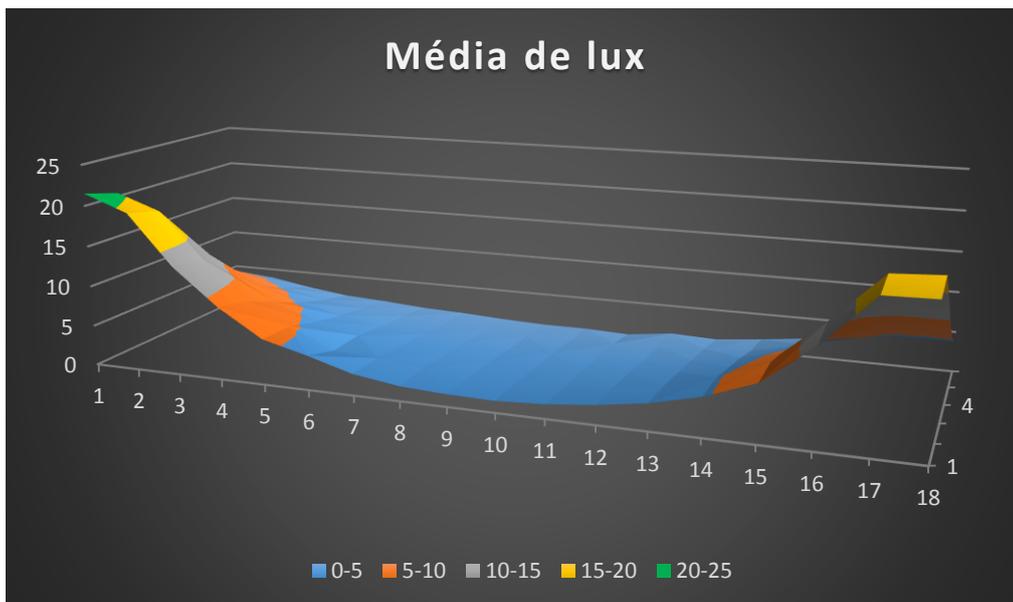
Na norma brasileira segundo a classificação P4 e V5, deve-se manter os padrões mínimos exigidos. Conforme as Tabelas 9 e 10, os valores de iluminância média para pedestres (P4), deve ser no mínimo 3 lux e para tráfego de veículos (V5) deve ser no mínimo 5 lux. Já os valores de uniformidade devem ser mantidos nos dois casos de no mínimo 0,2.

Gráfico 1- Média dos resultados de iluminância medidos no local de estudo-Planar.



Fonte: Própria.

Gráfico 2-Média dos resultados de iluminância medidos no local de estudo- 3D.



Fonte: Própria.

Para o cenário real, o valor de iluminância média foi 3,15 lux e a uniformidade aproximadamente 0,2. Portanto seguindo a norma brasileira, a via estaria parcialmente adequada para o uso de pedestres, porém a uma condição na norma, que não deve haver nenhum ponto abaixo de 1 lux, e há pontos com 0,6 e 0,8, assim contrariando a norma. Portanto a via está inadequada tanto para o uso de pedestres ou para o tráfego de veículos.

5.2 Cenário real normatizado

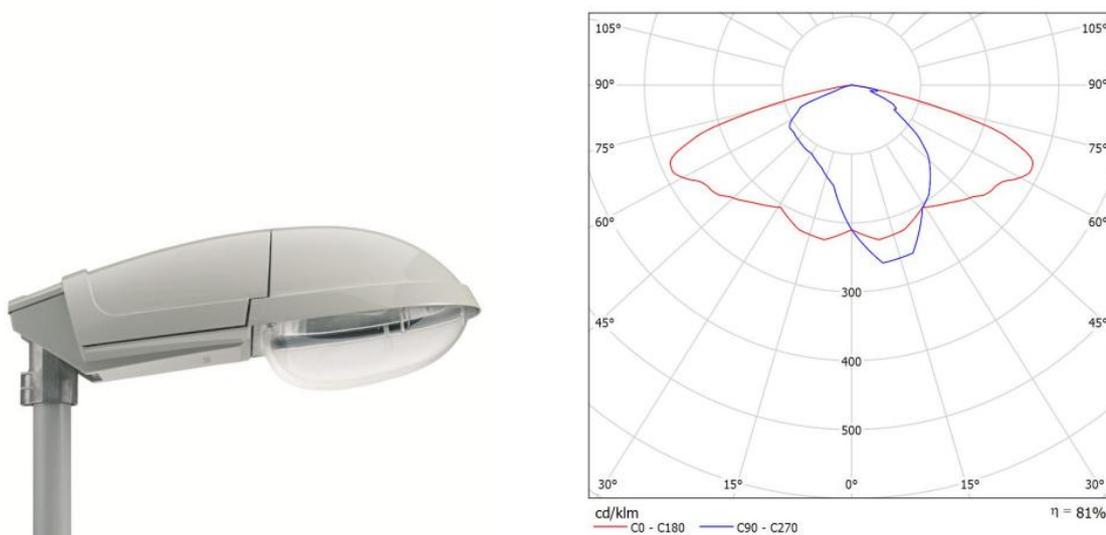
Foram implicadas alterações na estrutura do cenário real, afim de normatizar o sistema de iluminação. Primeiramente deve-se normatizar a via para após fazer um estudo de possível eficiência energética, pois segundo a norma brasileira (ABNT 5101,2012) e o manual de instruções (ReLuz,2005), a via deve estar com os padrões mínimos exigidos pela norma vigente.

Adotou-se uma solução para o cenário real que foi a inserção de um poste com a mesma estrutura entre os postes já instalados. Esse possível caso normatizado foi simulado em software Dialux e obteve normatização, portanto chegando a solução para a não normatização da via. Porém ainda foram simulados vários casos que serão apresentados posteriormente, para comparação com este cenário normatizado proposto buscando uma eficiência energética na via.

➤ Cenário normatizado:

- Lâmpada: Philips 70W SGP340PC;
- Altura de montagem: 7 m;
- Braço extensor com inclinação: 10°;
- Intensidade luminosa da luminária: 6075 lm;
- Distância entre postes: 15m.

Figura 29-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – cenário real normatizado.



Fonte: (PHILIPS,2015).

Para o caso real normatizado, os resultados estão dispostos na Tabela a seguir:

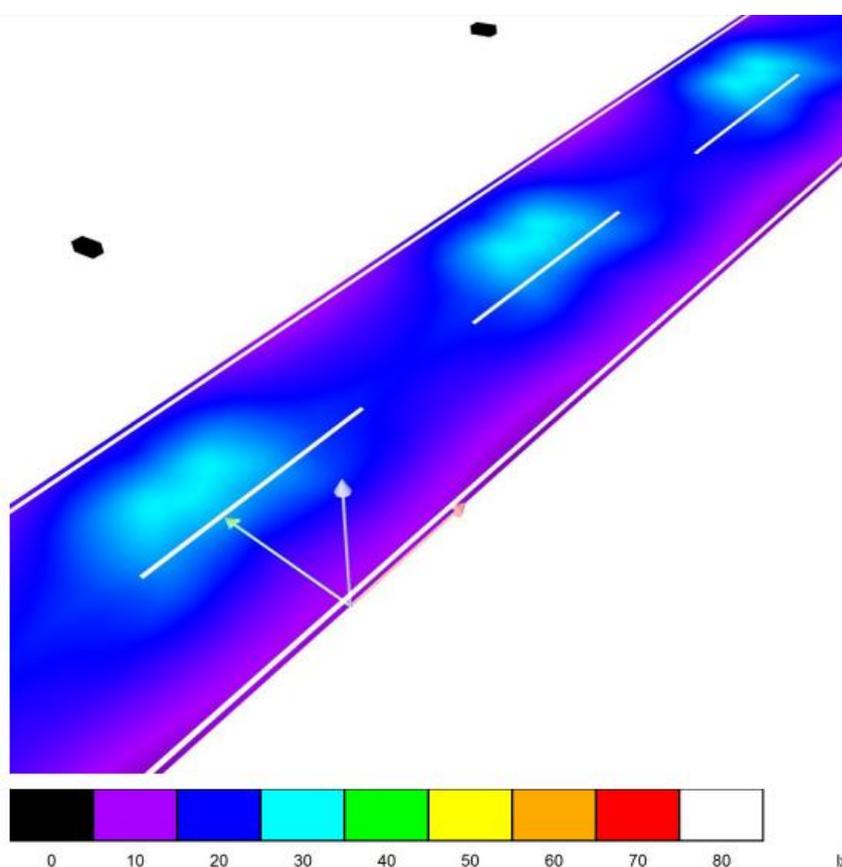
Tabela 12- Resultados para o cenário real normalizado.

	Iluminância média- lux	Fator de uniformidade
Requisitos mínimos segundo a norma EN 13201	≥ 10	≥ 0.4
Valores obtidos na simulação	18.34	0.51

Fonte: Própria.

A seguir a representação das cores falsas, para melhor visualização da distribuição de iluminação.

Figura 30- Cores falsas para a pista de rodagem- cenário real normalizado.



Fonte: (DIALUX,2015).

5.3 Cenários Propostos

Foram simulados cerca de 30 diferentes casos no Software Dialux™ afim de comparação com o caso real normalizado, Estes foram especificados em função das características das lâmpadas de iluminação pública, de seus suportes de sustentação (postes, braços) e do espaçamento entre estes. Partiu-se como

caso de referência a instalação atual coma LVSAP de 70W, montadas em suportes como 7 metros de altura, inclinação do braço de 10 Graus e distância entre suportes de 29 metros. O objetivo das alternativas foi o de alcançar os valores mínimos preconizados pela Norma. Desta forma foram gerados cenários variando a potência das lâmpadas (LVSAP de 150, 250 e 400 W e LED 25 W). Cenários foram efetuados com suportes de 12 metros de altura e inclinações do braço em 15 Graus. O espaçamento foi avaliado em 29 e 15 metros entre suportes. Estas condições geraram a Tabela 13.

Tabela 13 – Especificações das 30 configurações utilizadas para as simulações.

Potência da Lâmpada (W)	Altura de montagem (m)	Inclinação (°)	Distância entre postes (m)
70	7	10	29
70	7	20	29
70	7	15	29
150	7	15	29
150	7	20	29
150	7	5	29
150	7	10	29
150	7	10	15
150	7	10	29
150	12	10	29
250	7	10	29
250	7	15	29
250	12	10	29
250	11	10	29
400	7	10	29
400	12	10	29
400	7	15	29
25 LED	7	10	29
25 LED	7	10	15
25 LED	7	15	15
32 LED	7	15	15
32 LED	7	10	15
60 LED	7	10	15
60 LED	7	10	29
120 LED	7	10	29
120 LED	12	10	29
35 LED	7	20	15
35 LED	12	10	15
35 LED	7	15	15
35 LED	7	10	15

Anteriormente foi discutido que o Dialux™ não contempla a norma brasileira NBR5101 e sim utiliza a norma europeia EN13201. Devido a norma europeia ser mais exigente que a brasileira, nos requisitos de iluminância e uniformidade, obviamente ao estar de acordo com a norma europeia estará automaticamente acordando com a norma brasileira.

O plug-in escolhido para utilizar no Dialux™ foi o da Philips, pois gera o arquivo (.IES) e tem grande gama de luminárias e lâmpadas detalhando minuciosamente seus produtos e propriedades luminotécnicas, de tal forma facilitando a comparação.

Para todos os casos simulados foram utilizadas as classificações de via CE4 e D2 abordadas no capítulo três deste trabalho, e a malha de medição foi de 18 por 6 pontos exatamente como feito no caso real. A distância entre postes foi alterada entre 15 e 30 metros.

Abaixo os quatro casos que obtiveram êxito serão detalhados.

- Caso 10:
 - Lâmpada: Philips de 250W SGP340PC;
 - Altura de montagem: 12m;
 - Braço extensor com inclinação: 10°;
 - Intensidade luminosa: 28300 lm.

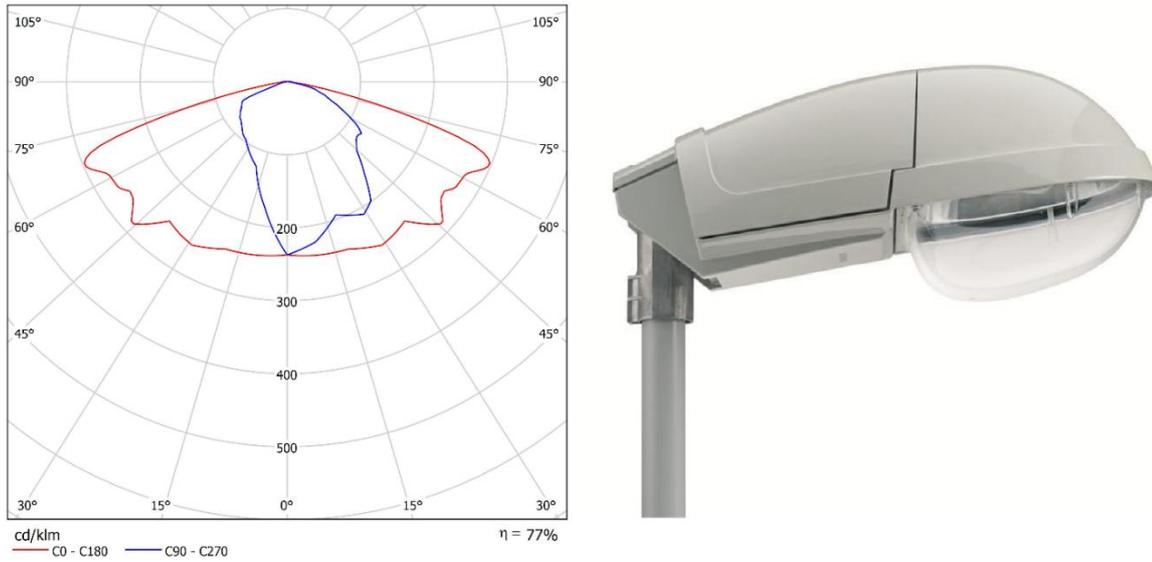
O caso 10 foi o primeiro caso a estar normatizado para o tipo de via especificado. Os resultados foram:

Tabela 14- Resultados para o caso 10.

	Iluminância média- lux	Fator de uniformidade
Requisitos mínimos segundo a norma EN 13201	≥ 10	≥ 0.4
Valores obtidos na simulação	25.48	0.51

Fonte: Própria.

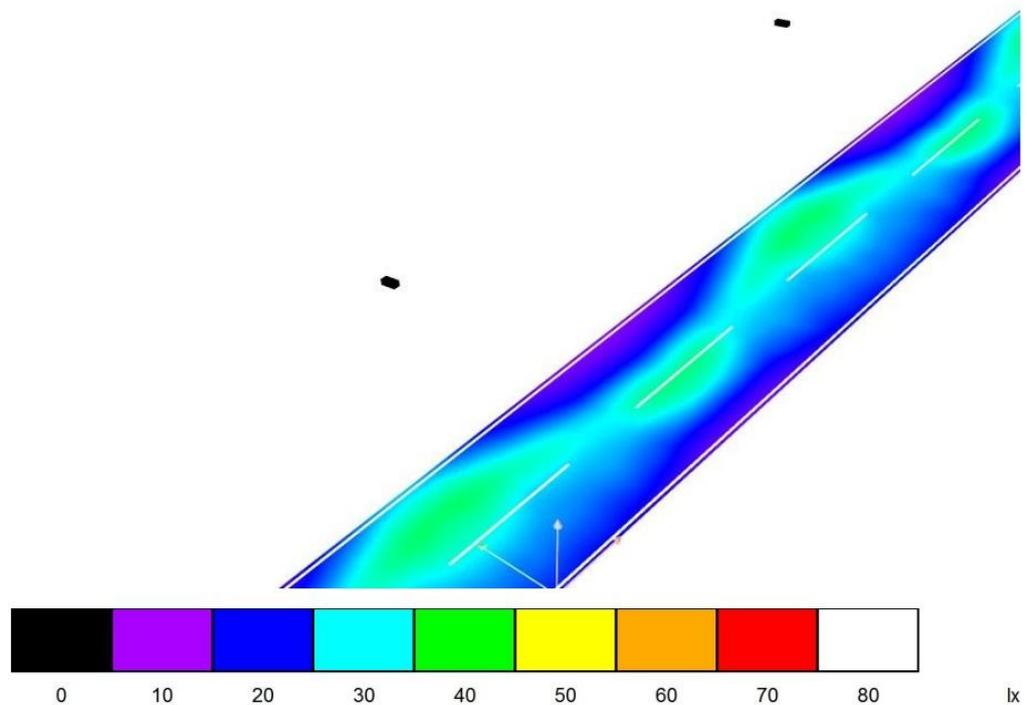
Figura 31- Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada - caso 10.



Fonte: (PHILIPS,2015).

Pelas cores falsas podemos perceber que a distribuição ficou de boa qualidade, e vários pontos obteve-se uma iluminância satisfatória, abaixo serão ilustradas as cores falsas com legenda de iluminância.

Figura 32- Cores falsas para a pista de rodagem - caso 10.



Fonte: (DIALUX,2015).

➤ Caso 13:

- Lâmpada: Philips de 150W SGP340PC;
- Altura de montagem: 12 m;
- Braço extensor com inclinação: 10°;
- Intensidade luminosa da luminária: 13035 lm.

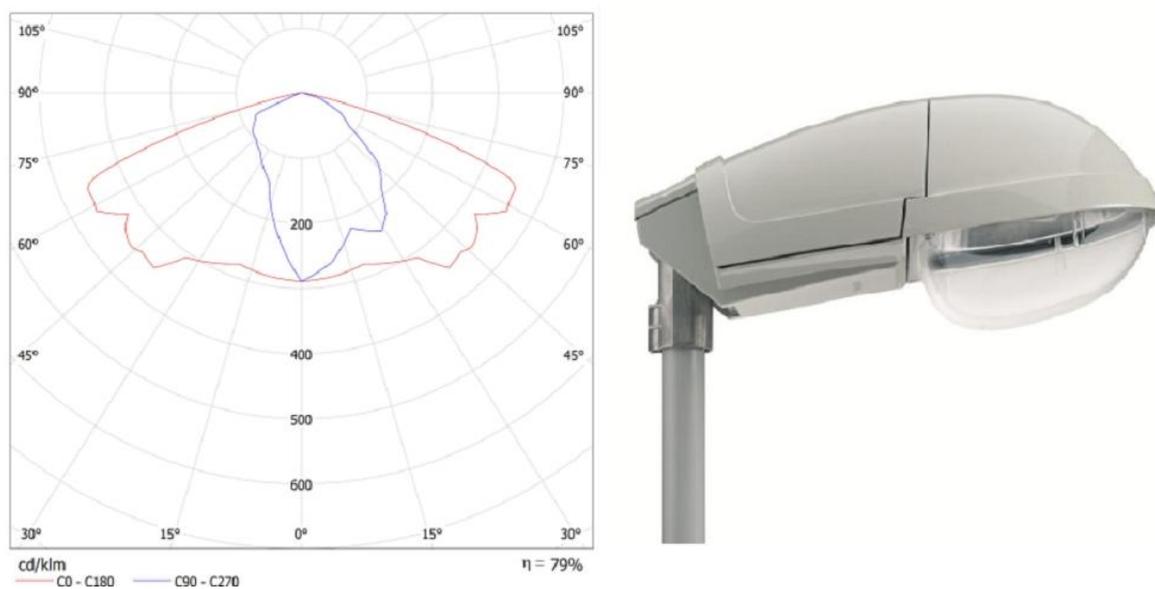
Para o caso 13, os resultados encontram-se na Tabela abaixo:

Tabela 15- Resultados para o caso 13.

	Iluminância média- lux	Fator de uniformidade
Requisitos mínimos segundo a norma EN 13201	≥ 10	≥ 0.4
Valores obtidos na simulação	16.47	0.42

Fonte: Própria.

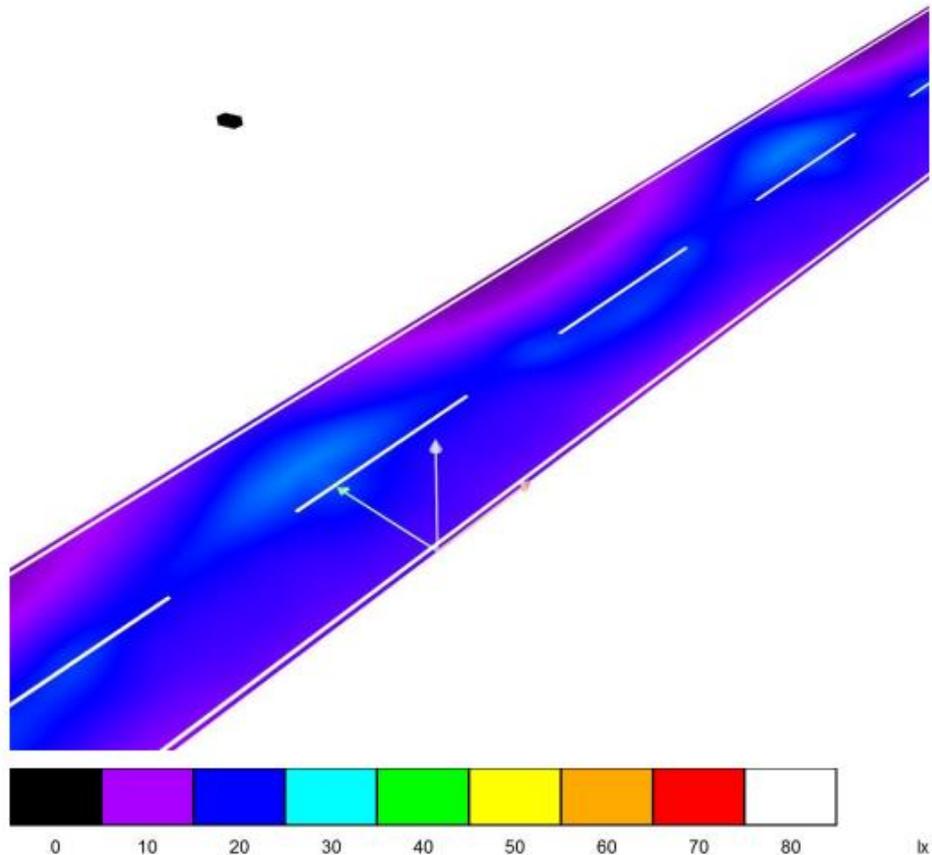
Figura 33-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 13.



Fonte: (PHILIPS,2015).

Pela ilustração das cores falsas, pode-se ver onde há mais incidência de iluminância na via, ou seja, onde é mais intensa a iluminação.

Figura 34- Cores falsas para a pista de rodagem- caso 13



Fonte: (DIALUX,2015).

➤ Caso 20:

- Lâmpada: Philips Son-T 250W SGP338GB;
- Altura de montagem: 7 m;
- Braço extensor com inclinação: 10°;
- Intensidade luminosa da luminária: 13035 lm.

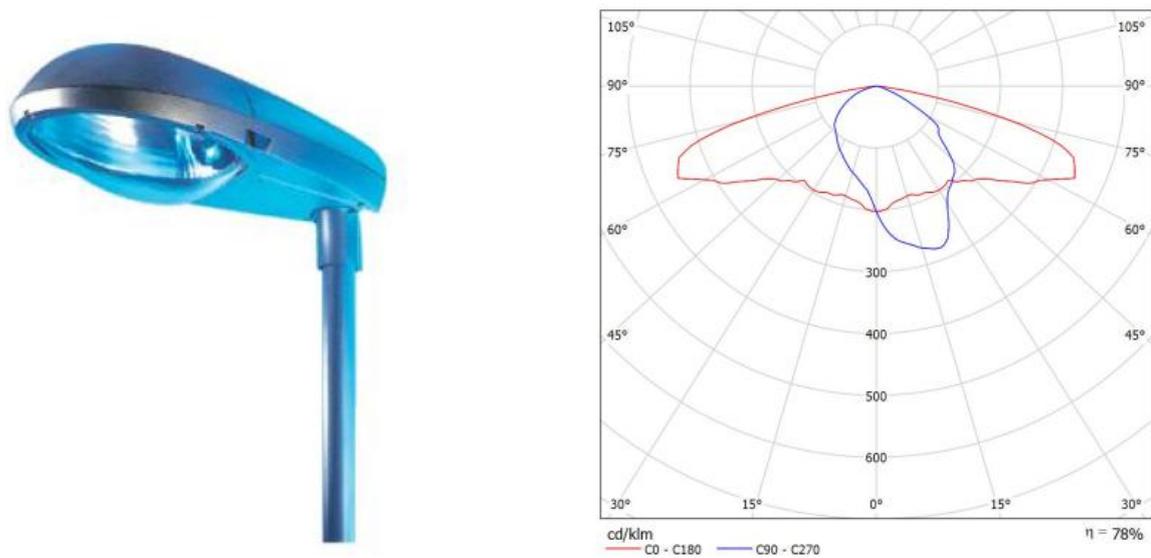
Para o caso 20, os resultados foram os da Tabela abaixo:

Tabela 16- Resultados para o caso 20.

	Iluminância média- lux	Fator de uniformidade
Requisitos mínimos segundo a norma EN 13201	≥ 10	≥ 0.4
Valores obtidos na simulação	34.21	0.42

Fonte: Própria.

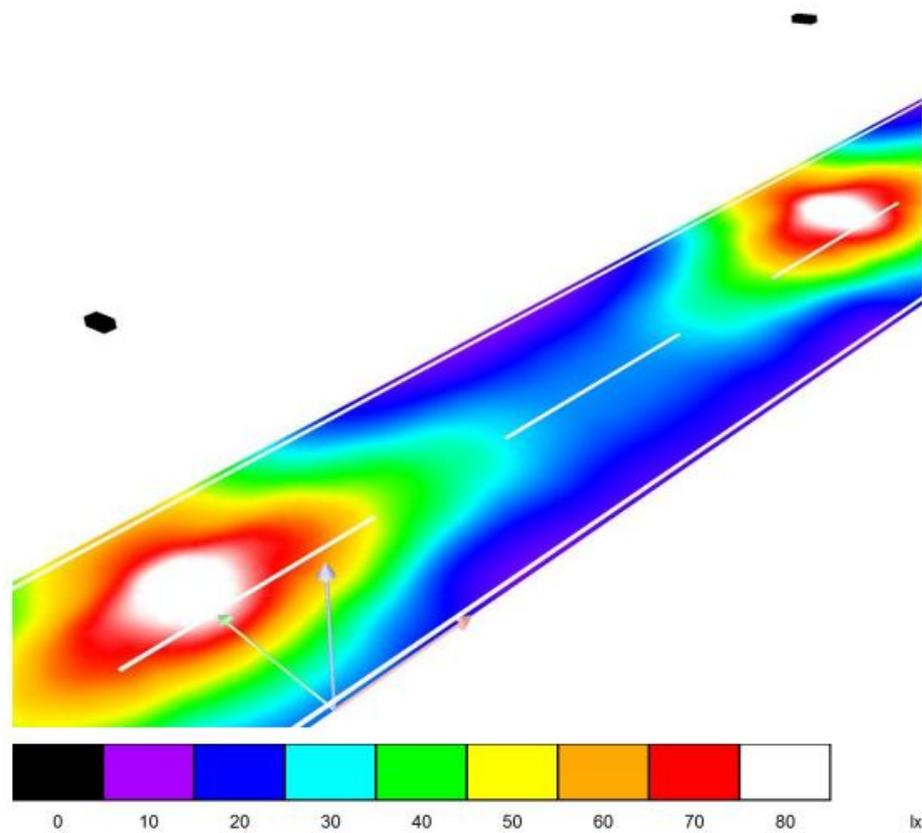
Figura 35-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 20.



Fonte: (PHILIPS,2015).

Abaixo serão ilustradas as cores falsas para visualização da iluminância e da uniformidade.

Figura 36- Cores falsas para a pista de rodagem- caso 20.



Fonte: (DIALUX,2015).

➤ Caso 23:

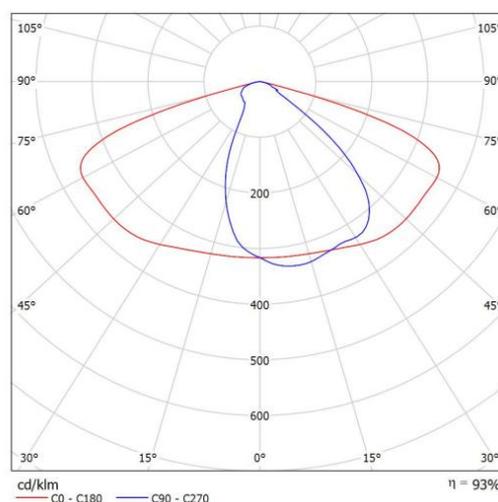
- Lâmpada: Philips LED BGP100 35W;
- Altura de montagem: 7 m;
- Braço extensor com inclinação: 10°;
- Intensidade luminosa da luminária: 3978 lm;
- Distância entre postes: 15m.

Tabela 17- Resultados para o caso 23.

	Iluminância média- lux	Fator de uniformidade
Requisitos mínimos segundo a norma EN 13201	≥ 10	≥ 0.4
Valores obtidos na simulação	10.62	0.59

Fonte: Própria.

Figura 37-Curva de distribuição luminosa e estrutura da luminária com lâmpada – caso 23.

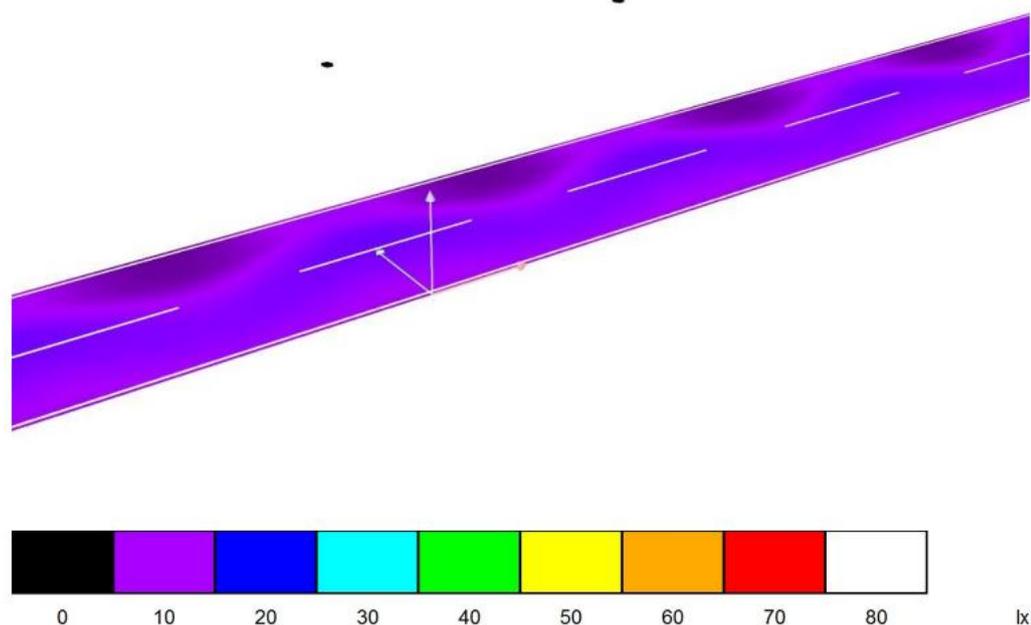


Fonte: (PHILIPS,2015).

A Tabela a seguir contém os resultados para o caso 23:

A Figura abaixo demonstra as cores falsas, onde se pode ver a distribuição de iluminâncias e a uniformidade.

Figura 38-Cores falsas para a pista de rodagem- caso 23.



Fonte: (DIALUX,2015).

Portanto para os cinco casos acima que foram adequados a norma EN12301 estarão automaticamente normatizados pela norma brasileira, pois todos apresentaram os requisitos mínimos das duas normas.

5.4 Análise econômica

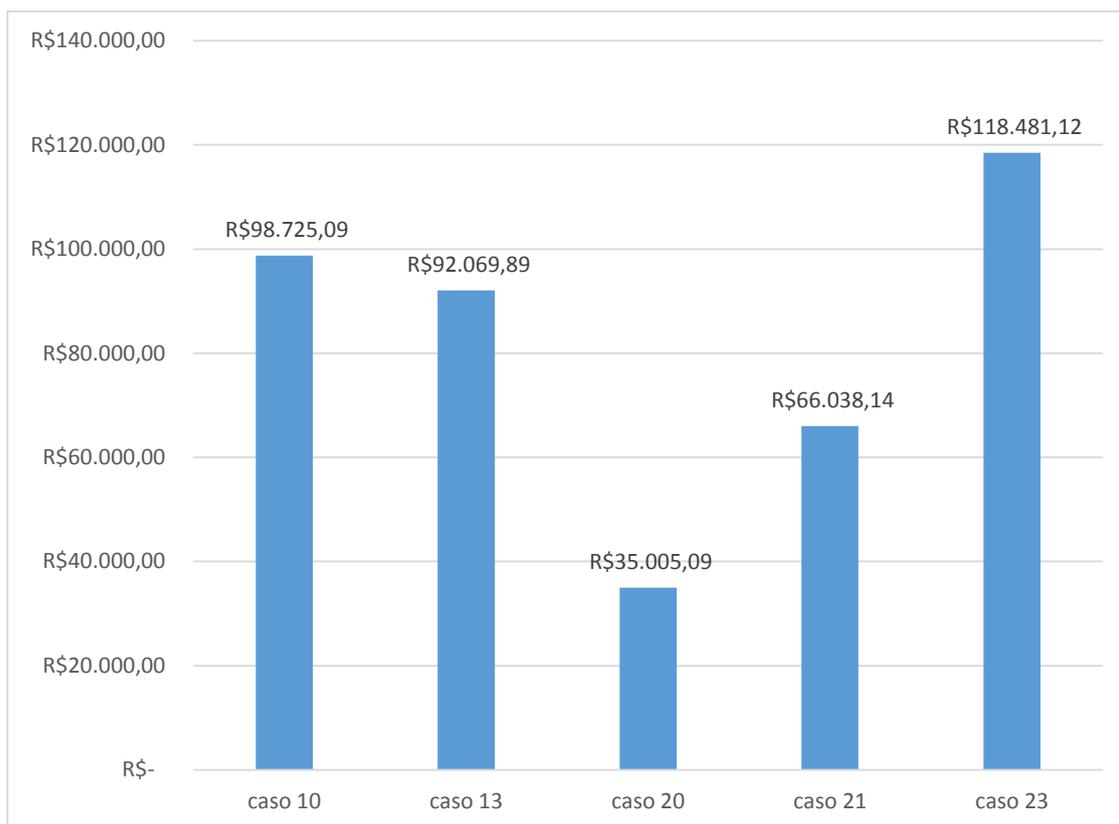
Toda a análise foi feita comparando os casos propostos com o cenário real normatizado afim de buscar eficiência no sistema de IP.

A eficiência será verificada pela redução de demanda e energia economizada, pois se o sistema for mais eficiente, obviamente terá uma demanda menor de energia e conseqüentemente terá uma economia na energia consumida.

Os custos para o projeto, compra e implementação de todos os equipamentos para cada caso em particular foram feitos com base em preços do mercado de iluminação. O Gráfico 3 mostra a comparação dos custos entre casos, e o Gráfico 4 é um de gráfico de sensibilidade, ou seja, os valores dos custos foram aumentados e diminuídos em 25% para adequação ao aumento ou baixa dos valores no mercado.

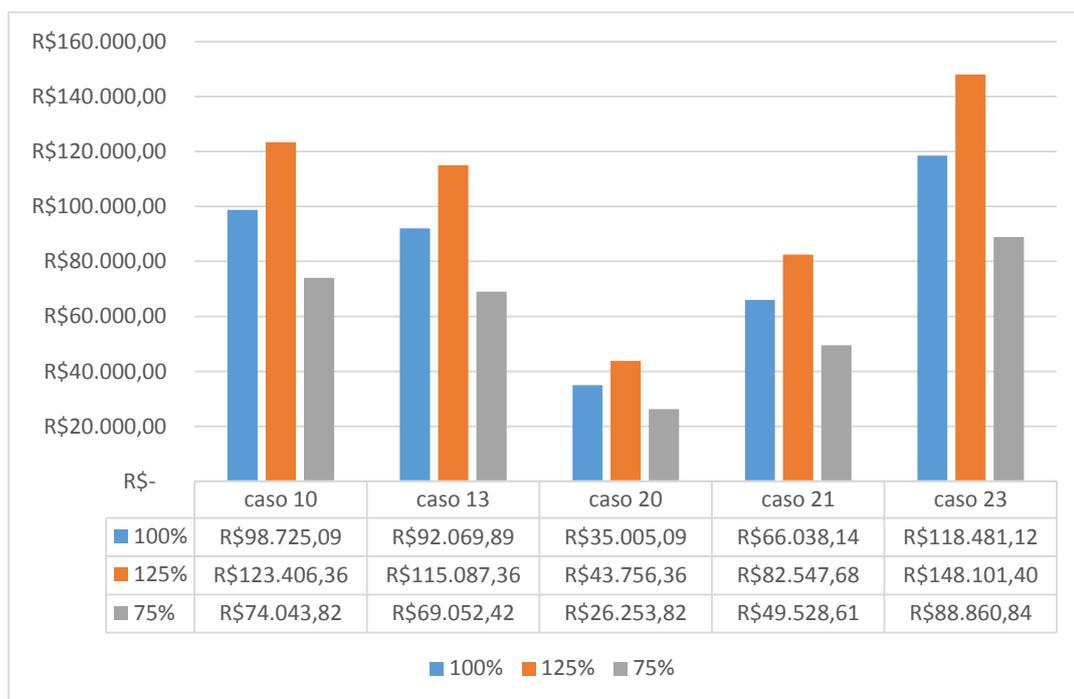
A Tabela 18 contém os resultados para redução de demanda e energia economizada anualmente, todos calculados com base nas equações 16 e 17.

Gráfico 3- Comparação dos custos entre casos.



Fonte: Própria.

Gráfico 4- Sensibilidade de $\pm 25\%$ dos custos entre casos.



Fonte: Própria.

Observa-se que nos casos 10 e 20 não é necessária continuar a análise econômica pois em vez de redução de consumo e energia economizada obteve-se aumento no consumo e um gasto maior com energia, isso é devido a esses casos utilizarem luminárias com lâmpadas de 250 W e o caso real normatizado utilizar 70W. E no caso 13 não obteve-se redução de demanda. Assim, não houve energia economizada, portanto não se torna necessário proceder a análise econômica. Desta forma selecionou-se o caso 23 como alternativa a ser avaliada economicamente.

Tabela 18- Redução de Demanda e Energia economizada.

Caso	Redução de Demanda (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)
Caso 10	-12,6	-55,2
Caso 13	0	0
Caso 20	-12,6	-55,2
Caso 23	12	52,9

Fonte: Própria.

A seguir, dispõe-se das tabelas com os valores necessários para o término da análise econômica. Precisa-se primeiramente da vida útil e juros para os cálculos de custos anualizados. A vida útil foi obtida dos catálogos de equipamentos e os juros foram adotados como no manual técnico do PROCEL/RELUZ para esse tipo de adequação da via.

Tabela 19- Vida útil e Juros

Equipamentos	Vida útil (Anos)	Juros (%)	FRC (%)
Luminárias	17	12	34,33
Postes	30	12	37,24
Braços	10	12	6,19
Sensores	2	12	5,56

Fonte: Própria.

O custo total foi obtido de tabelas de licitações de empresas que prestam o serviço de iluminação. Para o cálculo do custo anualizado utilizou-se as equações 18 e 19, com os dados da Tabela 19 que são necessários para inserir nas equações, então se obteve os resultados abaixo.

Adotaram-se valores de 10, 5 e 3% respectivamente para o custo de instalação, diagnóstico e auditoria, são os valores adotados por empresas que prestam este serviço. E o descarte de materiais tomou-se como base os valores de uma empresa de descarte de materiais de iluminação.

Tabela 20- Custo total e anualizado.

	Total (R\$)
Luminárias	244,40
Postes	300,00
Braços	35,00
Sensores	9,40
Total	99.984,00
Total Anualizado	12.745,47

Fonte: Própria.

Tabela 21- Custos envolvidos.

Investimento de Capital		
Equipamentos e Componentes	R\$	99.984,00
Custos Indiretos (R\$)		
Custo instalação	R\$	9.998,40
Custo Diagnóstico	R\$	4.999,20
Custo Auditagem	R\$	2.999,52
Descarte de materiais	R\$	500,00
Custos Indiretos (R\$)	R\$	18.497,12
Investimento Total	R\$	118.481,12

Fonte: Própria.

Para o cálculo do RCB faz-se necessário dispor dos valores de Energia Conservada e Redução de Demanda que constam na Tabela 17, respectivamente 52,9 MWh/ano e 12 kW. Também precisa-se dos valores do Custo Marginal de Expansão de Geração corrigido para Baixa Tensão e do Custo Marginal de Expansão de Transmissão e Distribuição corrigido para Baixa Tensão que são obtidos no site da distribuidora local e estão dispostos na Tabela 22.

Tabela 22- Custos marginais de expansão corrigidos para BT.

Custos Marginais de Expansão Corrigidos para BT	
Custo Marginal de Expansão da Geração (R\$/MWh/ano)	164,98
Custo Marginal de Expansão de transmissão e distribuição (R\$/kWh)	383,36

Fonte: Própria.

Por fim com todos os valores necessários agora pode-se calcular o valor de RCB, que é obtido através a equação 15. Chega-se ao resultado de 0,96, assim a substituição do caso real proposto pelo caso 23 é viável economicamente, como pode ser verificado na Tabela 23.

Tabela 23- Resumo dos resultados.

Parâmetros	K (R\$)	RD (kW)	EE (MWh/ano)	CMEG (R\$)	CMETD (R\$)	RCB
Resultados	12.745,47	12	52,9	164,98	383,36	0,96

Fonte: Própria.

5.5 Inserção de geração distribuída (GD)

Foi dimensionado um sistema solar fotovoltaico para implementação no caso em que obteve-se o melhor RCB, que foi o caso 23. O sistema possui 240 pontos de iluminação com luminárias contendo lâmpadas LEDs de 35 W, portanto o sistema tem uma demanda de 8,4 kW que vai operar por 12 horas à noite. Então, decidiu-se dimensionar um sistema de GD de 20 kW, devido ao fator de carga da IP é 0,5 e a média horas de insolação. E que acumulará energia ao longo do dia na rede elétrica do Sistema Interligado Nacional – SIN.

O sistema de GD conta com 78 placas fotovoltaicas da empresa Canadian Solar com potência de pico de 260 W, tensão de máxima operação 30,4 V, corrente de máxima operação 8,56 A, tensão de curto circuito 37,5 V e corrente de curto circuito 9,12 A e com inversor (CC/CA) da marca ABB, e todos os equipamentos para conexão com a rede e tratamento de dados. A eficiência do projeto fotovoltaico é 75% devido as interferências padrões como sombreamento na placa, dias nublados, etc. A potência selecionada decorreu do montante anual de energia elétrica que será consumida pelo sistema de iluminação pública, no caso 36,792 MWh. O investimento total para esse sistema implementado e conectado na rede é de R\$ 126.441,89 foi obtido em contato com uma empresa de Alegrete-RS prestadora desse serviço.

Para o cálculo da energia produzida por mês pelo sistema solar fotovoltaico, toma-se como base as horas de sol por mês que estão na Tabela 24, que pode ser conferida no site do INMET, a eficiência do sistema fotovoltaico de 75% e a potência instalada 20 kW escolhida, que resulta nos valores da Tabela 25.

Tabela 24- Horas de Sol acumuladas Mensais.

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
273,4	247,1	232,8	207,5	196,3	155,1	164,7	185,2	186,6	239,9	276,1	296,4	2.661,1

Fonte:(INMET,2015).

Tabela 25- Energia produzida por mês.

Mês	Energia produzida (kWh/mês)
Janeiro	4.183,02
Fevereiro	3.780,63
Março	3.561,84
Abril	3.174,75
Mai	3.003,39
Junho	2.373,03
Julho	2.519,91
Agosto	2.833,56
Setembro	2.854,98
Outubro	3.670,47
Novembro	4.224,33
Dezembro	4.534,92
Total	40.714,83

Fonte: Própria.

Com a energia produzida por mês pode-se calcular o faturamento evitado de energia por mês e anual. Porém precisa-se das tarifas aplicadas pela distribuidora local. No caso da AES SUL foi utilizada a Resolução Homologatória ANEEL N°.1879 de 14 de abril de 2015 e estão apresentados na Tabela 26. Os meses entre novembro e março estão tarifados pela bandeira verde, aqueles entre maio e setembro pela bandeira verde e os meses de abril e outubro como amarela. Na bandeira verde nenhum valor é acrescentado na tarifa, na amarela é acrescentado um valor de R\$0,025/kWh ao valor da tarifa verde, e a vermelha é acrescido um valor de R\$0,045/kWh ao valor da tarifa verde.

Tabela 26- Tarifas Calculadas pela ANEEL e aplicadas pela AES SUL.

	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha
Tarifa Simples	0,26419	0,28919	0,30919
PIS&COFINS	0,01853	0,02028	0,02169
	0,28272	0,30947	0,33088
ICMS	0,12116	0,13263	0,14180
Tarifa com impostos	0,40389	0,44211	0,47268

Fonte: Própria.

Portanto com a energia produzida por mês e a tarifa com imposto pode-se chegar ao valor evitado de gasto anual com energia elétrica devido ao uso de GD.

Tabela 27- Faturamento evitado de energia elétrica.

Mês	Energia produzida (kWh/mês)	Tarifa com imposto (R\$/kWh)	Faturamento evitado (R\$/mês)
Janeiro	4.183,02	0,40389	1.689,49
Fevereiro	3.780,63	0,40389	1.526,96
Março	3.561,84	0,40389	1.438,60
Abril	3.174,75	0,44211	1.403,59
Mai	3.003,39	0,47268	1.419,66
Junho	2.373,03	0,47268	1.121,70
Julho	2.519,91	0,47268	1.191,13
Agosto	2.833,56	0,47268	1.339,39
Setembro	2.854,98	0,47268	1.349,51
Outubro	3.670,47	0,44211	1.734,98
Novembro	4.224,33	0,47268	1.867,62
Dezembro	4.534,92	0,47268	1.831,62
Total	40.714,83		17.914,25

Fonte: Própria.

Portanto ao somar o valor do faturamento evitado de energia anual que é R\$ 17.914,25 com o ganho com conservação de energia do caso 23 que é 15.927,75, tem-se o valor total de R\$ 33.842,00 que o caso 23 inserindo GD vai economizar anualmente. Assim pode-se calcular o fluxo de caixa para obter o tempo de retorno do investimento.

O investimento para o caso 23 é de R\$ 118.481,12 e o investimento com os equipamentos para a inserção do sistema solar fotovoltaico conectado com a rede fica em torno de R\$126.441,89, então o investimento total é de R\$ 244.923,01. Adotando-se uma taxa de 10% ao ano de correção da tarifa de energia elétrica e uma taxa de desconto de 5%, ou seja, a taxa que o banco cobra para financiamento obteve-se os valores da Tabela abaixo.

Tabela 28- Fluxo de caixa para o caso 23 com GD.

Anos	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado (t=0)	Saldo do Projeto (t=0)
0	-244.923,01	-244.923,01	-244.923,01
1	37.226,21	35.453,53	-209.469,48
2	40.948,83	37.141,79	-172.327,69
3	45.043,71	38.910,45	-133.417,24
4	49.548,08	40.763,33	-92.653,91
5	54.502,89	42.704,44	-49.949,47
6	59.953,18	44.737,98	-5.211,49
7	65.948,49	46.868,36	41.656,88

Fonte: Própria.

Adotando as mesmas taxas anteriores porém substituindo o valor de investimento por 118.481,12 que é somente do caso 23 sem GD obteve-se os valores da Tabela abaixo.

Tabela 29- Fluxo de caixa para o caso 23 sem GD.

Anos	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado (t=0)	Saldo do Projeto (t=0)
0	-118.481,12	-118.481,12	-118.481,12
1	14.655,08	13.957,22	-104.523,90
2	16.120,59	14.621,85	-89.902,05
3	17.732,65	15.318,13	-74.583,93
4	19.505,91	16.047,56	-58.536,36
5	21.456,50	16.811,73	-41.724,63
6	23.602,15	17.612,29	-24.112,34
7	25.962,37	18.450,97	-5.661,37
8	28.558,60	19.329,59	13.668,22

Fonte: Própria.

Observa-se que o investimento do caso 23 com GD tem o retorno no 7º ano após a implementação conforme Tabela 28, e o caso 23 sem GD tem o retorno no 8º ano após a implementação conforme Tabela 29, portanto pela análise do tempo de retorno é viável a aplicação de GD.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a otimização dos sistemas de iluminação pública poder proporcionar uma redução significativa do consumo energético total, se faz necessária a efficientização destes sistemas, uma vez que devem atender a requisitos qualitativos e quantitativos mínimos, especificados pelas normas regulamentadoras vigentes, proporcionando uma quantia equivalente de iluminação para um menor consumo de energia elétrica.

Após a análise dos resultados das medições práticas afim de verificar a normatização da via, resultou que a mesma não estava nos padrões exigidos, necessitando uma modificação. Foi proposto e simulado um caso em que a via se tornava normatizada. Porém observou-se que o consumo de energia se tornou mais elevado com a normatização, carecendo um método para redução. Então, foram propostos casos para melhorar a eficiência energética do caso normatizado. Na análise dos casos propostos, observou-se que apesar do caso 23 (com LED) ter o maior custo, foi o que obteve uma relação custo-benefício viável, sendo assim o único que poderia ser implementado.

Posteriormente foi inserido um sistema fotovoltaico conectado à rede, analisando o tempo de retorno para os dois sistemas. No caso 23 o tempo de retorno foi de 8 anos. Já para o caso 23 com a inserção do sistema fotovoltaico, foi de 7 anos resultando em menor tempo de retorno.

Deste modo, o estudo de eficiência energética influencia positivamente em diversos aspectos. No aspecto econômico com a redução de consumo de energia elétrica. Bem como, no aspecto psicológico, ao aumentar o nível de visibilidade o usuário tem uma maior sensação de segurança.

7 TRABALHOS FUTUROS

As ideias sugeridas para trabalhos futuros são:

- Um estudo minucioso sobre inserção de aerogeradores urbanos aplicados à iluminação pública no trabalho já realizado.
- Verificação de normatização e eficiência energética em iluminação pública, em outros bairros da cidade, do estado e até mesmo do Brasil.
- Utilizar um método de otimização computadorizado para obtenção dos resultados em um tempo menor. Por exemplo um método bioinspirados como otimização por enxames de partículas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5101: Iluminação Pública- Procedimento**. Rio de Janeiro ,04 mai. 2012. 22p.

_____. **Resolução Normativa N° 456: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**. Brasília, nov.2000.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. “**Atlas de Energia Elétrica do Brasil**”, 3ª edição, Brasília, 2008.

ANELL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 414: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**. Brasília, Set.2010.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012**. Brasília, 17 de maio de 2012.

BARBIERI, M. **Investigação da qualidade da energia em reatores para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**. 2015. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

CIE EN 13201 – Commission Internationale de L’Eclairage. **CIE EN 13201-1-2-3-4**, 2003.

COPETTI, G. L. Z. **Eficiência Energética em Ambientes de Ensino**. 2013. 138 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar princípios e aplicações**. Rio de Janeiro,2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014**. EPE,2014.

FINDER. **White Paper: O mundo sustentável das Energias Renováveis**. São Paulo: Finder, 2011.

FREITAS, P. C. F. **Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas**. Uberlândia-MG: editora faculdade de engenharia elétrica, 2010, 60p.

GIACOBBO, Junior. **Estudo de Caso Comparativos ente normas de Iluminação NBR 5413 e NBR ISO 8995-1**. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA- IESNA. **The IESNA lightning Handbook**. 9º ed, 2000.

LÂMPADAS E LEDS. Brasil: O Setor Elétrico, v. 46, 1 nov. 2009. Mensal. Autora: Goeking.

LEANDRO, R. J. M. **Estudo de um sistema de iluminação eficiente para autoestrada Caso de estudo do Nó de Évora Poente da autoestrada A6**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

LOPES, L. B. **Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública**. 2014. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LUNARDI, N. O. **Eficiência Energética: Iluminação de Interiores em Ambientes de Trabalho- Estudo de Caso no Centro Administrativo Municipal de Alegrete**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

KREITH, F ; GOSWAMI, D. Y. **Energy Efficiency and Renewable Energy**. Editora CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.

MAGNOLI, D.; SCALZARETTO. R. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998.

MARCHIORI, J.L. **Apostila de Luminotécnica**. Porto Alegre: PUCRS, 2010,36p.

MME- Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica_-PNEf_-_final.pdf>. Acesso em 12 set.2015.

New York City Global Partners (NYCGP). **Best Practice: LED Street Lighting Energy and Efficiency Program**. Los Angeles, USA. 2009.

PHILIPS. **Guia de Iluminação**. 2007. < www.luz.PHILIPS.com.br/archives/guide_iluminacaoleve.pdf> Acesso: 22 de Ago.2015.

PORTAL, L.N. **Apostila Luminotécnica Básica**. Brasil: Portal Light Now, 2013, 79p.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Gestão Energética Municipal**. Disponível em: <www.eletronbras.com/elb/procel/.../FileDownload.EZTSvc.asp?> Acesso em 29 Agosto de 2015.

RODRIGUES, P. **Apostila Manual de Iluminação Eficiente**. Brasil: PROCEL,2002, 36p.

RUTTKAY, F.O.P. **Apostila de Conforto Ambiental- Iluminação**. Florianópolis-SC: Centro tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, 2005, 120p.

SALES, R. P. **LED, o novo paradigma da Iluminação Pública**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia - PRODETEC, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), e Instituto de Engenharia do Paraná (IEP). Curitiba. 2011.

SANTANA, R. M. B. **Iluminação Pública: Uma abordagem Gerencial**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia- MRIE, Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade de Salvador- UNIFACS, Salvador, 2010.

SANTOS, L. P.; PEREIRA Jr. ;HILÁRIO, R. **Geração distribuída: sistema de cogeração fotovoltaico conectado à rede elétrica de baixa tensão**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIII, N°.43, 12/11/2013.

SOARES, G. M. **Sistema Inteligente de Iluminação de estado Sólido com Controle remoto e análise de parâmetros da rede elétrica**. 2014. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

SOUSA, D. N. de. **Eficiência Energética na Iluminação Pública**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto- Portugal, 2012.

TEIXEIRA. **Tipos de Lâmpadas**. Campinas: Unicamp, 2005. 110 slides, color.

TIMÓTEO, Luís. **Lâmpadas de Descarga de Alta Intensidade**. Brasil: Timoteo, 2015. 57 slides, color.