

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS DIOTO DA SILVA

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LÂMPADAS INCANDESCENTES,
FLUORESCENTES E LEDS CONSIDERANDO AS NORMAS NBR 5410 E
ISO 8995-1**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

LUCAS DIOTO DA SILVA
ALEXANDRE BATISTA DE JESUS SOARES
GÉREMI GILSON DRANKA

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LÂMPADAS
INCANDESCENTES, FLUORESCENTES E LEDS CONSIDERANDO
AS NORMAS NBR 5410 E ISO 8995-1**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares

Co-orientador: Prof. Me. Géremi Gilson Dranka

PATO BRANCO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Análise de Eficiência Energética de Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e LEDs Considerando as Normas NBR 5410 e ISO 8995-1**, do aluno **Lucas Dioto da Silva** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **097** de 2016.

Fizeram parte da banca os professores:

Alexandre Batista de Jesus Soares

Géremi Gilson Dranka

Jonatas Policarpo Americo

José Paulo de Barros Neto

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

A minha família, a qual sempre me apoiou e me apoiará em qualquer escolha em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo, pela minha existência e por sempre guiar meu caminho.

A minha família, pelo apoio e amor incondicional.

A minha namorada, a qual me apoiou e esteve sempre ao meu lado, principalmente nas horas difíceis.

Ao meu orientador Alexandre Batista de Jesus Soares, por ter aceitado esse desafio comigo e por ter me auxiliado durante essa jornada.

Ao meu co-orientador Géremi Gilson Dranka pela disposição e conselhos sempre que possível, assim como aos professores da banca pela valiosa contribuição.

Aos meus amigos, que me acolheram e me proporcionaram diversas lembranças alegres.

Aos meus colegas de Engenharia Elétrica, e futuros companheiros de profissão, os quais colaboraram de uma forma ou outra para o meu projeto e/ou para meu crescimento profissional.

EPÍGRAFE

“Não confunda derrotas com fracasso, nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.” – Roberto Shinyashiki

RESUMO

SILVA, Lucas Dioto da, Análise de Eficiência Energética de Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e LEDs considerando as Normas NBR 5410 e ISO 8995-1. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Este estudo apresenta um estudo das normas NBR 5410 e a ISO 8995-1 em relação à potência instalada de iluminação e eficiência energética de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs, considerando projetos residenciais. No estudo foi realizada uma análise da potência instalada de iluminação de acordo com a norma NBR 5410 e da eficiência energética de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED de acordo com a norma ISO 8995-1. O objetivo do estudo foi encontrar parâmetros que possam ser utilizados para a escolha das diferentes topologias de lâmpadas em projetos residenciais.

Palavras-chave: Iluminância. Incandescente. ISO 8995-1. Fluorescente. *LED*. NBR 5410.

ABSTRACT

SILVA, Lucas Dioto da, Energetic Efficiency Analysis of Incandescent lamps, fluorescent and LEDs considering the NBR 5410 and ISO 8995-1. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso– Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco 2016.

This paper presents a study of the NBR 5410 standards and ISO 8995-1 to installed power lighting and energy-efficient incandescent, fluorescent and LEDs, considering residential projects. The study was conducted an installed capacity of analysis of lighting according to the NBR 5410 standard and energy efficiency of incandescent, fluorescent and LED according to the ISO 8995-1 standard. The aim of the study was to find parameters that can be used to select the different topologies lamps in residential projects.

Keywords: Illuminance. Incandescent. ISO 8995-1. Fluorescent. Lamp. LED. NBR 5410.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Faixa de radiação visível.....	13
Figura 2 - Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas	14
Figura 3 - Intensidade luminosa	15
Figura 4 - Diferença entre luminância e iluminância.....	16
Figura 5 - Fluxo luminoso	17
Figura 6 - Eficiência energética	17
Figura 7 - Vida útil	18
Figura 8 - Tipos de ofuscamento.....	19
Figura 9 - Lucerna	20
Figura 10 - Características construtivas da lâmpada incandescente	22
Figura 11 - Modelos de lâmpadas fluorescentes.....	24
Figura 12 - Tipos de lâmpadas <i>LEDs</i>	25
Figura 13 - Recomendação quanto às distâncias entre luminárias e paredes laterais	28
Figura 14 - Luxímetro TM-202.....	30
Figura 15 - Área retangular com luminária central	32
Figura 16 - Cenário 01	33
Figura 17 - Malha de pontos conforme NBR 15215-4 para o cenário 1	34
Figura 18 - Malha de pontos conforme NBR 5382 para o cenário 1	34
Figura 19 - Cenário 02	35
Figura 20 - Malha de pontos conforme NBR 15215-4 para o cenário 2	36
Figura 21 - Malha de pontos conforme NBR 5382 para o cenário 2	36
Figura 22 - Lâmpadas incandescente FLC	41
Figura 23 - Lâmpada fluorescente AVANT.....	42
Figura 24 - Lâmpada fluorescente OSRAM.....	42
Figura 25 - Lâmpada LED LEDPRO	43
Figura 26 - Lâmpada LED EMPALUX.....	44

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Planejamento dos ambientes, tarefas e atividades com a especificação da iluminância	15
Tabela 2 - Níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes domésticas de 127 V	23
Tabela 3 - Níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes domésticas de 220 V	23
Tabela 4 - Níveis de iluminância	26
Tabela 5 - Fatores determinantes da iluminância adequada.....	27
Tabela 6 - Quantidade mínima de pontos	31
Tabela 7 - Equivalência da lâmpada fluorescente em relação a lâmpada incandescente	39
Tabela 8 - Equivalência da lâmpada <i>LED</i> em relação a lâmpada incandescente	39
Tabela 9 - Lâmpadas utilizadas na medição	40
Tabela 10 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 01	45
Tabela 11 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 02	45
Tabela 12 - Medição da iluminância natural do ambiente conforme a NBR 5382 para o cenário 02.....	45
Tabela 13 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas, desconsiderando a iluminação natural, conforme NBR 5382 para o cenário 02.....	46
Tabela 14 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 01	46
Tabela 15 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 02	47
Tabela 16 - Medição da iluminância natural do ambiente conforme a NBR 15215-4 para o cenário 02	47
Tabela 17 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas, desconsiderando a iluminação natural, conforme NBR 15215-4 para o cenário 02..	48
Tabela 18 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 15215-4 para o cenário 01	48

Tabela 19 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 5382 para o cenário 01	49
Tabela 20 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 15215-4 para o cenário 02.....	49
Tabela 21 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 5382 para o cenário 02	50
Tabela 22 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 01	51
Tabela 23 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 01	51
Tabela 24 - Relação entre lâmpadas conforme o iluminamento para o cenário 01...51	
Tabela 25 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 02	52
Tabela 26 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 02	52
Tabela 27 - Relação entre lâmpadas conforme o iluminamento para o cenário 02...53	

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
Cd	Candela
Copel	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
IRC	Índice de Reprodução de Cores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L	Luminância
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode</i>
lm	Lúmen
m	Metro
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Registrada
UV	Ultra Violeta
VA	Volt Ampere
W	Watt

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Altura da luminária
h_m	Altura de montagem da luminária
α	Ângulo entre direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada
S	Área do recinto
c	Comprimento do recinto
H_m	Distância vertical ente a luminária e o plano de trabalho
η	Eficiência luminosa
u	Fator de depreciação
ϕ	Fluxo luminoso
φ	Fluxo por luminária
E	Iluminamento
I	Intensidade luminosa
l	Largura do recinto
n	Número de luminárias

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	10
1.2 OBJETIVO GERAL	12
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS.....	13
2.1 LUZ	13
2.2 INTENSIDADE LUMINOSA	14
2.3 ILUMINÂNCIA	15
2.4 LUMINÂNCIA	16
2.5 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR.....	16
2.6 LUXO LUMINOSO	16
2.7 EFICIÊNCIA LUMINOSA	17
2.8 DURABILIDADE.....	18
2.9 OFUSCAMENTO	18
3. CARACTERIZAÇÃO DAS LÂMPADAS	20
3.1 HISTÓRIA DAS LÂMPADAS	20
3.2 TIPOS DAS LÂMPADAS.....	21
3.2.1 Lâmpada Incandescente.....	21
3.2.2 Lâmpadas Fluorescentes	23
3.2.3 Lâmpadas <i>LEDs</i>	24
4. METODOLOGIA.....	26
4.1 MÉTODOS DE MEDIÇÃO	26
4.1.1 Método dos Lumens.....	26
4.1.2 Método Ponto a Ponto.....	29
4.2 PREVISÃO DE CARGA	29

4.3	LEVANTAMENTO DE DADOS	30
4.3.1	Luxímetro	30
4.3.2	Número mínimo de pontos	31
4.3.2.1	Método apresentado pela NBR 15215-4.....	31
4.3.2.2	Método Apresentado pela NBR 5382	32
4.3.3	Local de Estudo	32
4.3.3.1	Cenário 01	33
4.3.3.2	Cenário 02	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1	CARACTERÍSTICAS FORNECIDAS PELOS FABRICANTES	38
5.1.1	Equivalência Entre as Potências dos Diferentes Tipos de Lâmpadas	38
5.1.2	Potência Teórica das Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e <i>LEDs</i> ...39	
5.1.3	Lâmpadas Incandescentes	40
5.1.4	Lâmpadas Fluorescentes	41
5.1.5	Lâmpadas <i>LEDs</i>	43
5.2	DADOS COLETADOS EXPERIMENTALMENTE	44
5.2.1	Medição utilizando a NBR 5382	44
5.2.1.1	Cenário 01	44
5.2.1.2	Cenário 02	45
5.2.2	Medição utilizando a NBR 15215-4.....	46
5.2.2.1	Cenário 01	46
5.2.2.2	Cenário 02	47
5.3	ANÁLISE COMPARATIVA	48
5.3.1	Comparação da Iluminância Considerando a Potência Constante	48
5.3.1.1	Cenário 01	48
5.3.1.2	Cenário 02	49

5.3.2	Comparação da Iluminância Considerando a Iluminância da Lâmpada Incandescente	50
5.3.2.1	Cenário 01	50
5.3.2.2	Cenário 02	52
6.	CONCLUSÃO.....	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A primeira lâmpada para uso comercial surgiu no final do século XIX, criada por Thomas Alva Edison, no ano de 1879. A lâmpada incandescente é um dispositivo elétrico que transforma energia elétrica em energia luminosa e energia térmica através do efeito Joule. Dada a sua simplicidade, foi o primeiro dispositivo prático que permitiu utilizar eletricidade para iluminação, sendo utilizada inicialmente para uso comercial (HARRIS, 1993; BOWERS, 1980).

Desde então várias pesquisas foram feitas nessa área resultando em uma diversidade de lâmpadas existentes atualmente, como as lâmpadas incandescentes halógenas, mistas, fluorescentes de alta e baixa pressão e *LED (Light Emitting Diode)* (BRAGA, *et al.*, 2014).

As lâmpadas incandescentes foram as primeiras a serem comercializadas mas devido sua baixa eficiência aliada a crise energética ocorrida em 2001 o crescimento do setor industrial e a falta de planejamento no setor elétrico enumeram algum dos motivos as quais culminaram na crise do setor energético. Sendo assim, foi adotado um sistema de racionamento de energia onde os consumidores que ultrapassassem os valores estipulados teriam um acréscimo em sua conta. Em virtude disso, buscou-se trocar os equipamentos menos eficientes por mais eficientes, e através dessa busca as lâmpadas fluorescentes obtiveram um maior espaço no mercado nacional (MONTEIRO, *et al.*, 2014; PINTO, 2008).

Com o avanço da tecnologia e a constante busca pela eficiência energética, surge no mercado, em 1999, as lâmpadas de *LED* as quais, estão sendo preteridas para utilização dos consumidores residenciais devido a sua vida útil, cerca de 25.000 horas e menor consumo de energia acarretando maior economia tendo apenas como empecilho inicial o alto custo de aquisição, custo o qual devido ao avanço das pesquisas está sendo reduzido (LUZ, 2013).

A previsão de carga para projetos elétricos residenciais, definidos pela NBR 5410, fornece os valores de potência aparente. É interpretado que essa potência seja

referida a potência ativa da lâmpada incandescente, devido ao fator de potência desta lâmpada ser considerado unitário.

As lâmpadas fluorescentes e *LEDs* começaram a substituir gradativamente as lâmpadas incandescentes devido a sua maior eficiência, ou seja, gerando maior energia luminosa com menor potência. Esse fato fez com que a NBR 5410 ficasse defasada em relação ao iluminamento, sendo utilizado como padrão a ISO 8995-1 para o dimensionamento dos projetos de iluminação onde, segundo ABNT (2012), deve-se atentar a parâmetros a distribuição da luminância, a iluminância, o ofuscamento, os aspectos da cor da luz e superfícies, incidência de luz natural e manutenção das lâmpadas e luminárias.

A ISO 8995-1 assegura um ambiente luminoso onde exista um conforto, desempenho e segurança visual que permita que os trabalhadores tenham uma sensação de bem estar, sejam capazes de realizar tarefas visuais de forma rápida e precisa além de conseguir detectar perigos, porém cita apenas ambientes de trabalho, não se referindo sobre ambientes residenciais, o qual é o principal foco da NBR 5410. (ABNT, 2012).

Este trabalho tem como objetivo correlacionar a NBR 5410, onde a previsão de carga de iluminação está fundamentada na potência, com a ISO 8995-1 que se refere a iluminação em ambientes de trabalho fundamentada na eficiência de iluminação. Esta correlação será fundamentada na evolução das lâmpadas, uma vez que a NBR 5410, mesmo não apresentando no seu texto a referência a lâmpadas incandescentes, interpreta-se que os valores considerados para a determinação dos pontos mínimos de iluminação se referem as potências das lâmpadas incandescentes que eram as utilizadas na época. Com a evolução das lâmpadas fluorescentes e mais recentemente das lâmpadas de *LED*, sua utilização se tornou mais atraente devido à baixa eficiência e auto consumo da lâmpada incandescente em relação as lâmpadas florescentes e *LED*. Com isso pretende-se utilizar um ou mais métodos de luminotécnica para o dimensionamento de projetos elétricos de iluminação residencial que contemple ambas as normas para escolha do melhor tipo de lâmpada a ser utilizado, principalmente com base na eficiência luminosa.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo de eficiência energética de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs* fundamentada na potência de acordo com a norma da NBR 5410 e na eficiência luminosa de acordo com a ISO 8995-1.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar a topologia de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LED*;

Analisar, de acordo com a NBR 5410 e a ISO 8995-1 a luminosidade e a eficiência energética das lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs*, utilizando o luxímetro;

Medir o nível de iluminamento das lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs*;

Fazer um comparativo do iluminamento entre as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs*;

Analisar o dimensionamento para projetos elétricos residenciais de acordo com a iluminância e a eficiência energética;

2. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

A luminotécnica é o estudo das técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica. Cada lâmpada possui características diferentes as quais são de suma importância na hora de definir o tipo de iluminação mais adequada para determinado projeto (FREITAS, 2009). Para um bom projeto de iluminação o nível de iluminamento, a distribuição espacial e o rendimento das mesmas são pontos fundamentais na escolha da lâmpada a ser utilizada (MAMEDE FILHO, 2001). Para o melhor entendimento e utilização das técnicas de luminotécnica necessita-se entender algumas características dos diferentes tipos de lâmpadas para assim, fazer a melhor escolha para determinado ambiente atendendo a NBR 5410 e a ISO 8995-1.

2.1 LUZ

Luz é uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos que se propagam mesmo na ausência da matéria (MAMEDE FILHO, 2001; OSRAM, 2016).

A luz visível é o conjunto de radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, ou seja, a luz visível, para o ser humano, é o conjunto de ondas que possuem comprimento entre 380 e 750 nm, conforme representado na Figura 1 (LIMA, 2013).

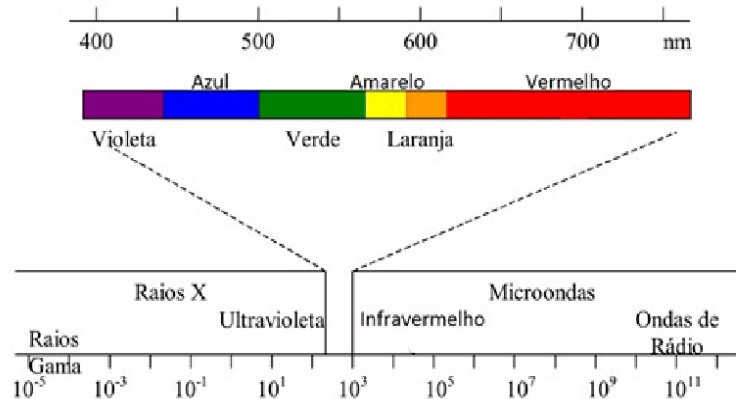


Figura 1 - Faixa de radiação visível
Fonte: Extraído de (LIMA, 2013)

A sensibilidade visual possui uma variação de acordo com a luminosidade do local, quanto menor o comprimento de onda, maior é a intensidade de sensação luminosa com pouca luz e quanto maior o comprimento de onda, menor é a intensidade de sensação luminosa conforme pode-se confirmar na Figura 2 (OSRAM, 2016; MAMEDE FILHO, 2001).

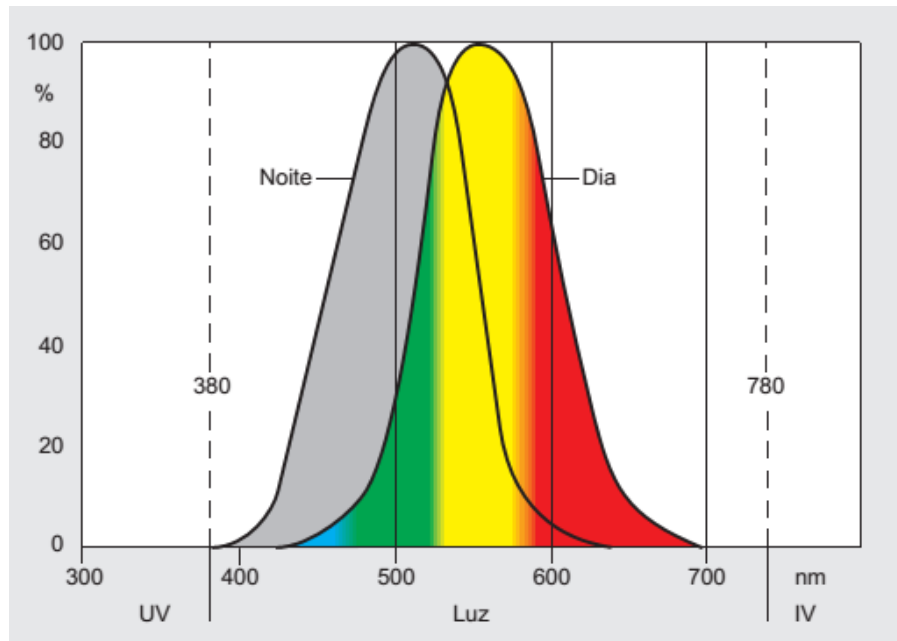


Figura 2 - Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas
 Fonte: Extraído de (OSRAM, 2016)

2.2 INTENSIDADE LUMINOSA

A intensidade luminosa pode ser descrita como a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em uma determinada direção conforme pode ser visto na Figura 3. Possui como simbologia a letra I e como unidade de medida a candela (cd) (OSRAM, 2016; COSTA, 2010).

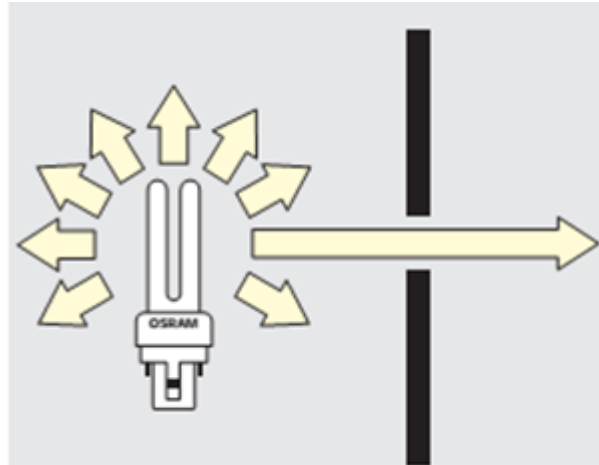


Figura 3 - Intensidade luminosa
Fonte: (OSRAM, 2016)

2.3 ILUMINÂNCIA

A iluminância, também chamado de iluminamento, tem por definição a razão do fluxo luminoso que incide numa superfície por unidade de área. De um modo geral pode-se definir a iluminância como a quantidade de luz em um ambiente. O iluminamento é a medida realizada pelo luxímetro, sendo a sua unidade o Lux (lx), simbolizada pela letra E. (WANDERLEY, 2014; ABNT, 1992)

A iluminância é um dos fatores principais para a escolha da forma de iluminação do ambiente, pois cada ambiente necessita uma quantidade de lux necessária para a realização das atividades.

A Tabela 1 apresenta exemplos de iluminamento necessário para determinadas atividades.

Tabela 1 - Planejamento dos ambientes, tarefas e atividades com a especificação da iluminância

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminação média [lux]
Saguão de entrada	100
Sala de espera	200
Áreas de circulação e corredores	100
Refeitórios/Cantinas	200
Sala de descanso	100

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2012)

2.4 LUMINÂNCIA

A luminância é definida como a quantidade de potência luminosa a qual o olho humano consegue perceber (COSTA, 2010).

A luminância é medida em candela por metro quadrado (cd/m^2) e possui como símbolo a letra L. A Figura 4 apresenta a diferença entre luminância e iluminância.

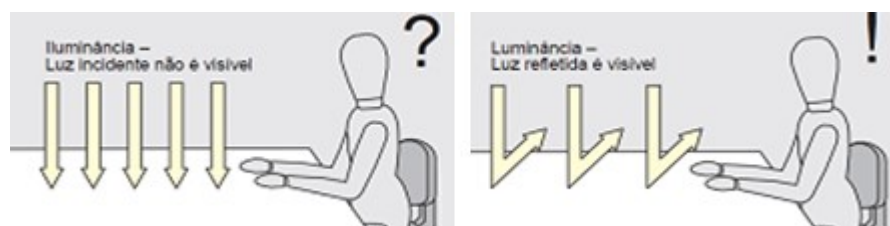


Figura 4 - Diferença entre luminância e iluminância
Fonte: Extraído de (OSRAM, 2016)

2.5 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é uma medida entre a cor real e a cor aparente de um objeto ou superfície em relação a uma fonte luminosa, também podendo afirmar que o IRC determina a equivalência entre uma fonte de referência e uma fonte a qual deseja avaliar (LIMA, 2013; CREDER, 2004).

Os níveis de IRC variam de zero a 100, sendo assim, quanto mais próximo de 100, maior é a fidelidade de reprodução da fonte luminosa, quanto mais próxima de zero, mais deficiente é a reprodução das cores (MAMEDE FILHO, 2001).

2.6 LUXO LUMINOSO

O fluxo luminoso é a quantidade total de luz que pode ser emitida por uma fonte em todas as direções do espaço, sendo possível ser perceptível a retina ocular, podendo ser definida como a energia luminosa percebida pelo olho humano. O fluxo

luminoso é simbolizado pela letra grega Phi (ϕ) e como unidade o lúmen (lm) (CREDER, 2004). (FERREIRA, 2014; FREITAS, 2009; LIMA, 2013)

A Figura 5 exemplifica o conceito de fluxo luminoso.



Figura 5 - Fluxo luminoso
Fonte: Extraído de (OSRAM, 2016)

2.7 EFICIÊNCIA LUMINOSA

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso e a potência elétrica de uma lâmpada, ou seja, a quantidade de lumens gerados por watt absorvidos. Este valor geralmente o indicado pelos fabricantes. Dependendo das características do recinto, o fluxo luminoso irradiado tem uma maior facilidade de reflexão e absorção dos materiais. O símbolo de eficiência energética é a letra grega Eta (η) e a unidade é o lúmen por watt (lm/W) (OSRAM, 2016; CREDER, 2004).

A Figura 6 apresenta a eficiência luminosa para diferentes tipos de lâmpadas

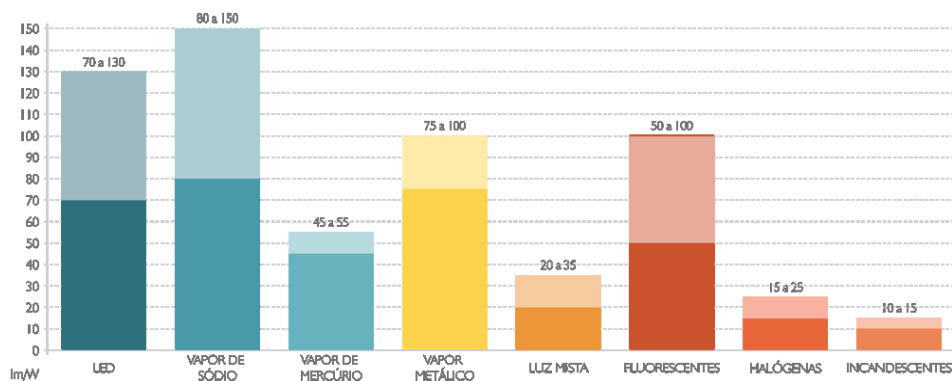


Figura 6 - Eficiência energética
Fonte: Extraído de (EMPALUX, 2016)

2.8 DURABILIDADE

A durabilidade de uma lâmpada pode ser dividida em: vida útil, vida média e vida mediana. A vida útil de uma lâmpada é o tempo de horas a qual a mesma fica acesa antes de reduzir seu fluxo luminoso em 30%. A vida média é a média aritmética do tempo em que todas as lâmpadas ensaiadas ficaram acesas. A vida mediana é o número de horas que 50% das lâmpadas ensaiadas continuam acesas (OSRAM, 2016; WANDERLEY, 2014).

Para analisar a durabilidade de uma lâmpada, considera-se principalmente a vida útil, a qual definirá o tempo necessário para sua substituição. A vida útil de uma lâmpada varia para cada tipo de lâmpada, conforme pode ser visto na Figura 7.

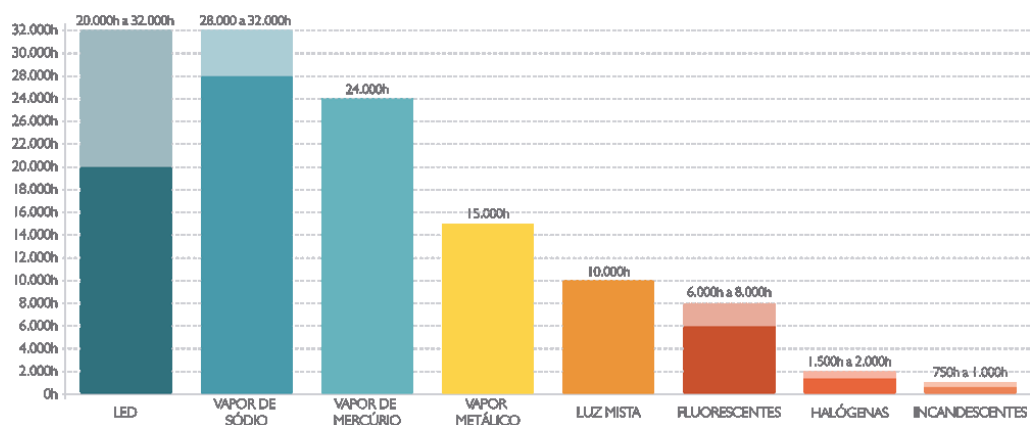


Figura 7 - Vida útil
Fonte: Extraído de (EMPALUX, 2016)

2.9 OFUSCAMENTO

O ofuscamento é o efeito de desconforto visual causado por uma distribuição imprópria das lâmpadas. Pode causar luz, brilho e contrastes excessivos, reduzindo assim, a capacidade de distinguir objetos, sendo considerado ofuscamento valores de luminância acima de 200 cd/m². Existem dois tipos de ofuscamento, o direto o qual a luz é direcionada direto no campo visual e o ofuscamento reflexivo, onde as

superfícies refletem a luz no campo visual (OSRAM, 2016; SANTOS, 2013). A Figura 8 apresenta os dois tipos de ofuscamento.

Segundo CHAVES (2012), os efeitos causados pelo ofuscamento são a perda de visibilidade (ofuscamento inabilitador) e o desconforto ou perturbação (ofuscamento perturbador). A perda da visibilidade ocorre quando uma quantidade excessiva de luz causa a saturação no sistema visual, acima de 25.000 cd/m^2 . Já o desconforto ocorre quando a razão de luminância ultrapassa a faixa de 10:1, por exemplo quando se tem o reflexo da fonte luminosa no plano de trabalho. Deve-se salientar que o ofuscamento inabilitador impede o desenvolvimento de uma atividade, já o ofuscamento perturbador não.



Figura 8 - Tipos de ofuscamento
Fonte: Extraído de (OSRAM, 2016)

3. CARACTERIZAÇÃO DAS LÂMPADAS

3.1 HISTÓRIA DAS LÂMPADAS

A descoberta e controle do fogo como iluminação artificial revolucionou a vida humana desde a pré-história, devido à necessidade de luz para que o homem pudesse realizar as suas tarefas diárias (WANDERLEY, 2014; SOUSA, 2011). Conforme a relação de dependência homem x fogo foi crescendo, novos objetos foram sendo descobertos, das tochas para iluminação dos ambientes até a primeira luminária conhecida, a lucerna. A lucerna consistia em um recipiente no qual conseguia-se armazenar gordura, servindo de combustível para o fogo, conseguindo assim controlar a chama por um tempo maior. Com o passar do tempo, as lucernas foram evoluindo até chegarem a obtenção da vela (WANDERLEY, 2014; SOUSA, 2011; MUSEU DA LÂMPADA, 2016).



Figura 9 - Lucerna
Fonte: Extraído de (MUSEU DA LÂMPADA, 2016)

No início do século XIX, o químico inglês Humphrey Davy notou que tiras finas de carbono colocadas separadamente em dois polos de uma bateria criava um arco, surgia assim a base que sustenta o funcionamento da lâmpada incandescente. Warren de la Rue, Henry Woodward, Matthew Evans, Joseph Swan e Paul Jablochhoff utilizaram a teoria de Davy para produzir lâmpadas incandescentes. Mas foi em 1879, após comprar a patente de Woodward e Evans que Thomas Edison obteve resultados satisfatórios, após reduzir o filamento do carbono e utilizar materiais de baixo custo, como o bambu, que obteve um excelente rendimento e durabilidade da lâmpada para a época, mantendo-a acesa por 600 horas, fazendo com que ganhasse o título de inventor da lâmpada (WANDERLEY, 2014; MUSEU DA LÂMPADA, 2016).

Em 1856, Nikola Tesla criou a lâmpada fluorescente, porém apenas em 1938 ela foi inserida no mercado, sendo que esse tipo de lâmpada transmite mais energia eletromagnética em forma de luz, sendo mais eficiente que as lâmpadas incandescentes (WANDERLEY, 2014).

A primeira observação do fenômeno de emissão de luz através de um semicondutor foi em 1907 quando o engenheiro Henry Round descobriu o efeito da eletroluminescência, obtido através de um diodo *Schottky* (LIMA, 2013).

Apenas em 1961, os pesquisadores da *Texas Instruments* Robert Biard e Gary Pittman descobriram que, quando uma corrente elétrica atravessa arsenieto de gálio surge uma radiação infra-vermelha invisível a olho nu. Porém em 1962, Nick Holonyak Jr., obteve uma luz visível vermelha a partir do *LED*, sendo assim considerado o pai do *LED*. Desde então, as pesquisas foram intensificadas originando o *LED* azul em 1971, em 1989 surgem os primeiros *LED* comerciais, porém em 1993, quando Shuji Nakamura obteve o *LED* de luz branca que, em uma nova perspectiva, surgiu a iluminação dos ambientes (WANDERLEY, 2014; MUSEU DA LÂMPADA, 2016; LIMA, 2013).

3.2 TIPOS DAS LÂMPADAS

3.2.1 Lâmpada Incandescente

A lâmpada incandescente foi a primeira a ser desenvolvida, sendo Hunphry Davy um dos estudiosos precursores nessa área onde, na década de 1800, conseguiu produzir um arco luminoso entre duas hastes de carbono ligadas a uma bateria, criando um esboço da base da lâmpada incandescente atual (BASTOS, 2011).

O problema da lâmpada de arco voltaico era a necessidade de potentes baterias para mantê-la acesa, além de não ser adequada para pequenos espaços. Em 1879, Thomas A. Edison conseguiu superar os obstáculos, encontrando um filamento que suportasse altas temperaturas durante várias horas, e desenvolveu a lâmpada incandescente em escala comercial (COSTA, 2010).

A maioria das lâmpadas incandescentes são constituídas por uma ampola de vidro fina, à vácuo ou gás inerte e um filamento. O bulbo, que é a parte de vidro, é preenchida por um gás inerte (argônio e nitrogênio) ou vácuo, evitando assim a oxidação do filamento. O filamento, que geralmente é constituído de tungstênio trefilado, é percorrido por uma corrente elétrica produzindo calor e luz amarelada (SOUSA, 2011).

Na Figura 10 é apresentado as partes constituintes da lâmpada incandescente.



Figura 10 - Características construtivas da lâmpada incandescente
Fonte: Extraído de (LUMILÂNDIA, 2016)

Esse tipo de lâmpada possui como vantagens seu baixo custo e alto índice de reprodução de cores (IRC=100), porém, tem como desvantagens a baixa vida útil, cerca de 1000 horas, e principalmente, o baixo rendimento (10 lm/W) (BRAGA, *et al.*, 2014). Devido a Portaria Interministerial do Ministério de Minas e Energia nº1.007/2010 que trata da eficiência energética de lâmpadas incandescentes, os fabricantes de lâmpadas incandescentes devem garantir uma eficiência energética mínima, variável em função das potências de cada lâmpada e o nível de tensão da rede, 127 ou 220 V, conforme a Tabela 3 e Tabela 3. Desse modo as lâmpadas incandescentes que não se enquadrarem na regulamentação da portaria deverão ser retiradas do mercado (BASTOS, 2011).

Tabela 2 - Níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes domésticas de 127 V

Potência (W)	Eficiência Mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 150	18,0	22,0			
101 a 150	17,0	21,0			
76 a 100		14,0	20,0		
61 a 75		14,0	19,0		
41 a 60			13,0	18,0	
26 a 40				11,0	16,0
Até 25				10,0	15,0

Tabela 3 - Níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes domésticas de 220 V

Potência (W)	Eficiência Mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 150	18,0	22,0			
101 a 150	17,0	21,0			
76 a 100		14,0	20,0		
61 a 75		14,0	19,0		
41 a 60			13,0	18,0	
26 a 40				11,0	16,0
Até 25				10,0	15,0

Fonte: Adaptado de (MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011)

3.2.2 Lâmpadas Fluorescentes

Em 1856, Nikola Tesla criou a lâmpada fluorescente, mas a mesma só foi introduzida no mercado no ano de 1938 (FERREIRA, 2014). Seu princípio de funcionamento é pela excitação de um gás dentro de um tubo de descarga. Essas lâmpadas são compostas por um tubo cilíndrico o qual é preenchido com um gás mercúrio ou argônio a baixa pressão em seu interior e a superfície interna coberta com um pó fluorescente (fósforo) (BRAGA, *et al.*, 2014).

Quando ocorre uma diferença de potencial elétrico, os elétrons passam de um eletrodo para outro criando um arco voltaico, o qual faz com que mais elétrons que se choquem com os átomos de mercúrio, energizando-os, provocando assim, a emissão de radiação ultravioleta (UV). A radiação eletromagnética visível, conhecida também como luz, ocorre quando os raios ultravioletas atingem a camada de fósforo na camada interna do tubo (FERREIRA, 2014).

Para o correto funcionamento da lâmpada fluorescente necessita um reator, conforme representado na Figura 11, que tem como função garantir o perfeito funcionamento, adequando a tensão e limitando a corrente. Esses reatores podem ser do tipo eletromagnéticos e eletrônicos, sendo que os mais utilizados são os reatores eletrônicos, devido ao seu dimensionamento ser para operar na faixa de frequência da rede elétrica enquanto o eletromagnético, opera em altas frequências, na ordem de quilohertz (kHz). A escolha e aplicação do reator implica diretamente no desempenho, contribuindo para a manutenção do fluxo luminoso e vida útil da lâmpada (COPEL, 2012; LIMA, 2013).

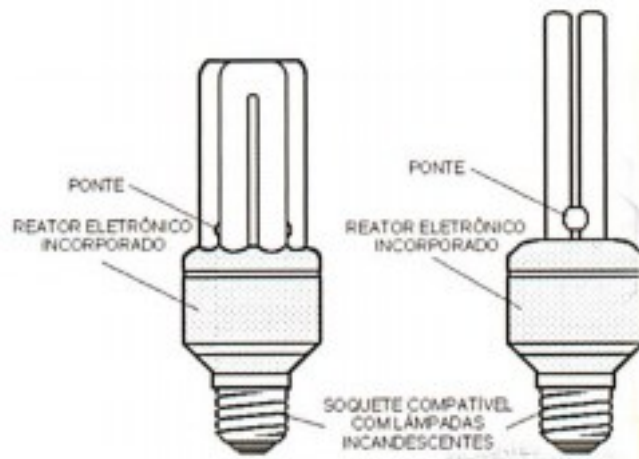


Figura 11 - Modelos de lâmpadas fluorescentes
Fonte: Extraído de (AZUOS, 2014)

As lâmpadas fluorescentes tem como vantagens seu baixo consumo energético, melhor eficiência energética e sua maior durabilidade em relação à lâmpada incandescente. Mas possuem como desvantagens a emissão de raios UV, a redução da vida útil de acordo com a frequência de acionamentos e a existência da necessidade de ter um descarte correto devido a existência de metal pesado em sua composição (COSTA, 2010; LIMA, 2013).

3.2.3 Lâmpadas *LEDs*

As lâmpadas *LED* (*Light Emitting Diode*), em português Diodo Emissor de Luz, são compostas basicamente por diodos, que é um componente semicondutor, convertendo a corrente elétrica em luz visível. Nas aplicações, os *LEDs* eram

utilizados para baixas potências, servindo como sinalização (BASTOS, 2011; LIMA, 2013).

A descoberta da capacidade de geração de luz visível pelo *LED* foi por acaso, na década de 60, pelos pesquisadores da *Texas Instruments* Robert Biard Gary Pittman e por Nick Holonyak, pesquisador da *General Electric*, porém foi apenas na década de 90 que essa tecnologia começou a ser utilizada para iluminação (SOUSA, 2011; WANDERLEY, 2014).

Seu funcionamento é fundamentado na utilização de diodos emissores de luz associados de forma a criar um fluxo luminoso elevado utilizando o arsenato de gálio ou fosfeto de gálio na composição do semicondutor. A dopagem do cristal possui uma variedade de elementos químicos, possibilitando a emissão de luz em uma larga faixa de espectro (CERVI, 2005; BRAGA, *et al.*, 2014). Para a utilização do *LED* como iluminação necessita-se de um *driver* para seu acionamento, uma vez que o mesmo não opera em corrente alternada e necessitar limitar a corrente aplicada diretamente aos *LEDs* (FERREIRA, 2014; LIMA, 2013).

A tecnologia *LED* tem como principais vantagens, em relação as outras tecnologias citadas, a redução do consumo de energia elétrica, ausência de metais pesados, melhor eficiência luminosa, maior vida útil, baixo custo de manutenção, é um sistema robusto, não emite calor e raios UV e permite a flexibilidade de usos, formas e tamanhos conforme apresentados na Figura 12. Porém possui como desvantagens a falta de normas e padronização entre os fabricantes, preço ligeiramente elevado e a falta de normas para padronização da fabricação dessa topologia de lâmpada (WANDERLEY, 2014; LIMA, 2013).



Figura 12 - Tipos de lâmpadas *LEDs*
Fonte: Extraído de (SOBREILUMINAÇÃO, 2014)

4. METODOLOGIA

4.1 MÉTODOS DE MEDIÇÃO

Para a elaboração de projetos luminotécnicos são utilizados método de cálculo, sendo os mais usuais o método dos lúmens e o método ponto a ponto (SALOMÃO, 2011).

4.1.1 Método dos Lumens

O método dos lumens consiste na determinação do fluxo luminoso necessário para obter um iluminamento desejado no plano de trabalho (MAMEDE FILHO, 2001; CREDER, 2004).

Segundo KAWASAKI (2012) esse é o método mais indicado para medição em ambientes fechados, pois considera as características do recinto como dimensão, altura do plano de trabalho, cores e utilização do recinto. Segundo CREDER (2004) essa técnica pode ser dividida em sete etapas.

A primeira etapa é a seleção da iluminância, onde existe uma divisão entre os tipos de atividades que podem ser divididas em três faixas conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis de iluminância

Faixa	Nível de Iluminância (lux)
A	20 – 200
B	200 – 2000
C	2000 – 20000

Fonte: Extraído de (CREDER, 2004)

Cada grupo de faixa contém três grupos de iluminância de acordo com a necessidade da iluminância do local e as características da tarefa e do observador conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores determinantes da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: (CREDER, 2004)

A segunda etapa consiste na escolha da luminária a ser utilizada, sendo que essa depende de inúmeros fatores sendo os principais o objetivo da instalação, fator econômico e facilidade de manutenção.

A terceira etapa consiste na determinação do índice do local o qual é definido pela Equação (1) por

$$k = \frac{c \cdot l}{h_m (c + l)} \quad (1)$$

Onde:

c - comprimento do recinto (m);

l - largura do recinto (m);

h_m - altura de montagem da luminária (m).

Na quarta etapa é definido o fator de utilização o qual tem como variáveis a distribuição e absorção da luz, dimensões do ambiente e a cor das paredes, teto e piso. Esse fator é fornecido pelos fabricantes das luminárias, sendo uma relação entre as dimensões do recinto.

Na quinta etapa determina-se o fator de depreciação o qual corresponde a relação entre o fluxo luminoso entre o início da instalação e o final da manutenção. O fluxo luminoso é reduzido devido a vida útil das lâmpadas, poeira depositada nas lâmpadas e/ou equipamentos e o poder refletor do ambiente. Assim como o fator de utilização, o fator de depreciação também é fornecido pelos fabricantes.

Na sexta etapa define-se o fluxo total e o número de luminárias. Para tal, utiliza-se as Equações (2) e (3) para obtenção do fluxo luminoso total e número de luminárias, respectivamente.

$$\phi = \frac{S \cdot E}{u \cdot d} \quad (2)$$

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (3)$$

Onde:

- ϕ - fluxo luminoso (lm);
- S - área do recinto (m²);
- E - iluminamento (lx);
- u - fator de utilização;
- d - fator de depreciação;
- n - número de luminárias;
- φ - fluxo por luminária (lm).

A sétima etapa tem como objetivo a distribuição das luminárias onde os pontos devem ter distribuição uniforme no ambiente. É recomendado que as distâncias horizontais e verticais entre as luminárias sejam o dobro da distância entre luminária e paredes laterais, conforme a Figura 13.

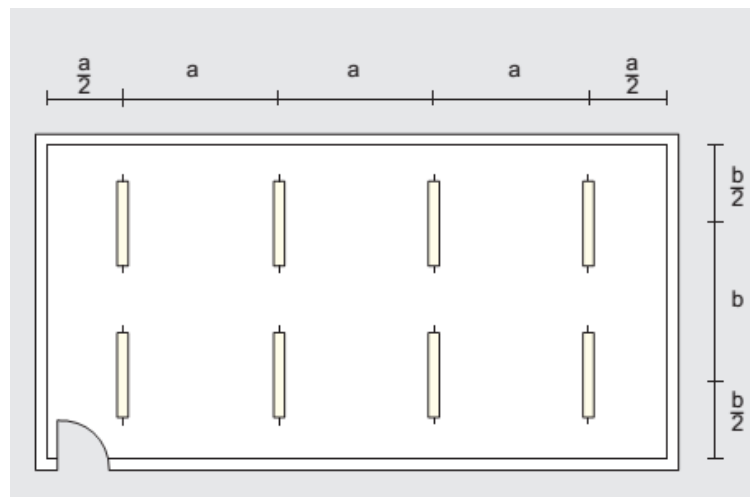


Figura 13 - Recomendação quanto às distâncias entre luminárias e paredes laterais
 Fonte: Extraído de (OSRAM, 2016)

4.1.2 Método Ponto a Ponto

O método ponto a ponto, também conhecido como método das intensidades luminosas, refere-se a contribuição de todas as fontes luminosas cujo fluxo de luz incida em um ponto específico. A soma algébrica de todas as contribuições determinam o iluminamento naquele ponto. Em resumo, essa técnica baseia-se na quantidade de luz que atinge determinado ponto do ambiente (CREDER, 2004; MAMEDE FILHO, 2001).

Esse método está fundamentado nas leis de Lambert, as quais afirmam que o valor da intensidade luminosa decresce com o quadrado da distância e também que a intensidade luminosa recebida depende do ângulo de incidência da superfície com a fonte luminosa (GRANDO, 2013; HOLES, 2015).

Para o cálculo da contribuição luminosa de determinada fonte luminosa utiliza-se a Equação (4).

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (4)$$

Onde:

E - iluminamento (lx);

I - intensidade luminosa (cd);

α - ângulo entre a direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada

H - altura da luminária (m).

4.2 PREVISÃO DE CARGA

A NBR 5410, intitulada de Instalações elétricas de baixa tensão, estabelece as condições necessárias da instalação elétrica visando garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento correto da instalação e a conservação dos bens. Essa norma é aplicada em circuitos de 1500 V de corrente contínua ou 1000 V de corrente alternada, numa frequência de até 400 Hz (ABNT, 2004).

A carga mínima de iluminação é uma das condições previstas pela NBR 5410, a qual é prevista de acordo com a área do ambiente, sendo que:

- em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m², uma carga mínima de 100 VA;

- em cômodos ou dependências com área superior a 6 m², deve ser prevista 100 VA para os primeiros 6 m² mais acréscimo de 60 VA a cada 4 m² inteiros;

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a obtenção dos dados experimentais, inicialmente optou-se pelo método de medição ponto a ponto, devido a ser a técnica utilizada pelo luxímetro. Os locais de estudos foram escolhidos de acordo com a disponibilidade e com a proximidade da comparação do estudo em relação a norma.

4.3.1 Luxímetro

A iluminância foi medida com o luxímetro, modelo TENMARS TM-202, conforme visto na Figura 14, com exatidão de $\pm 3\%$. (TENMARS ELETRONICS CO. LTD).



Figura 14 - Luxímetro TM-202
Fonte: Autoria própria

4.3.2 Número mínimo de pontos

As normas NBR 15215-4 denominada Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição e NBR 5382 nominada Verificação de iluminância de interiores, descrevem a quantidade de pontos necessários para utilização na medição nos locais de estudo. Ambos métodos foram utilizados, visando um estudo comparativo e também buscando minimizar os erros de medição.

4.3.2.1 Método apresentado pela NBR 15215-4

O método descrito na NBR 15215-4 (ABNT, 2004), descreve a quantidade de pontos necessários para a medição. Utiliza-se a Equação (5) para encontrar o valor do índice do ambiente, denominado K .

$$K = \frac{c \cdot l}{H_m(c+l)} \quad (5)$$

Onde:

l - largura do recinto (m);

c - comprimento do recinto (m);

H_m - distância vertical entre a luminária e o plano de trabalho (m).

De acordo com a Tabela 6, encontra-se o número de pontos necessários para a medida. Para a malha de pontos, divide-se o ambiente em quadrados iguais, onde cada ponto esteja situado no centro de cada quadrado, mantendo uma distância mínima do ponto até a parede de 50 cm.

Tabela 6 - Quantidade mínima de pontos

K	Nº de pontos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

Fonte: (ABNT, 2004)

4.3.2.2 Método Apresentado pela NBR 5382

O método que é descrito pela NBR 5382 (ABNT, 1985) afirma que a quantidade de pontos necessária para a medição de área regular com luminária central é quatro pontos de acordo com a Figura 15.

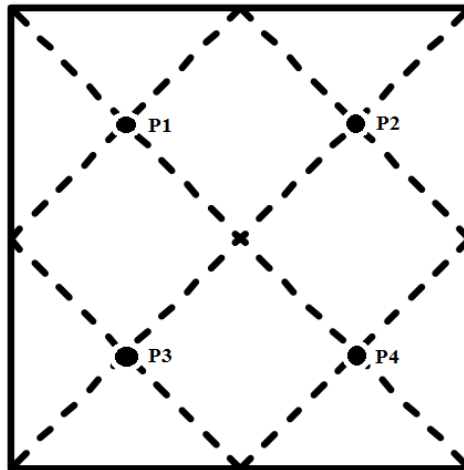


Figura 15 - Área retangular com luminária central
Fonte: Extraído de (ABNT, 1992)

4.3.3 Local de Estudo

Para a medição, optou-se pela análise em dois locais de estudos diferentes. No cenário 01 utilizou-se como ambiente de estudo um quarto enquanto no cenário 02 utilizou-se uma sala. A escolha do local de estudo foi devido a facilidade da medição dos dados no local aliado ao tema proposto, o qual é a busca da equivalência entre as diferentes topologias de lâmpadas em ambientes residenciais.

As medições foram feitas considerando a altura da área de trabalho de 0,75 m do chão, conforme recomenda a ISO 8995-1, além de ser um valor favorável para a medição da iluminação em um ambiente residencial por estar acima da altura de alguns móveis como, por exemplo, sofás, mesas de centro, camas.

4.3.3.1 Cenário 01

O local de estudo escolhido como cenário 01 é um quarto residencial com dimensões de 2,60 m de comprimento por 2,80 m de largura totalizando 7,28 m² conforme é representado na Figura 16.



Figura 16 - Cenário 01
Fonte: Autoria própria

Através da equação (6), encontrou-se o valor de k igual a 0,75. Conforme a Tabela 6, o número mínimos de pontos para o cenário 1 são nove pontos. Utilizando a metodologia apresentada na NBR 15215-4, a malha de pontos utilizadas para a medição está apresentado na Figura 17 mantendo uma distância de 50 cm entre os pontos e as paredes.

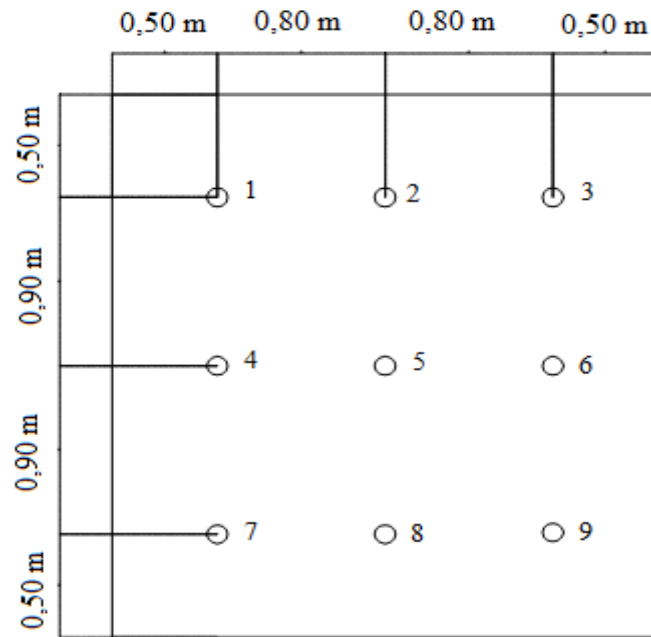


Figura 17 - Malha de pontos conforme NBR 15215-4 para o cenário 1
Fonte: Autoria própria

Na Figura 18 é apresentado a malha de pontos utilizando a NBR 5382, a qual delimita quatro pontos conforme explicitado na Figura 15.

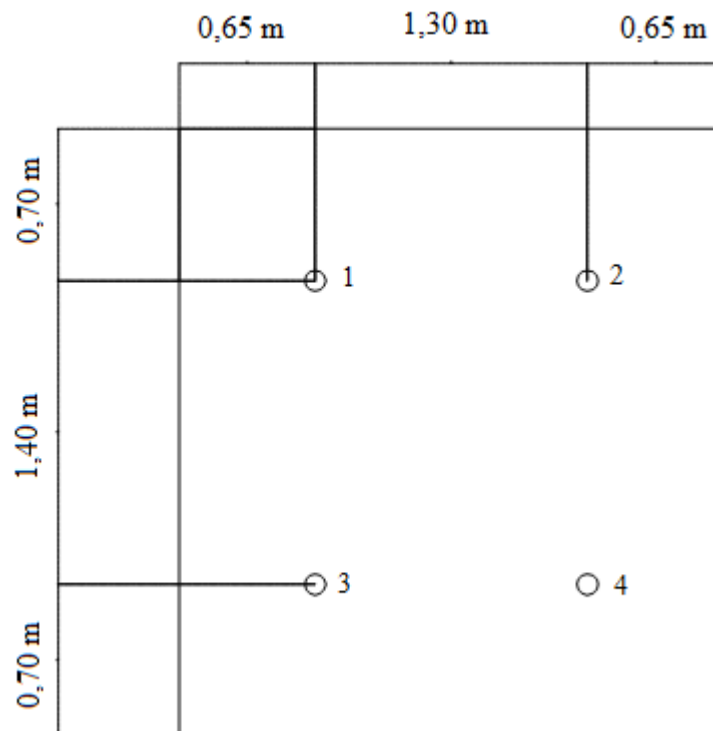


Figura 18 - Malha de pontos conforme NBR 5382 para o cenário 1
Fonte: Autoria própria

A escolha da potência das lâmpadas será feita com base na NBR 5410, conforme descrita no item 4.2. Como o local possui 7,28m² então:

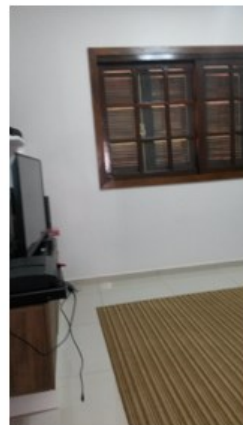
$$\text{Área total} = 7,28 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 1,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Potência necessária} = 100 \text{ VA} + 0 \text{ VA} = 100 \text{ VA}$$

Desse modo a potência da iluminação do cômodo deve atender 100 VA. Como o fator de potência de lâmpadas incandescentes é unitário, então 100 VA = 100 W.

4.3.3.2 Cenário 02

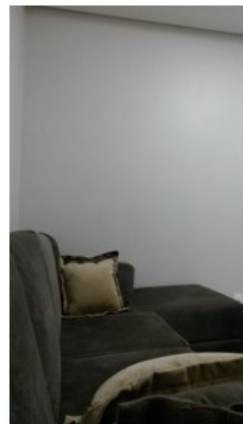
O local de estudo escolhido como cenário 02 é uma sala residencial com dimensões 3 m de comprimento por 4 m de largura totalizando uma área de 12 m², conforme é apresentada na Figura 19.



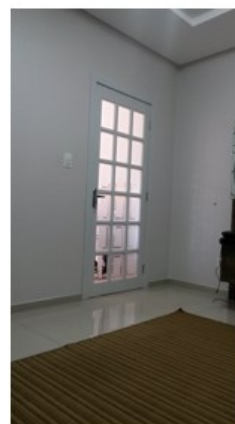
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 19 - Cenário 02
Fonte: Autoria própria

Através da equação (7), encontrou-se o valor de 0,95 para k o qual, conforme a Tabela 6, determina que o número mínimos de pontos para o cenário 2 são de nove pontos. A malha de pontos, conforme a NBR 15215-4, utilizada no cenário 2 é apresentada na Figura 20.

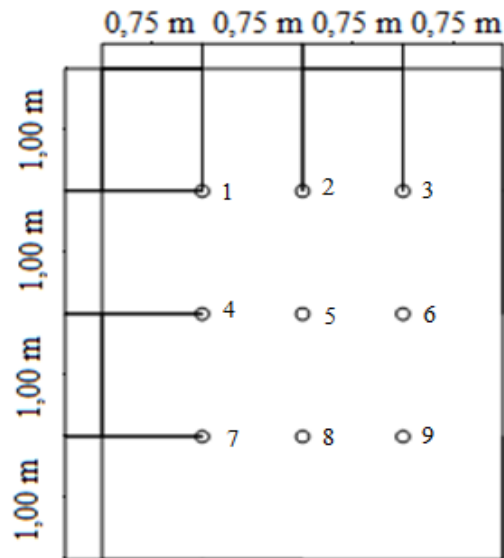


Figura 20 - Malha de pontos conforme NBR 15215-4 para o cenário 2
Fonte: Autoria própria

Na Figura 21 é apresentado a malha de pontos utilizando a NBR 5382.

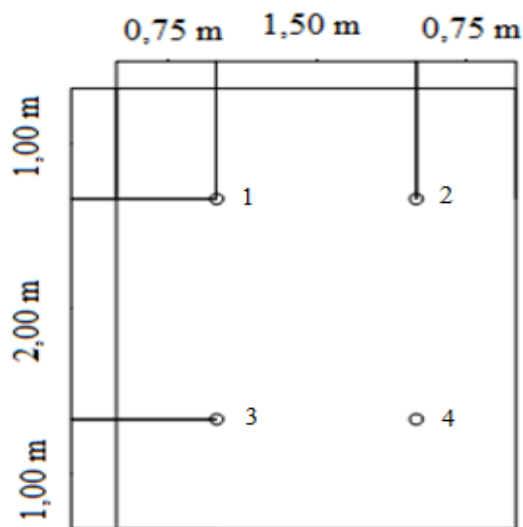


Figura 21 - Malha de pontos conforme NBR 5382 para o cenário 2
Fonte: Autoria própria

A escolha da potência das lâmpadas será feita com base na NBR 5410, conforme descrita no item 4.2. Como o local possui 12m² então:

$$\text{Área total} = 12 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4\text{m}^2 + \cancel{2\text{m}^2}$$

$$\text{Potência necessária} = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 0 \text{ VA} = 160 \text{ VA}$$

Desse modo a potência da iluminação do cômodo deve atender 160 VA. Como o fator de potência de lâmpadas incandescentes é unitário, então 160 VA = 160 W.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a intenção de encontrar o valor da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas em relação a potência requerida pela NBR 5410, será feita as medições com as diferentes topologias de lâmpadas, utilizando a relação de potência fornecida pelos fabricantes em seus catálogos. Essa análise será feita com relação ao fluxo luminoso do ambiente em estudo, utilizando como valor base o fluxo luminoso da lâmpada incandescente.

Devido ao elevado preço das lâmpadas e falta de recursos para execução do projeto, não foi possível a obtenção da comparação dos diferentes tipos de lâmpadas pelo mesmo fabricante e nem mesmo várias marcas na mesma categoria de lâmpadas, o que pode influenciar na precisão dos dados, salientando que é considerado apenas um ponto central no ambiente de estudo.

5.1 CARACTERÍSTICAS FORNECIDAS PELOS FABRICANTES

5.1.1 Equivalência Entre as Potências dos Diferentes Tipos de Lâmpadas

Inicialmente buscou-se um fator de conversão entre as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs* para obter uma relação direta entre a potência, definida pela NBR 5410, para a realização de um projeto elétrico em determinado ambiente. Devido a isso, realizou-se uma pesquisa em catálogos de fabricantes visando determinar esse fator com maior precisão.

Na Tabela 7 é apresentada a relação de potência entre as lâmpadas fluorescentes em relação a lâmpada incandescente. De acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes, percebe-se que os valores de equivalência entre os diferentes fabricantes possui pequenas diferenças, podendo utilizar o valor médio de 0,22 W de potência de lâmpada fluorescente para 1 W de lâmpada incandescente, valor encontrado através da média aritmética das equivalências.

Tabela 7 - Equivalência da lâmpada fluorescente em relação a lâmpada incandescente

Fabricante	Potência (W)	Equivalente para Incandescente (W)	Relação de Incandescente para Fluorescente
AVANT	15	60	0,25
EMPALUX	20	90	0,22
FLC	15	70	0,21
Golden	14	70	0,20
OSRAM	23	100	0,23
PHILIPS	14	60	0,23
Média			0,22

Fonte: Adaptado de (AVANT, 2016; EMPALUX, 2016; FLC, 2016; GOLDEN, 2015; OSRAM, 2016; PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V., 2016)

A equivalência entre as lâmpadas *LEDs* em relação as lâmpadas incandescentes é apresentado na Tabela 8, a qual mensurou uma relação de 0,15 W de potência das lâmpadas *LEDs* para 1 W da lâmpada incandescente. Assim como nas lâmpadas fluorescentes, nota-se uma pequena diferença entre as relações apresentadas pelos fabricantes, sendo assim, a relação obtida para a mensuração da potência equivalente seja válida.

Tabela 8 - Equivalência da lâmpada LED em relação a lâmpada incandescente

Fabricante	Potência (W)	Equivalente para Incandescente (W)	Relação de Incandescente para LED
EMPALUX	7	50	0,14
Exata LEDS	8	60	0,13
FLC	10	60	0,17
Golden	10	60	0,17
LEDPRO	12	100	0,12
OSRAM	12	60	0,20
Média			0,15

Fonte: Adaptado (EMPALUX, 2016; EXATA LEDS, 2016; FLC, 2016; GOLDEN, 2015; LEDPRO, 2015; OSRAM, 2016)

5.1.2 Potência Teórica das Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e *LEDs*

Segundo a NBR 5410 a potência necessária para as lâmpadas são de 160 W da lâmpada incandescente comum, utilizando o fator de conversão encontrado na Tabela 7 e Tabela 8, necessita-se de uma lâmpada fluorescente de 36 W e uma lâmpada de *LED* de 25 W.

Embora conhecida a potência teórica necessária, utilizou-se outros valores de potência para a medição do iluminamento. Isso ocorreu devido a quantidade das lâmpadas demandadas para a medição e a impossibilidade para aquisição de nova

lâmpadas no estudo e também devido as lâmpadas incandescentes normais não serem mais encontradas no mercado, utilizando então as lâmpadas incandescentes halógenas, utilizando a equivalência fornecida diretamente pelo fabricante. As lâmpadas as quais foram utilizadas estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Lâmpadas utilizadas na medição

Tipo de Lâmpada	Fabricante	Potência Utilizada (W)
Incandescente	FLC	1x70 + 1x42
Fluorescente	AVANT	3x15
	OSRAM	1x15 + 1x23
LED	LEDPRO	2x12
	EMPALUX	3x7

Fonte: Adaptado de (AVANT, 2016; EMPALUX, 2016; FLC, 2016; LEDPRO, 2015; OSRAM, 2016)

5.1.3 Lâmpadas Incandescentes

Como referência para as medições foram utilizadas lâmpadas incandescentes de potência de acordo com a NBR 5410. A NBR 5410 determina em seu texto a potência utilizada para o dimensionamento, porém considera-se o fator de potência para iluminação unitário, fazendo com que fosse utilizado como parâmetro de potência instalada a potência das lâmpadas incandescentes, devido a ser as lâmpadas utilizadas na época da elaboração da norma, em 1941. Apesar de ser revisada em 2004 e 2008, ainda manteve esses valores de potências como referência.

Devido a Portaria Interministerial do MME nº1.007, as lâmpadas incandescentes necessitaram se adequar a níveis mínimos de eficiência energética conforme apresentado na Tabela 3.

Aliado ao alto consumo de energia elétrica e as exigências de eficiência energética, a saída do mercado quase que total das lâmpadas incandescentes se tornou uma dificuldade a mais para o estudo, devido à ausência de lâmpadas com as potências necessárias de 100 W e 60 W.

Devido a essa dificuldade, as lâmpadas utilizadas foram as incandescentes halógenas as quais possuem características semelhantes as incandescentes comum. As lâmpadas utilizadas como referência base foram as lâmpadas da marca FLC, uma de 42 W, correspondente a de 60 W de incandescente comum e uma de 70 W correspondente a de 100 W da lâmpada incandescente comum, sendo que esses

valores de referência foram fornecidos pelo fabricante. As lâmpadas utilizadas no estudo estão apresentadas na Figura 22.



Figura 22 - Lâmpadas incandescente FLC
Fonte: Autoria própria

5.1.4 Lâmpadas Fluorescentes

Buscando atender os a potência instalada necessária estabelecido pela NBR 5410 com a equivalência para a incandescente, adotou-se a relação de equivalência para lâmpadas incandescentes apresentada nos catálogos dos fabricantes. Adotou-se duas marcas diferentes de lâmpadas fluorescentes no estudo, a marca AVANT e a marca OSRAM.

As lâmpadas utilizadas da marca AVANT, ilustrada na Figura 23, possuem potência de 15 W cada, que correspondem a 60 W da lâmpada incandescente, sendo que essa equivalência é estabelecida pelo fabricante.



Figura 23 - Lâmpada fluorescente AVANT
Fonte: Autorial própria

São utilizadas duas lâmpadas da marca OSRAM, apresentadas na Figura 24. Uma das lâmpadas possui potência de 15 W, correspondente a uma lâmpada incandescente de 70 W e a outra lâmpadas possui uma potência de 23 W correspondente a de 100 W da potência da incandescente, sendo que essa equivalência é fornecida pelo fabricante.



Figura 24 - Lâmpada fluorescente OSRAM
Fonte: Autorial própria

5.1.5 Lâmpadas *LEDs*

As lâmpadas *LEDs* também foram usadas no estudo sendo que obteve-se duas marcas distintas, para a obtenção e comparação dos dados.

As lâmpadas da marca LEDPRO, Figura 25, possuem potência de 12 W a qual, segundo o fabricante, pode ser representada por uma lâmpada incandescente comum de 100 W.



**Figura 25 - Lâmpada LED
LEDPRO
Fonte: Autoria própria**

As lâmpadas da marca EMPALUX, Figura 26, possuem 7 W de potência, a qual refere-se a 50 W da lâmpada incandescente comum, conforme descreve o catálogo do fabricante.



Figura 26 - Lâmpada LED EMPALUX
Fonte: Autoria própria

5.2 DADOS COLETADOS EXPERIMENTALMENTE

5.2.1 Medição utilizando a NBR 5382

Foram feitas medições com o luxímetro para os diferentes tipos de lâmpadas, conforme a NBR 5382.

5.2.1.1 Cenário 01

De acordo com a área do cenário 01, a potência necessária é de 100 W, conforme explicado em 4.3.3.1. De acordo com a escolha das lâmpadas, fez-se as medições, com os pontos conforme apresentados na Figura 18, obtendo os valores apresentados na Tabela 10. O valor da iluminação natural, medida com o luxímetro, nesse cenário foi de zero lux.

Tabela 10 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 01

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (2x15W)	OSRAM (1x23W)	LEDPRO (1x12W)	EMPALUX (2x7W)
1	38,1	92,9	77,2	48,3	75,6
2	32,8	98,9	70,3	41,9	70,6
3	37,9	84,1	69,1	45,6	66,2
4	40,9	80,4	69,6	42,8	61,4
Média	37,4	89,1	71,6	44,7	68,5

Fonte: Autoria própria

5.2.1.2 Cenário 02

De acordo com a área do cenário 02, a potência necessária é de 160 W, conforme comentado em 4.3.3.2. De acordo com a escolha das lâmpadas, fez-se as medições, com os pontos conforme apresentados na Figura 21 Figura 18, obtendo os valores apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 02

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (3x15W)	OSRAM (1x15W 1x23W)	LEDPRO (2x12W)	EMPALUX (3x7W)
1	50,2	119,1	105,8	82,5	82,9
2	44,1	94,1	85,6	70,3	74,2
3	50,7	107,6	101,8	73,3	84,6
4	49,6	105,5	98,3	72,6	83,5
Média	48,7	106,6	97,9	74,7	81,3

Fonte: Autoria própria

Após as medições da iluminância, mediu-se a iluminação natural do ambiente, para diminuir a margem de erro por interferência externa. Os valores da iluminação natural são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Medição da iluminância natural do ambiente conforme a NBR 5382 para o cenário 02

Pontos	Iluminação Natural (lux)
1	3,5
2	3,2
3	2,9
4	2,2
Média	3,0

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 13 é apresentado o valor de iluminância dos diferentes tipos de lâmpada desconsiderando a iluminação natural.

Tabela 13 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas, desconsiderando a iluminação natural, conforme NBR 5382 para o cenário 02

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (3x15W)	OSRAM (1x15W 1x23W)	LEDPRO (2x12W)	EMPALUX (3x7W)
1	46,7	115,6	102,3	79,0	79,4
2	40,9	90,9	82,4	67,1	71,0
3	47,8	104,7	98,9	70,4	81,7
4	46,7	102,6	95,4	69,7	80,6
Média	45,5	103,4	94,7	71,5	78,1

Fonte: Autoria própria

5.2.2 Medição utilizando a NBR 15215-4

5.2.2.1 Cenário 01

Conforme o item 4.3.3.1, necessita-se nove pontos para a medição. A malha de pontos utilizada é a apresentada na Figura 17. Os valores de iluminância para esse método estão apresentados na Tabela 14. O valor da iluminação natural no momento da medição foi nula.

Tabela 14 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 01

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (2x15W)	OSRAM (1x23W)	LEDPRO (1x12W)	EMPALUX (2x7W)
1	39,4	79,5	71,5	47,4	70,7
2	35,8	94,9	72,1	45,4	80,5
3	31,3	77,7	66,5	38,6	61,7
4	35,9	78,5	69,1	42,5	72,0
5	40,4	92,1	75,2	44,2	80,5
6	44,0	90,9	73,1	43,3	70,3
7	34,6	70,0	61,7	39,8	56,6
8	40,4	84,3	73,5	45,5	65,9
9	37,9	77,3	66,6	39,2	55,5
Média	37,7	82,8	69,9	42,9	68,2

Fonte: Autoria própria

5.2.2.2 Cenário 02

Conforme o item 4.3.3.1, necessita-se nove pontos para a medição. A malha de pontos utilizada é a apresentada na Figura 20. Os valores de iluminância para esse método estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 02

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (3x15W)	OSRAM (1x15W 1x23W)	LEDPRO (2x12W)	EMPALUX (3x7W)
1	46,0	99,8	89,5	71,9	68,3
2	46,3	103,3	93,6	73,9	84,2
3	41,0	88,0	81,7	64,7	67,1
4	51,2	110,5	100,9	78,0	94,0
5	51,7	122,1	104,1	70,2	123,4
6	49,7	113,6	101,0	66,9	88,5
7	48,8	107,1	97,5	68,7	76,2
8	50,6	116,8	106,2	76,3	93,2
9	46,2	100,7	92,8	70,2	75,0
Média	47,9	106,9	96,4	71,2	85,5

Fonte: Autoria própria

Na sequência mediu-se a iluminação natural do ambiente, novamente para diminuir as margens de erro por interferência externa. Os valores da iluminação natural são apresentadas na

Tabela 16.

Tabela 16 - Medição da iluminância natural do ambiente conforme a NBR 15215-4 para o cenário 02

Pontos	Iluminação Natural (lux)
1	4,8
2	3,0
3	2,9
4	2,5
5	3,2
6	4,1
7	3,0
8	2,6
9	1,9
Média	3,1

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 17 é apresentado o valor de iluminação de cada tipo de lâmpada desconsiderando a iluminância natural do ambiente.

Tabela 17 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas, desconsiderando a iluminação natural, conforme NBR 15215-4 para o cenário 02

Pontos	Incandescente	Fluorescente		LED	
	FLC (1x70 + 1x42W)	AVANT (3x15W)	OSRAM (1x15W 1x23W)	LEDPRO (2x12W)	EMPALUX (3x7W)
1	41,2	95,0	84,7	67,1	63,5
2	43,3	100,3	90,6	70,9	81,2
3	38,1	85,1	78,8	61,8	64,2
4	48,7	108,0	98,4	75,5	91,5
5	48,5	118,9	100,9	67,0	120,2
6	45,6	109,5	96,9	62,8	84,4
7	45,8	104,1	94,5	65,7	73,2
8	48,0	114,2	103,6	73,7	90,6
9	44,3	98,8	90,9	68,3	73,1
Média	44,8	103,8	93,3	68,1	82,4

Fonte: Autoria própria

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA

5.3.1 Comparação da Iluminância Considerando a Potência Constante

5.3.1.1 Cenário 01

Considerando a equivalência das lâmpadas fluorescentes e *LEDs* em relação as incandescentes conforme é informado pelos fabricantes, os valores obtidos na conforme Tabela 10 e Tabela 14, é apresentado a Tabela 18 e Tabela 19, demonstrando a diferença de iluminância em relação as lâmpadas incandescentes.

Tabela 18 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 15215-4 para o cenário 01

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)
Incandescente	FLC	1x70	37,7	-
Fluorescente	AVANT	2x15	82,8	119,37
	OSRAM	1x23	69,9	85,25
LED	LEDPRO	1x12	42,9	13,60
	EMPALUX	2x7	68,2	80,66

Fonte: Autoria própria

Tabela 19 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 5382 para o cenário 01

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)
Incandescente	FLC	1x70	37,4	-
Fluorescente	AVANT	2x15	89,1	138,01
	OSRAM	1x23	71,6	91,18
LED	LEDPRO	1x12	42,8	14,36
	EMPALUX	2x7	68,5	82,90

Fonte: Autoria própria

Conforme pode ser visto na Tabela 18 e Tabela 19 o valor da iluminância em relação a lâmpada incandescente é maior, tanto para lâmpadas fluorescentes quanto lâmpadas *LEDs*. Apenas a lâmpada de *LED* da marca LEDPRO apresentou uma iluminância próxima ao valor da incandescente, acredita-se que esse valor é devido ao fluxo luminoso dessa lâmpada ser na direção horizontal, diferente das outras lâmpadas as quais possuem um fluxo luminoso em todas as direções.

5.3.1.2 Cenário 02

Considerando a equivalência das lâmpadas fluorescentes e *LEDs* em relação as incandescentes conforme é informado pelos fabricantes, conforme Tabela 13 e Tabela 17, é apresentado a Tabela 20 e Tabela 21, demonstrando a diferença de iluminância em relação as lâmpadas incandescentes.

Tabela 20 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 15215-4 para o cenário 02

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)
Incandescente	FLC	1x70 + 1x42	47,9	-
Fluorescente	AVANT	3x15	106,9	123,17
	OSRAM	1x15 + 1x23	96,4	101,25
LED	LEDPRO	2x12	71,2	48,64
	EMPALUX	3x7	85,5	78,50

Fonte: Autoria própria

Tabela 21 - Equivalência entre lâmpadas de acordo com o iluminamento conforme NBR 5382 para o cenário 02

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)
Incandescente	FLC	1x70 + 1x42	48,7	-
Fluorescente	AVANT	3x15	106,6	118,89
	OSRAM	1x15 + 1x23	97,9	101,03
LED	LEDPRO	2x12	74,7	53,39
	EMPALUX	3x7	81,3	66,94

Fonte: Autoria própria

Pela análise das Tabela 20 e Tabela 21 percebe-se que, a iluminância das lâmpadas fluorescentes e *LED* são maiores que a iluminância da lâmpada incandescente, comprovando que as mesmas são mais eficientes produzindo mais luminosidade com a mesma potência. Os valores encontrados foram analisados com base apenas na NBR 5410, a qual fornece a previsão da potência de iluminação em relação a área do cômodo.

5.3.2 Comparação da Iluminância Considerando a Iluminância da Lâmpada Incandescente

Utilizando a potência determinada para cada local de estudo, mas procurando uma comparação em relação a iluminância, fez-se a medição das lâmpadas fluorescentes e *LEDs* com potências menores, utilizando como base a iluminância da lâmpada incandescente. A redução da potências das lâmpadas foi feita de acordo com a disponibilidade existentes das lâmpadas e de acordo com o tamanho do ambiente. Essa relação pode ser uma alternativa para o dimensionamento do projeto, utilizando o princípio da ISO 8995-1.

5.3.2.1 Cenário 01

Na Tabela 22 e Tabela 23 é apresentado os valores da iluminância utilizando potências menores conforme as metodologias apresentadas na NBR 5382 e NBR 15215-4, respectivamente.

Tabela 22 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 01

Pontos	Incandescente		Fluorescente		LED
	FLC (1x70W+1x42W)	AVANT (1X15W)	OSRAM (1x15W)	EMPALUX (2X7W)	
1	46,7	40,3	40,0	61,0	
2	40,9	31,5	33,2	49,9	
3	47,8	34,1	37,3	51,7	
4	46,7	33,7	36,2	51,7	
Média	45,5	34,9	36,6	53,5	

Fonte: Autoria própria

Tabela 23 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 01

Pontos	Incandescente		Fluorescente		LED
	FLC (1x70W+1x42W)	AVANT (1X15W)	OSRAM (1x15W)	EMPALUX (1X7W)	
1	39,4	42,6	49,7	32,2	
2	35,8	43,7	47,6	33,7	
3	31,3	34,3	42,3	28,6	
4	35,9	41,0	44,9	34,1	
5	40,4	46,5	49,6	41,1	
6	44,0	44,2	48,2	34,1	
7	34,6	34,2	39,8	26,4	
8	40,4	43,0	47,2	32,6	
9	37,9	37,7	42,3	28,2	
Média	37,7	40,8	45,7	32,3	

Fonte: Autoria própria

Fazendo uma análise da iluminância média das lâmpadas fluorescentes e LEDs em relação a incandescente, obtém-se a Tabela 24 a qual apresenta a diferença, em porcentagem, em relação a incandescente.

Tabela 24 - Relação entre lâmpadas conforme o iluminamento para o cenário 01

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)	
				NBR 15215-4	NBR 5382
Incandescente	FLC	160	37,7	-	-
Fluorescente	AVANT	15	40,8	8,10	11,62
	OSRAM	15	45,7	21,17	25,38
LED	EMPALUX	7	32,3	14,34	14,03

Fonte: Autoria própria

Fazendo a análise da Tabela 24 percebe-se que, mesmo utilizando potências menores de lâmpadas fluorescentes e *LEDs*, o percentual de iluminância mantém-se positivo, representando que é maior do que o indicado, através da potência, pela NBR 5410.

5.3.2.2 Cenário 02

Na Tabela 25 e Tabela 26 é apresentado os valores das iluminâncias medidas das diferentes lâmpadas com potências equivalente menores que 160W, sendo já desconsiderada a parcela referente a iluminação natural.

Tabela 25 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 5382 para o cenário 02

Pontos	Incandescente		Fluorescente			LED	
	FLC (1x70W+1x42W)	AVANT (2X15W)	AVANT (1X15W)	OSRAM (1x15W)	OSRAM (1x23W)	LEDPRO (1x12W)	EMPALUX (2X7W)
1	46,7	77,99	40,3	40,0	61,1	39,3	61,0
2	40,9	64,46	31,5	33,2	54,3	33,0	49,9
3	47,8	71,47	34,1	37,3	60,1	35,7	51,7
4	46,7	68,2	33,7	36,2	58,1	35,9	51,7
Média	45,5	70,5	34,9	36,6	58,4	35,9	53,5

Fonte: Autoria própria

Tabela 26 - Medição da iluminância dos diferentes tipos de lâmpadas conforme NBR 15215-4 para o cenário 02

Pontos	Incandescente		Fluorescente			LED	
	FLC (1x70W+1x42W)	AVANT (2X15W)	AVANT (1X15W)	OSRAM (1x15W)	OSRAM (1x23W)	LEDPRO (1x12W)	EMPALUX (2X7W)
1	41,2	65,8	31,8	33,7	53,7	33,4	49,9
2	43,3	69,8	34,6	36,0	58,4	34,8	55,3
3	38,1	58,5	30,6	31,0	50,7	32,0	45,0
4	48,7	79,4	37,0	40,3	63,2	37,9	56,9
5	48,5	74,6	40,7	40,1	63,7	35,4	77,8
6	45,6	68,3	35,9	37,4	61,8	37,1	60,4
7	45,8	69,7	33,6	35,1	57,9	34,8	48,5
8	48,0	72,9	37,4	38,5	61,5	38,1	56,6
9	44,3	67,2	33,6	34,6	55,8	35,8	48,9
Média	41,2	65,8	31,8	36,3	58,5	35,5	55,5

Fonte: Autoria própria

Fazendo uma análise da iluminância média das lâmpadas fluorescentes e LEDs em relação a incandescente, obtém-se a Tabela 27 a qual apresenta a diferença, em porcentagem, em relação a incandescente.

Tabela 27 - Relação entre lâmpadas conforme o iluminamento para o cenário 02

Tipo	Marca	Potência (W)	Iluminância (lm/m ²)	Diferença em Relação a Incandescente (%)	
				NBR 15215-4	NBR 5382
Incandescente	FLC	160	44,8	0,00	0,00
		30	69,6	55,19	55,00
Fluorescente	AVANT	15	35,0	-21,88	-23,35
	OSRAM	23	58,5	30,53	28,30
		15	36,3	-19,03	-19,45
LED	LEDPRO	12	35,5	-20,86	-20,99
	EMPALUX	14	55,5	23,74	17,69

Fonte: Autoria própria

Após feito as medições, nota-se que a redução em alguns tipos de lâmpadas mantiveram um iluminamento maior que o valor base da lâmpada incandescentes. Os modelos que obtiveram uma porcentagem negativa, segundo a Tabela 27 devem ser evitados para a iluminação de um determinado ambiente, devido a quantidade de luz fornecida por essa lâmpada ser considerado um valor baixo, o qual poderá ocasionar um desconforto visual.

6. CONCLUSÃO

O principal objetivo desse trabalho foi buscar uma correspondência entre as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs* contemplando a potência e o iluminamento, conforme as normas NBR 5410 e ISO 8995-1. Buscou-se analisar o dimensionamento de um projeto para uma sala residencial, visando sua melhor iluminância aliada a eficiência energética. Deve-se lembrar que as equivalências obtidas neste trabalho levaram em conta os dados fornecidos pelos fabricantes e as medições feitas experimentalmente com o auxílio de um luxímetro, em um ambiente residencial o qual é considerado como ideal para a execução do trabalho em questão.

Outro fator relevante neste trabalho é que a área residencial está descoberta pelas normas no quesito iluminância. A NBR 5410 estima apenas a potência necessária para o dimensionamento, porém, está defasada, considerando intuitivamente a potência apenas das lâmpadas incandescentes, as quais estão saindo de circulação devido sua baixa eficiência. Em contra partida, ela direciona o leitor para basear-se na ISO 8995-1 para ser feito o projeto luminotécnico, porém, não aborda-se a área residencial, apenas ambientes de trabalho.

Desse modo, na execução de projetos elétricos residenciais de acordo com a norma NBR 5410, sempre surge a dúvida se a potência em lâmpada (quantidade) a serem instaladas em cada cômodo. Com os resultados dos estudos pode-se concluir que para essa dúvida a resposta é não. Ao utilizar novas tecnológicas de lâmpadas (fluorescentes e *LEDs*), necessita-se de uma menor potência das lâmpadas, conseqüentemente uma menor quantidade de lâmpadas para iluminar um mesmo ambiente, fato que confirma a melhor eficiência e melhor aproveitamento da energia elétrica na residência. Desse modo, a NBR 5410 deveria ser atualizada considerando a potência das lâmpadas fluorescentes e *LEDs*, que apresentam um iluminamento mais eficiente, sendo este um parâmetro que poderia ser considerado para projetos residenciais. Uma das principais dificuldades encontradas é a falta de recurso para obtenção de um padrão de lâmpadas, isto é, diferentes modelos de lâmpadas de um mesmo fabricante e/ou mais fabricantes para melhor precisão do resultado.

Sugere-se para trabalhos futuros, a padronização dos fabricantes de lâmpadas e também a diversificação dos ambientes residenciais para as medições ou um estudo mais detalhado sobre os tipos de luminárias existentes para cada

ambiente, buscando otimizar a iluminação do espaço. Outra sugestão é estudar formas de reduzir o consumo de energia aliado ao custo de implantação ou troca das lâmpadas visando uma redução na conta paga pelo consumidor final.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382 - Verificação de iluminância de interiores**. 1985. 4p.ABNT. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. 1992. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4 Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - método de medição**. 2004. 13p. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**. 2004. 209p. Brasil, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 8995-1**. 2012. Rio de Janeiro, 2012.

AVANT Catálogo de Produtos. Disponível em: <<http://goo.gl/9t3QRg>>. Acesso em: 25 Janeiro 2016.

AZUOS, A. **Cartilhas de Luz**. EQUIPAMENTOS: Lâmpadas Fluorescentes. Acesso em: 24 Janeiro 2016.

BASTOS, Felipe C. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

BERNARDO, Luís M. **Histórias da Luz e das Cores**. Porto: Universidade do Porto, v. 2, 2007. 503 p.

BOWERS, B. **Historical review of artificial light sources**. 1980. 127-133p.IEE Proceedings., 1980.

BRAGA, F. S. et al. **Análise comparativa da eficiência energética e qualidade da energia em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs**. 2014. XII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. UNIFACS, 2014. Disponível em: <www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>. Acesso em: Setembro 2015.

CERVI, M. **Rede de Iluminação Semicondutora para Aplicação Automotiva**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

CHAVES, Patricia W. **Iluminação natural em escritórios. O uso do painel prismático em aberturas laterais.** 2012. 182p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de Iluminação Pública.** 2012.

COSTA, Daniel O. **Estudo e Determinação das Características de Lâmpadas de Diferentes Tipos.** 2010. 97p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho. Braga, 2010.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

DALLA COSTA, M. A.; PRADO, R. N. D. **Reator eletrônico auto-oscilante com alto fator de potência para alimentação de quatro lâmpadas fluorescentes independentes.** 2004. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

EMPALUX. EMPALUX, 2016. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/>>. Acesso em: 25 Janeiro 2016.

FERREIRA, Juliana Z. **Estudo Comparativo Entre Lâmpadas Fluorescentes Tubulares T8 e Tubulares de LED.** 2014. 59p.[s.n.]. Curitiba, 2014.

FLC Catálogo 2016. Disponível em: <<http://goo.gl/0n5341>>. Acesso em: 2016 janeiro 25.

FREITAS, Paula C. F. D. **Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas.** 2009. 60p.Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

GRANDO, Maurício S. **Estudo sobre eficiência energética numa propriedade de produção agrícola.** 2013. 117p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

HARRIS, Jack B. **Electric lamps, past and present.** 1993. 161-170p.IEEE Engineering Science and Education Journal., 1993.

HOLAS, Israel. **Desenvolvimento de um módulo compacto de LED para substituir lâmpada de descarga em luminária de iluminação pública - Luminária Isla.** 2015. 68p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

KAWASAKI, Juliana I. Métodos de cálculo luminotécnico. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. Ano 6, n. 74, p. 36-42, Janeiro 2012.

LEDPRO Lâmpadas. Disponível em: <<http://goo.gl/j0EIH4>>. Acesso em: 25 Janeiro 2016.

LIMA, Valquíria A. D. A. **Estudo comparativo entre lâmpadas com LED de alta potência e lâmpada comuns, considerando a viabilidade econômica**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológico Federal do Paraná - UTPR. Curitiba, 2013.

LUZ, Paulo C. V. **Sistema Eletrônico Isolado com Elevado Fator de Potência e Reduzidas Capacitâncias Para Alimentação de LEDs Aplicado à Iluminação Pública**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MARTELETO, Douglas C. **Avaliação do Diodo Emissor de Luz (LED) para Iluminação de Interiores**. 2011. 96p. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria Interministerial no- 1.007, de 31 de Dezembro de 2010 - Regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energéticas de lâmpadas incandescentes**. 2011. nº 4 - Diário Oficial da União., 2011.

MONTEIRO, Raul et al. Iluminação. **O Setor Elétrico**, n. 98, 2014.

MUSEU DA LÂMPADA. Museu da Lâmpada, 2016. Disponível em: <<http://www.museudalampada.com/>>. Acesso em: 24 Janeiro 2016.

OSRAM Lâmpadas fluorescentes compactas. Disponível em: <<http://goo.gl/3w4rww>>. Acesso em: 23 Janeiro 2016.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 2016.

PINTO, Rafael A. **Projeto e Implementação de Lâmpadas Para Iluminação de Interiores Empregando Diodos Emissores de Luz (LEDs)**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

SALOMÃO, Thais M. **LED, o novo paradigma da iluminação pública**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba, 2011.

SANTOS, Felipe A. D. S. **Eficiência energética na indústria e luminotécnica**. 2013. 81p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

SOBREILUMINAÇÃO Modelos de Lâmpadas LED. Disponível em: <<http://www.sobreiluminacao.com.br/modelos-de-lampadas-led/>>. Acesso em: 22 Janeiro 2016.

SOUSA, Rui M. A. D. **Estudo da Eficiência Energética e Gestão de Energia em Edifícios Escolares**. 2011. Universidade do Porto. Porto, 2011.

TENMARS ELETRONICS CO. LTD. **LUX/FC LED Light Meter TM-201L/TM-209 User's Manual**. 20p. TAIWAN. Disponível em: <www.tenmars.com>.

WANDERLEY, Thiago C. **A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos LEDs**.