

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AMANDA REGINA NERY MARTEL
WALESON MAGAVE MONTEIRO

**ANÁLISE DO USO DE LÂMPADAS LED EM PRÉDIOS PÚBLICOS
CONSIDERANDO OS ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, QUALIDADE DE
ENERGIA E CONFORTO VISUAL**

MACAPÁ-AP

2017

AMANDA REGINA NERY MARTEL
WALESON MAGAVE MONTEIRO

**ANÁLISE DO USO DE LÂMPADAS LED EM PRÉDIOS PÚBLICOS
CONSIDERANDO OS ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, QUALIDADE DE
ENERGIA E CONFORTO VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá, como requisito final para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o. Me. José Henrique Dias Onaka.

MACAPÁ-AP
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

620

M376a

Martel, Amanda Regina Nery.

Análise do uso de lâmpadas LED em prédios públicos considerando os índices de eficiência energética, qualidade de energia e conforto visual / Amanda Regina Nery Martel, Waleson Magave Monteiro; orientador, José Henrique Dias Onaka. -- Macapá, 2017.

78 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica. 2. Iluminação. 3. Lâmpadas de LED. I. Monteiro, Waleson Magave; Onaka, José Henrique Dias, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

AMANDA REGINA NERY MARTEL
WALESON MAGAVE MONTEIRO

**ANÁLISE DO USO DE LÂMPADAS LED EM PRÉDIOS PÚBLICOS
CONSIDERANDO OS ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, QUALIDADE DE
ENERGIA E CONFORTO VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Amapá, como
requisito final para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o. Me. José Henrique Dias
Onaka.

Banca Examinadora:

Prof^o. Me. José Henrique Dias Onaka
Orientador – UNIFAP

Prof^o. Me. Felipe Monteiro – UNIFAP

Prof^o. Me. Andrey da Costa Lopes – UNIFAP

Apresentado em: ____/____/____

Conceito: _____

MACAPÁ-AP

2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse e por nos ter dado saúde e força para superarmos as dificuldades.

Agradecemos aos coordenadores do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá por terem acreditado em um sonho que agora é de todos e que com dedicação, presteza e competência conduzem seu trabalho.

Agradecemos a todos os professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas, os quais tomamos como exemplo profissional.

Agradecemos ao nosso orientador, José Henrique Dias Onaka, pela paciência e prestatividade singular durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos aos nossos colegas de classe e futuros excelentes colegas de profissão pelas contribuições e companheirismo no decorrer desses anos.

Agradecemos às nossas famílias pelo incentivo, paciência e confiança incondicional em toda a nossa formação, além do apoio, estímulo e credibilidade.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação e ajudaram na realização deste trabalho, o nosso muito obrigado.

RESUMO

A crescente preocupação em tornar mais eficiente o sistema energético tem chamado a atenção de diversos países desde a década de 1970, trazendo grandes discussões à tona e possibilitando estudos nessa área. A criação de programas e leis vem sendo considerada como incentivo para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. Este trabalho baseia-se nos estudos de Eficiência Energética, tendo como principal proposta a comparação entre as lâmpadas LED e fluorescentes. Por ser um tema relevante nos dias atuais, a escolha desse conteúdo busca dar destaque à utilização da tecnologia LED na iluminação de um prédio público, em Macapá-AP, e mostrar as implicações dessa mudança no contexto da qualidade de energia e conforto visual, além de efetuar um estudo econômico revelando os valores para fins de comparação entre a lâmpada fluorescente e a lâmpada LED. Para a construção do trabalho, foram abordadas referências que auxiliaram na sua realização; em seguida, foram constatadas as características do local escolhido para o estudo e, por fim, foram executadas as medições para a avaliação da qualidade de energia utilizando o analisador Fluke 43B, além de medições da iluminância com um luxímetro, a fim de contribuir quantitativamente para a análise do conforto visual. Após as medições, foram observadas diferenças na potência absorvida, sendo as lâmpadas LED as que menos consumiram energia e apresentaram iluminância maior que as fluorescentes. Em relação à qualidade de energia, o uso de lâmpadas LED diminuiu a incidência de harmônicos na faixa de corrente, sendo a melhor opção para um ambiente eficiente.

Palavras-chave: Eficiência energética. Tecnologia LED. Iluminação.

ABSTRACT

The raising concern to make the energy system more efficient has drawn the attention of many countries since 70's, bringing about many discussions and making studies in this area possible. The creation of programs and laws have been considered as incentive to the development of more efficient technologies. This written assignment is based on studies about Energy Efficiency having as main proposal the LED and fluorescent lamps comparisons. By being a relevant theme nowadays, the choice of this content seeks to provide more emphasis to LED technology use in Public buildings illumination, in Macapá-AP, and it shows changing implications in Energy context and visual comfort, in addition to make an economic study revealing values in order to compare LED and fluorescent lamps. To build this graduation work, references that subsidized its accomplishment were addressed; next, the characteristics of the chosen location for study were found and, finally, using Fluke 43B analyzer the environment parameters were measured for Quality Energy evaluation, and illuminance measures were found through a luxmeter in order to contribute quantitatively for a visual comfort analysis. After the measures were realized differences in absorbed power, being LED lamps the one which had lower energy consumption and presented higher illuminance than fluorescent lamps. About Energy Quality, using LED lamps had decreased the harmonics in current band, being the best option for an efficient environment.

Keywords: Energy Efficiency. LED Technology. Illumination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Programas de eficiência energética	19
Figura 2 – Lâmpada incandescente	26
Figura 3 – Lâmpadas incandescentes halógenas	27
Figura 4 – Lâmpada fluorescente compacta	28
Figura 5 – Processo de emissão de luz de um LED.....	30
Figura 6 – Mistura aditiva de cor	31
Figura 7 – Espectro eletromagnético.....	33
Figura 8 – Iluminância	34
Figura 9 – Iluminância e Luminância	35
Figura 10 – Tonalidade de cor e reprodução de cores.....	36
Figura 11 – Disposição das luminárias.....	43
Figura 12 – Espaçamento máximo entre luminárias	44
Figura 13 – Lâmpada fluorescente utilizada.....	45
Figura 14 – Lâmpada LED OUROLUX.....	46
Figura 15 – Luxímetro AKSO AK309.....	47
Figura 16 – Analisador de qualidade de energia	47
Figura 17 – Medição da qualidade de energia	49
Figura 18 – Ambiente de estudo do trabalho	50
Figura 19 – Variação de tensão e corrente com fluorescente	54
Figura 20 – Dados de tensão e corrente com fluorescente	54
Figura 21 – Espectro de harmônicos na rede com fluorescente	55
Figura 22 – Dados de harmônicos na rede com fluorescente	55
Figura 23 – Variação de tensão e corrente com LED.....	56
Figura 24 – Dados de tensão e corrente com LED	56
Figura 25 – Espectro de harmônicos na rede com LED.....	57
Figura 26 – Dados de harmônicos na rede com LED.....	57
Quadro 1 – Índice de reprodução de cor	37
Quadro 2 – Fatores determinantes da iluminação adequada.....	38
Quadro 3 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais	39
Quadro 4 – Índices de refletância.....	41
Quadro 5 – Fator de depreciação.....	42
Quadro 6 – Medidas da sala com fluorescentes	52

Quadro 7 – Medidas da sala com LED.....	53
Quadro 8 – Análise dos custos e retorno do investimento	59
Gráfico 1 – Classificação da iluminação fluorescente	61
Gráfico 2 – Classificação da iluminação LED.....	61
Gráfico 3 – Desenvolvimento de atividades com fluorescente	62
Gráfico 4 – Desenvolvimento de atividades com LED.....	62
Gráfico 5 – Nível de iluminação fluorescente	63
Gráfico 6 – Nível de iluminação LED.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PROCEL-EPP	Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos
CICEs	Comissões Internas de Conservação de Energia
PMAP	Polícia Militar do Amapá
BPM	Batalhão da Polícia Militar
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá
IDAE	Instituto para Diversificação e Economia Energética
DoE	Departamento de Energia Americano
EERN	Energy Efficiency and Renewable Energy Network
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural
PNE	Plano Nacional de Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
CLP	Controlador Lógico Programável
IRC	Índice de reprodução de cor
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
THD	Taxa de Distorção Harmônica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivo	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Descrição do objeto	15
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Eficiência energética	17
2.1.1	Eficiência energética no mundo.....	17
2.1.2	Eficiência energética no Brasil.....	18
2.2	Qualidade de energia elétrica	20
2.2.1	O que é qualidade de energia elétrica?	20
2.2.2	Principais perturbações encontradas nos sistemas elétricos	21
2.2.2.1	Transitórios.....	21
2.2.2.2	Afundamentos de tensão de curta duração “Voltage Sag”	22
2.2.2.3	Elevações de tensão de curta duração “Voltage Swell”	22
2.2.2.4	Subtensão em regime permanente	22
2.2.2.5	Sobretensão em regime permanente	23
2.2.2.6	Interrupções no fornecimento de energia	23
2.2.2.7	Oscilações de tensão	23
2.2.2.8	Harmônicos	23
2.2.2.9	Desequilíbrios.....	24
2.2.2.10	Nível CC	24
2.2.2.11	Inter-harmônicos.....	24
2.2.2.12	Notching	24
2.2.2.13	Ruídos	24
2.2.2.14	Variações na frequência da tensão do sistema	25
2.3	Tipos de lâmpadas	25
2.3.1	Lâmpadas incandescentes.....	25
2.3.1.1	Incandescentes tradicionais	25

2.3.1.2	Incandescentes halógenas	26
2.3.2	Lâmpadas de descarga	27
2.3.2.1	Lâmpadas fluorescentes	27
2.4	A tecnologia LED	29
2.4.1	Diodo emissor de luz	29
2.4.2	Princípios de funcionamento	29
2.4.3	Uso do LED para iluminação	31
2.5	Conceitos de luminotécnica	32
2.5.1	Grandezas básicas da luminotécnica	33
2.5.2	Características das lâmpadas	35
2.6	Elaboração de um projeto luminotécnico	37
2.6.1	Elementos de projeto de iluminação	37
2.6.2	Método dos lúmens	38
2.6.2.1	Selecionando a iluminância	38
2.6.2.2	Selecionando a luminária	40
2.6.2.3	Determinando o índice do local	40
2.6.2.4	Determinando o fator de utilização	41
2.6.2.5	Determinando o fator de depreciação	41
2.6.2.6	Determinando o número total de luminárias	42
2.6.2.7	Disposição das luminárias	43
3	ENSAIOS E ANÁLISE DAS LÂMPADAS: LED E FLUORESCENTE.....	45
3.1	Materiais utilizados	45
3.1.1	Lâmpada fluorescente atual	45
3.1.2	Lâmpada LED	45
3.1.3	Luxímetro.....	46
3.1.4	Analisador de qualidade de energia elétrica.....	47
3.2	Métodos.....	48
3.2.1	Medições	48
3.2.2	Avaliação da economia de energia.....	49
3.3	Resultados e discussão.....	50
3.3.1	Iluminância	52
3.3.1.1	Cenário atual	52
3.3.1.2	Cenário proposto	53
3.3.2	Qualidade de energia	53

3.3.2.1	Cenário atual	54
3.3.2.2	Cenário proposto	56
3.3.3	Viabilidade econômica.....	58
3.3.4	Conforto visual.....	60
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE A – Modelo do questionário	71
	ANEXO A – Tipos de curvas de distribuição luminosa.....	72
	ANEXO B – Fator de utilização.....	74

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos elementos primordiais e atualmente indispensável para a vivência da sociedade. Não há como dissociar os avanços tecnológicos da utilização cada vez maior das fontes de energia, sejam elas renováveis ou não, trazendo assim um fato que está cada vez mais em destaque: o desequilíbrio ambiental.

O uso de fontes de energia derivadas do petróleo tem sido objeto de preocupação mundial nos congressos sobre eficiência energética e meio ambiente, consequência da grande poluição e das emissões de dióxido de carbono, que contribuem diretamente para o aquecimento global. Desta forma, os países e grandes líderes mundiais têm encontrado medidas para otimizar o uso da energia, favorecendo a exploração de recursos renováveis em detrimento ao de combustíveis fósseis, na esperança de diminuir os impactos ocasionados ao meio ambiente.

Em virtude de problemas relacionados às mudanças climáticas é que se pensou em um melhor aproveitamento dos recursos energéticos, partindo daí a importância do emprego da eficiência energética para a sociedade, trazendo benefícios, tais como a diminuição de custos de produção, a produção de bens mais competitivos e de melhor preço, a garantia de retorno de investimento e a poupança de recursos naturais. Sabendo-se, então, da grande importância do conceito de eficiência energética para o mundo, as empresas passaram a investir em tecnologias alternativas, dentre elas, na área da Engenharia Elétrica, a utilização das lâmpadas *Light Emitting Diode* (LED) – em português, “Diodo Emissor de Luz” – que têm substituído as lâmpadas fluorescentes na tentativa de melhorar não somente aspectos econômicos a partir da perspectiva do consumidor (uma vez que aquela tem maior durabilidade), como também reduzir o consumo de energia sem comprometer as medidas que garantem o conforto visual no referido ambiente, proporcionando assim maior eficiência no seu uso e possuindo um melhor custo-benefício.

Com base nesse contexto, o trabalho em questão tratará de uma reforma no sistema de iluminação em um prédio do serviço público na cidade de Macapá-AP, a qual deverá substituir as lâmpadas convencionais instaladas pelas lâmpadas de tecnologia LED, visando às melhorias relacionadas à eficiência energética e buscando avaliar os impactos gerados.

Portanto, para a consolidação deste estudo, alguns pontos serão levados em conta, a fim de buscar argumentos que respondam às perguntas: qual a importância da utilização da tecnologia LED na contribuição para a eficiência energética? Quais os impactos que serão causados após a substituição dos equipamentos? De que forma o novo sistema auxiliará para que o consumo seja reduzido?

Será oportuno traçar comparações entre os tipos de lâmpadas existentes, tanto fluorescente quanto LED, e avaliar as informações técnicas do fabricante. Além disso, entende-se que o conforto, cuja parcela subjetiva é considerável, é imprescindível para justificar a escolha das lâmpadas a serem utilizadas neste trabalho.

1.1 Justificativa

Muito se tem discutido, recentemente, acerca de reformas nos sistemas de iluminação, como forma de reduzir gastos aliados à eficiência e ao conforto visual, sendo apoiadas em critérios técnicos, os quais são seguidos baseados em normas. É importante lembrar que a redução dos custos com energia elétrica está relacionada com as adequações necessárias feitas no sistema, a fim de oferecerem melhor eficiência.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (2011), os programas investidos pelas concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia tiveram a finalidade de mostrar à sociedade a importância e viabilidade econômica de intervenções voltadas para o combate ao desperdício e para o aumento da eficiência energética, buscando promover mudanças no mercado de energia elétrica e impulsionar tanto o desenvolvimento de tecnologias como hábitos de uso racional de energia.

A Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, foi alterada pela Lei nº 13.280, de 03 de maio de 2016, determinando que as concessionárias e permissionárias de distribuição poderão aplicar 80% dos recursos destinados a programas de eficiência energética em unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social de Energia Elétrica, em comunidades de baixa renda e rurais, de acordo com os regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Sendo assim, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) passou a ter direito a 20% desses recursos, atribuindo à ANEEL a capacidade de determinar o calendário de recolhimento e a forma de pagamento dos mesmos.

Pode-se mencionar que os prédios públicos estão inseridos na classe de consumo Poder Público, de acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, sendo que do consumo total de energia no país que foi de 426 TWh, em 2009, os prédios públicos consumiram aproximadamente 12 TWh, contribuindo com 2,8% do total (PNEF, 2011).

O Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos (PROCEL-EPP), que foi formado em julho de 1997, teve o objetivo de promover ações de eficiência energética em prédios públicos, estimulando a criação das Comissões Internas de Conservação de Energia (CICEs) dentro dos estabelecimentos públicos, fornecendo capacitação, informação e orientação aos gestores e demais servidores com relação às medidas a serem tomadas para se reduzir os gastos dos prédios com consumo e demanda, além de proporcionar melhoria nas condições de trabalho e conforto. Para isso, uma das estratégias foi a substituição do sistema relativamente antigo por tecnologias mais eficientes.

Outra medida relacionada à redução dos custos, em meio à crise hídrica no Brasil, de acordo com o Ministério de Minas e Energia, em 2015, foi a pretensão do lançamento de programa para combater o uso inconsciente de energia pelos consumidores, incluindo prédios públicos, para incentivar a troca das lâmpadas por opções mais eficientes, sendo sua maior preocupação o horário de pico de energia.

Existem muitos estudos relacionados à eficiência energética em prédios públicos que, quando aplicados em estabelecimentos com instalações antigas, são válidos pelo fato de trazerem mudanças na economia, conforto, segurança e ainda contribuir de maneira sustentável com o meio ambiente. Essa diversidade de estudos de efficientização em órgãos públicos, entretanto, não inclui de forma abrangente o estado do Amapá.

No que cerne aos objetivos do trabalho, observou-se o prédio do 6º Batalhão da PMAP (Polícia Militar do Amapá¹) como objeto de estudos acerca dos elementos de eficiência energética, bem como desenvolver pesquisa *in loco*, a fim de obter informações sobre o atual cenário e, posteriormente, analisar soluções que adequem o prédio às políticas de eficiência energética, haja vista que a Polícia Militar é órgão

¹ O 6º Batalhão da Polícia Militar (BPM) está localizado na Avenida Rio Xingu, número 357, no bairro Perpétuo Socorro – Macapá-AP.

pertencente ao Poder Executivo, cuja importância social se faz presente nas ações de prevenção da criminalidade, projetos sociais e conscientização ambiental.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral o estudo da eficiência energética por meio de análises dos impactos causados com a inserção de lâmpadas LED no ambiente designado no prédio do 6º Batalhão de Polícia Militar, comparadas às lâmpadas fluorescentes usadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Analisar normas técnicas, políticas públicas e legislação vigente, que tratem a respeito do emprego da Eficiência Energética;
- Levantar dados a respeito da tecnologia LED e seu uso em ambientes de trabalho;
- Implantar um sistema de iluminação com lâmpadas LED no prédio do 6º Batalhão da PMAP;
- Realizar a análise dos impactos da qualidade de energia do novo sistema, análise econômica e do conforto visual;
- Estimar os efeitos causados pelas novas lâmpadas LED através de uma sala experimental.

1.3 Descrição do objeto

A metodologia proposta será aplicada na sala de Divisão de Logística do 6º Batalhão da Polícia Militar, com cerca de 6 horas diárias de funcionamento, sendo que a energia elétrica do estabelecimento é suprida pela concessionária do estado, Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA), a qual entrega uma tensão de 220 V e

por ser consumidor do Grupo B (baixa tensão), possui tarifa monômnia, isto é, cobrado apenas pela energia que consome.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi estruturado em três partes:

Parte 1: Introdução do que abrange o trabalho, contendo a justificativa, os objetivos e a descrição do objeto.

Parte 2: Referencial teórico composto por toda a contextualização, apresentando conceitos gerais de eficiência energética no Brasil e no mundo, e qualidade de energia, além de abordar os tipos de lâmpadas e conceitos luminotécnicos, chegando ao ponto do trabalho, que é a lâmpada LED.

Parte 3: É onde se inicia o estudo, passando pela descrição dos materiais utilizados e das medições, até os resultados finais, sendo discutidos conforme são expostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eficiência energética

2.1.1 Eficiência energética no mundo

As crises de suprimento de energia, causadas principalmente pelo choque do petróleo, foram o motivo pelo qual os diversos países se mobilizaram para estabelecer mudanças nas formas de gerenciamento de energia e no seu uso (CASTRO, 2015). Este fato também é mencionado por Nascimento (2015, p. 4), que aponta que “a preocupação mundial com eficiência energética ganhou força na década de 70, após os choques do petróleo de 1973 e 1979”. Outro fato levantado por Castro (2015) foi que em meados da década de 80, outro problema ocorreu, relacionado ao uso dos combustíveis fósseis derivados do petróleo, que colocou em situação crítica o clima.

Dessa forma, trouxe à tona maiores discussões de proporção mundial, tendo como resultado o surgimento do Protocolo de Kyoto, que, de acordo com Moreira e Giometti (2006, p. 10), “estabelece metas de redução de emissão de gases de efeito estufa e mecanismos adicionais de implementação para que estas metas sejam atingidas”. Portanto, programas ligados à eficiência energética surgiram em vários países como forma de estímulo para alcançar tais benefícios.

A respeito disso, Costa (2007, p. 26) relata que “o Canadá iniciou seus programas de eficiência energética em meados da década de 1970”, sendo que o *National Action Program on Climate Change* foi criado em 1995.

Castro (2015) comenta que na Espanha, o Instituto para Diversificação e Economia Energética (IDAE) realiza projetos que levam ao uso da energia de forma mais racional, por meio de fontes renováveis, auditorias, combustíveis limpos e substituição de equipamentos menos eficientes.

Ainda nesta mesma linha, entre outros países, os Estados Unidos têm seus programas desenvolvidos pelo Departamento de Energia Americano (DoE), que opera com o *Energy Efficiency and Renewable Energy Network* (EERN), tendo como função o estímulo do uso das fontes alternativas de energia (CASTRO, 2015).

De acordo com um estudo realizado por Teske (2010, p. 18), “até 2050, espera-se que 26% da demanda energética possa ser reduzida com a implantação de

medidas que usem o lema ‘mais com menos’”, considerando que investir em eficiência energética tem custo menor se comparado com a geração de energia, sendo um investimento mais simples. Outra consideração é que uma postura inovadora, com melhores práticas e tecnologias, é a verdadeira definição para o ato de colocar em prática as medidas de eficiência energética.

2.1.2 Eficiência energética no Brasil

A grande atenção para com o meio ambiente e com as mudanças climáticas foi um fator fundamental na busca pela eficiência energética, a qual, segundo Nascimento (2015), se dá através de medidas aplicadas, que contribuem para uma redução de energia, capaz de atender as demandas energéticas. Considera também que essas medidas envolvem mudanças tecnológicas durante a produção, distribuição e o uso da energia e, sendo assim, acarretam em uma melhor gestão energética.

Pimentel (2011, p. 90), reforça que os “avanços em eficiência energética implicam a utilização de quantidades menores de energia para a produção de um bem ou serviço”.

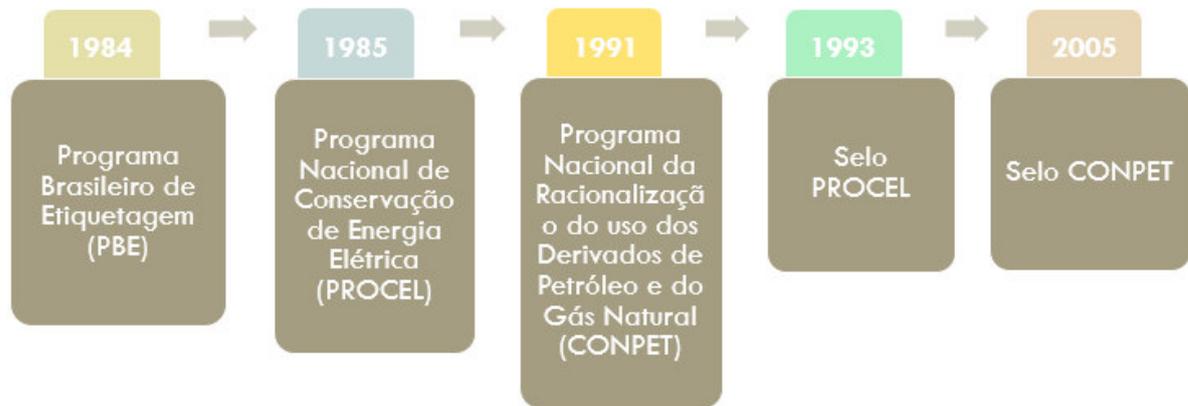
Seguindo esses pensamentos, em 1984, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi criado, sendo inicialmente responsável por diminuir o desequilíbrio de informações entre o consumidor e o fabricante (VIANNA, 2014).

Conforme Jannuzzi (2004), é aceitável declarar que o que motivou a criação dos programas de eficiência energética foram as pressões ambientais internacionais que afetaram o Brasil. Dessa forma, afirma que as criações do PROCEL, em 1985, e do Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET), em 1991, foram as maiores iniciativas do governo federal em estabelecer uma política pública com a finalidade de controlar a demanda de energia.

A partir disso, Vianna (2014) aponta ainda que o PBE estabeleceu parceria com os dois programas, depois de instituído o Selo PROCEL, em 8 de dezembro de 1993 e implantado o Selo CONPET, em 2005.

A ordem cronológica da criação dos programas de eficiência energética no Brasil pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Programas de eficiência energética



Fonte: Elaborada pelos autores.

Em 2001, foi sancionada a Lei nº 10.295, chamada Lei de Eficiência Energética, responsável por incentivar a produção de bens mais eficientes, promover o desenvolvimento tecnológico e a preservação ambiental. A mesma “determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) [...]” (PROCEL INFO, 2014, p. 49).

Jannuzzi (2004), por seu lado, admite que, embora no país tenhamos sido capazes de criar programas e leis relacionados à conservação e demais mecanismos para avançar no aspecto do uso eficiente de energia, a gestão e implementação dos mesmos não ocorreram de forma inteligente. Vale notar a contribuição de Vianna (2014), que reforça a necessidade de maior comprometimento do governo, embora a preocupação com os princípios de conservação de energia seja grande.

Viana et al. (2012) aborda, em sua obra, sobre as metas do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), tendo sido elaborado a partir do planejamento do setor de energia.

[...] o Plano Nacional de Energia (PNE2030) definiu para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica, a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos, e evidenciou a necessidade de elaborar um plano específico para atender esse desafio. Com esse propósito, o Ministério de Minas e Energia vem elaborando o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que deverá nortear essas atividades e constituir um direcionamento fundamental para o desenvolvimento da eficiência energética no País. (VIANA et al., 2012, p. 31).

Nesse contexto, Nascimento (2015) relata que o Ministério de Minas e Energia (MME) aprovou o PNEf, mediante a Portaria nº 594, de 2011.

2.2 Qualidade de energia elétrica

2.2.1 O que é qualidade de energia elétrica?

A expressão “Qualidade de Energia” está diretamente relacionada às perturbações e desvios presentes em um sistema de energia elétrica. Esses problemas estão presentes em todas as etapas do ciclo de produção e consumo da energia, sendo então objeto de atenção por partes das geradoras, empresas transmissoras e concessionárias, elencando assim uma maior busca de soluções e meios de minimizar os problemas relativos à energia elétrica. Para Paulilo (2016), o conceito dessa perda de qualidade pode ser definido como “qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos elétricos”.

Atualmente, a qualidade do produto energia é bastante pertinente e vem sendo estudada devido às mudanças nas tecnologias e maquinários. Esta preocupação por parte das empresas quanto por parte dos consumidores se dá por conta da mudança tecnológica dos equipamentos, tanto da operação quanto dos eletrônicos na residência do consumidor final, isto é, o equipamento se tornou mais sensível aos desvios e perturbações da rede elétrica. Paulilo (2016) afirma que “muitos dos aparelhos modernos contêm controles microprocessados [...], tornando-os muito sensíveis a certos tipos de distúrbios, que [...] resultam em má operação, e sobretudo, redução da vida útil”.

A fim de tornar a energia mais eficiente no sistema elétrico, passou-se a utilizar equipamentos de alta eficiência, a exemplo de bancos de capacitores para correção de fator de potência. No entanto, verificou-se que se por um lado o fator de potência for corrigido, por outro haverá um aumento nas amplitudes das componentes harmônicas no sistema elétrico. Sendo assim, futuramente, os níveis dos harmônicos poderão ser um dos elementos impactantes na rede elétrica, e novas medidas deverão ser pensadas para a sua correção.

A nível de consumidor final, o interesse na “qualidade de energia” vem aumentado de tal forma que os consumidores têm estado mais bem informados em relação a alguns eventos de natureza técnica da eletricidade. Por conta disso, os mesmos consumidores vêm cobrando das concessionárias para que prestem um melhor serviço e forneçam uma energia de qualidade. Em relação à esta situação,

Paulilo (2016) define que “um serviço de fornecimento de energia elétrica é de boa qualidade quando garante, a custos viáveis, o funcionamento seguro e confiável de equipamentos e processos, sem afetar o meio ambiente e o bem-estar das pessoas”.

2.2.2 Principais perturbações encontradas nos sistemas elétricos

Alguns fenômenos podem influenciar na qualidade da energia elétrica, sendo que os distúrbios podem se originar tanto na entrega da energia pela concessionária quanto no próprio sistema do consumidor devido a aparelhos por ele utilizados. Alguns aparelhos eletrônicos podem influenciar nos níveis dos harmônicos da rede elétrica e no ruído presente na onda de tensão e corrente, por exemplo.

Os principais fenômenos que causam perturbações na rede elétrica, prejudicando a “qualidade de energia”, segundo Júnior, Gondim e Bernardes (2005), são:

- a) transitórios;
- b) afundamentos de tensão de curta duração “Voltage Sag”;
- c) elevações de tensão de curta duração “Voltage Swell”;
- d) subtensão em regime permanente;
- e) sobretensão em regime permanente;
- f) interrupções no fornecimento de energia;
- g) oscilações de tensão;
- h) harmônicos;
- i) desequilíbrios;
- j) nível CC;
- k) interharmônicos;
- l) *notching*;
- m) ruídos;
- n) variações na frequência da tensão do sistema.

2.2.2.1 Transitórios

São alterações súbitas nas condições operacionais no sistema elétrico, geralmente oriundas de descargas atmosféricas na rede, chaveamentos de cargas, capacitores, transformadores e outros. Este fenômeno faz com que equipamentos

sejam submetidos a solicitações de tensão e correntes em níveis anormais, ocasionando assim a diminuição da vida útil ou mal funcionamento. Existem dois tipos de transitórios: os impulsivos e os oscilatórios.

2.2.2.2 Afundamentos de tensão de curta duração “Voltage Sag”

Caracterizados por uma redução no valor eficaz da tensão, na faixa de 0,1 a 0,9 pu, na frequência fundamental, cuja duração está entre 0,5 ciclo e 1 minuto. (JUNIOR; GONDIM; BERNARDES, 2005). Alguns dos causadores destes fenômenos são: partida de motores de grande potência, conexão de cargas de alta potência à rede elétrica e curtos-circuitos ocorridos na rede de distribuição. As consequências deste distúrbio estão na diminuição da velocidade de motores de indução, falhas em equipamentos eletrônicos, controladores lógicos programáveis (CLP's), computadores, etc.

2.2.2.3 Elevações de tensão de curta duração “Voltage Swell”

Caracteriza-se por uma elevação na tensão eficaz na ordem de 1,1 a 1,8 pu, cuja duração esteja entre 0,5 ciclo e 1 minuto. Geralmente são causados por curtos-circuitos fase-terra e por perda de grandes cargas. As consequências são diminuição da vida útil de equipamentos, maior exigência de trabalho dos materiais isolantes, má utilização ou inutilização de aparelhos eletrônicos.

2.2.2.4 Subtensão em regime permanente

Este fenômeno é caracterizado por decréscimo de tensão com valor abaixo de 0,9 pu, na frequência fundamental, cujo período de duração é maior que 1 minuto. Ocorre, em geral, por cargas excessivas nos circuitos alimentadores e desligamento de bancos capacitores. Podem ocasionar em interrupção na operação de equipamentos, diminuição da iluminação de lâmpadas e redução do reativo fornecido por bancos capacitores.

2.2.2.5 Sobretensão em regime permanente

A sobretensão caracteriza-se por um aumento acima de 1,1 pu na tensão eficaz, na frequência fundamental, cuja duração é maior que 1 minuto. É ocasionada por desligamento de cargas de alta potência, energização de bancos capacitores, etc. Os maiores efeitos são os danos causados aos equipamentos eletrônicos e operação indevida de componentes na rede elétrica.

2.2.2.6 Interrupções no fornecimento de energia

As interrupções são classificadas em duas: de curta duração e sustentada. A primeira acontece quando o nível de tensão eficaz se reduz a um valor menor que 0,1 pu por um período entre 0,5 ciclo e 1 minuto. A segunda ocorre quando o nível de tensão se mantém em zero por tempo superior a 1 minuto. Ocorrem devido a faltas no sistema, falhas em equipamentos da rede, curtos-circuitos devido a descargas atmosféricas, etc. Ocasionalmente causam falhas em aparelhos eletrônicos, interrupções de máquinas e sistemas de iluminação.

2.2.2.7 Oscilações de tensão

Correspondem a variações no valor da tensão eficaz na faixa de 0,95 a 1,05 pu. São ocasionadas por fornos a arco, máquinas de solda, partida direta de grandes motores, etc. As consequências deste distúrbio são percebidas na oscilação da potência e conjugado de máquinas elétricas, queda de rendimento de equipamentos e cintilação luminosa ("flicker").

2.2.2.8 Harmônicos

São tensões ou correntes senoidais cujo valor da frequência é múltiplo inteiro da frequência fundamental operante no sistema elétrico. Estes harmônicos distorcem a forma de onda da tensão e corrente, sendo ocasionados por cargas não-lineares no sistema, tais como inversores de frequência, computadores, lâmpadas de descarga, etc. Os efeitos são superaquecimento de cabos, equipamentos, etc.

2.2.2.9 Desequilíbrios

São as diferenças de tensão ou corrente nas fases dos sistemas trifásicos, assimetria nos ângulos de fase, ou os dois eventos concomitantes. Ocorrem devido a cargas monofásicas e bifásicas, assimetria entre impedâncias, etc.

2.2.2.10 Nível CC

Ocorre quando é identificada a presença de tensão ou corrente contínua em um sistema elétrico CA, sendo denominado de “DC offset”.

2.2.2.11 Inter-harmônicos

São componentes de frequências de tensão ou corrente cuja ordem não é múltipla da frequência fundamental do sistema. Ocasionalmente por conversores estáticos de potência, motores de indução, etc. Os efeitos mais notáveis são a interferência na transmissão de sinais e “flicker” na tela de equipamentos.

2.2.2.12 *Notching*

Acontece quando a corrente é comutada de uma fase para outra. Ocasionalmente por equipamento de eletrônica de potência, seu maior efeito é a redução da vida útil de equipamentos eletrônicos.

2.2.2.13 Ruídos

Sinal elétrico indesejado é a definição de ruído. Ocorre quando uma larga faixa espectral com frequências menores que 200 kHz se superpõem às correntes ou tensões de fase. São causadas por chaveamento de equipamentos eletrônicos de potência ou radiações eletromagnéticas.

2.2.2.14 Variações na frequência da tensão do sistema

São desvios no valor da frequência de operação (no Brasil, 60 Hz). São causadas por perda na geração ou na transmissão, podendo causar danos em geradores e turbinas hidrelétricas.

2.3 Tipos de lâmpadas

2.3.1 Lâmpadas incandescentes

Em 1879, a primeira lâmpada incandescente comercializável foi construída por Thomas Alva Edison, sendo produzida em grande quantidade. Inicialmente, a lâmpada era de fio de carbono, e quando o filamento de metal de ósnio foi desenvolvido, em 1900, a mesma passou a consumir metade da energia da lâmpada de carbono. Já em 1903, foi desenvolvida em Berlim a primeira lâmpada com um filamento tântalo e, por fim, foram testados filamentos de tungstênio, os quais ainda são usados.

Embora possuam baixa eficiência, as lâmpadas incandescentes foram muito usadas, pelo fato de possuírem menor custo no mercado. Contudo, foi proibida a comercialização de lâmpadas de 150 W ou mais no Brasil, sendo seu uso liberado em residências até 2017 (SANTOS, 2014).

2.3.1.1 Incandescentes tradicionais

O funcionamento dessas lâmpadas ocorre com a passagem de corrente elétrica através do filamento de tungstênio, que chega a uma temperatura superior a 2000° C. Sua vida útil é em média 1000 horas e possui eficiência luminosa de aproximadamente 17 lm/W. Essa eficiência é baixa por ter maior parte da energia consumida transformada em calor (VIANA et al., 2012).

Figura 2 – Lâmpada incandescente



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3.1.2 Incandescentes halógenas

Assim como as lâmpadas incandescentes tradicionais, as lâmpadas halógenas apresentam o mesmo princípio de funcionamento, porém, com a presença de gases halógenos, que se combinam com o tungstênio e fazem com que esses átomos voltem para o filamento, caracterizando um ciclo regenerativo, com a finalidade de evitar o rápido escurecimento, aumentar a vida útil e eficiência luminosa da lâmpada (SILVA, 2011).

No entanto, segundo Santos (2014), as lâmpadas halógenas lançam mais radiações ultravioletas se comparadas com as tradicionais, porém, é menor que as radiações infravermelhas.

Figura 3 – Lâmpadas incandescentes halógenas



Fonte: SILVA, Nuno Goulart Macedo Medeiros, 2011.

2.3.2 Lâmpadas de descarga

O funcionamento das lâmpadas de descarga consiste na produção de luz por meio de descarga elétrica contínua em um gás ou mistura de gases contidos no bulbo, que, em seguida, é excitado pela radiação de descarga (SILVA, 2011).

Viana et al. (2012) comenta sobre os equipamentos que auxiliam no funcionamento das lâmpadas de descarga, como o reator, que limita a corrente, e o ignitor, que fornece a tensão necessária para a descarga elétrica.

Conforme Alvarez (1998), as lâmpadas de descarga são divididas em dois grupos: baixa pressão (fluorescente e sódio) e alta pressão (mercúrio, sódio e vapor metálico).

2.3.2.1 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes tubulares foram inicialmente desenvolvidas com um diâmetro de 38 mm, chamadas de T12. Com o tempo, foram desenvolvidas com diâmetro menor e mais eficientes (SANTOS, 2014).

A produção da luz é por meio de pó fluorescente, o qual é ativado pela radiação ultravioleta da descarga. Em seu formato normalmente tubular, possui um filamento em cada extremidade, onde o bulbo é constituído de “vapor de mercúrio em baixa pressão com uma quantidade de gás inerte para facilitar a partida” (VIANA et al., 2012, p. 134).

Ainda segundo Santos (2014), o tubo é coberto internamente com um material à base de fósforo, que tem a função de emitir a luz, tendo em vista que a descarga

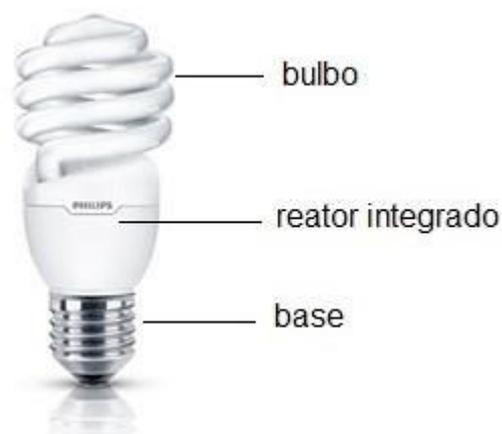
elétrica emite grande parte da radiação ultravioleta, onde o pó fluorescente age transformando-a em luz.

Os eletrodos, que estão localizados um em cada extremidade do tubo, classificam-se em cátodo frio, cujas lâmpadas já não são mais comercializadas atualmente, e em cátodo quente, mais utilizado nas lâmpadas atuais (SCHMIDT et al., 2002). Para lâmpadas que possuem cátodo quente com pré-aquecimento, precisam de um reator e *starter*; para o cátodo sem pré-aquecimento, a lâmpada precisa de um reator de construção especial.

Viana et al. (2012) considera que as lâmpadas fluorescentes compactas, as quais foram desenvolvidas com a finalidade de substituir as incandescentes com relação ao tamanho e outras características, possui modelos de base em rosca ou pino. Embora apontem um fluxo luminoso equiparado ao de uma lâmpada incandescente, as fluorescentes possuem potências menores, tendo como consequência uma economia de energia de até 80%, vida útil maior e melhor definição de cores. No entanto, a vida útil das lâmpadas de cátodo quente varia de 7.500 a 20.000 horas, enquanto das compactas é de 3.000 a 12.000 horas.

Para Alvarez (1998, p. 20), o percentual de energia térmica convertida na produção de luz da lâmpada fluorescente é menor do que na incandescente de mesmas características.

Figura 4 – Lâmpada fluorescente compacta



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.4 A tecnologia LED

Em 1963, a tecnologia LED foi criada por Nick Holonyac, sendo inicialmente usada para acionamento e sinalização de equipamentos na área de eletrônica. Tendo em vista o tamanho e eficiência dessa tecnologia semicondutora, os estudos e investimentos cresceram e a tornaram útil em várias aplicações de iluminação (SANTOS, 2014).

2.4.1 Diodo emissor de luz

O diodo emissor de luz é um dispositivo ou componente eletrônico constituído de material semicondutor, alimentado por uma corrente elétrica que passa pelos terminais positivo e negativo, e é convertida em luz visível. Ramos (2016, p. 15) menciona que “o diodo semicondutor é formado pela junção de dois materiais construídos a partir da mesma base Ge (germânio) ou Si (silício), um material tipo p e um do tipo n [...]”.

Segundo Castro (2015), devido ao LED ter baixo consumo e maior durabilidade, o mesmo é considerado uma opção eficiente.

Viana et al. (2012) relaciona a lâmpada LED com a incandescente, que engloba todo espectro de cores, sendo que a LED gera uma única cor, dependendo do material utilizado. Além disso, outras características da lâmpada LED são a “boa reprodução de cores, vida mediana de 25.000 a 50.000 horas, boa eficiência luminosa, alto custo de investimento” (VIANA et al., 2012, p.143).

Bastos (2011) apresenta algumas vantagens da tecnologia LED, tais como: possibilidade de dimensões extremamente compactas, uso de luminárias convencionais, maiores opções de temperatura de cor, maior vida útil e eficiência luminosa, menor custo de manutenção, entre outros. Outra vantagem destacada por Santos (2014), é o fato das lâmpadas LED não possuírem mercúrio em sua composição e, por isso, não trazem risco para a saúde e meio ambiente.

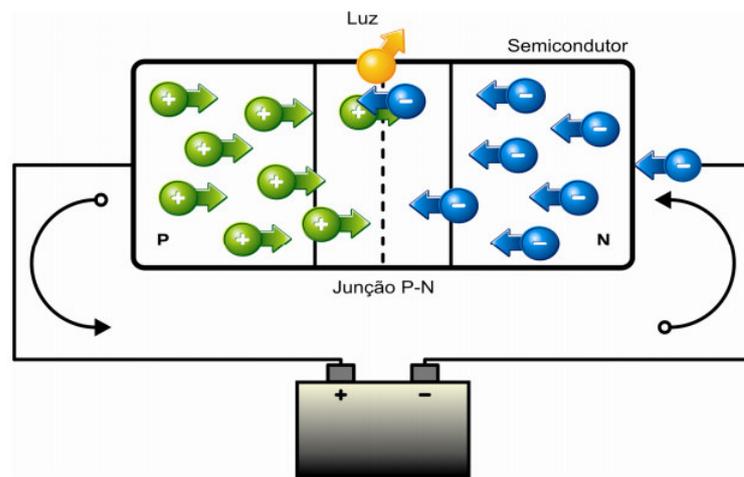
2.4.2 Princípios de funcionamento

Aplicando-se uma tensão entre o cátodo e o ânodo do semicondutor, os elétrons do material tipo n e as lacunas do material tipo p se deslocam até a junção p-

n, de acordo com a Figura 5. Essa recombinação de ambos na junção faz com que a energia do elétron seja liberada em forma de fóton. (MARTELETO, 2011).

Ramos (2016) destaca que, diferentemente de materiais como silício e germânio, onde a maior parte da energia é dissipada na forma de calor e a luz é emitida em quantidade quase desprezível, no arsenieto de gálio (GaAsP) ou fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons é suficiente para gerar uma fonte de luz visível. Esse processo de produção de luz a partir da aplicação de uma fonte elétrica chama-se eletroluminescência.

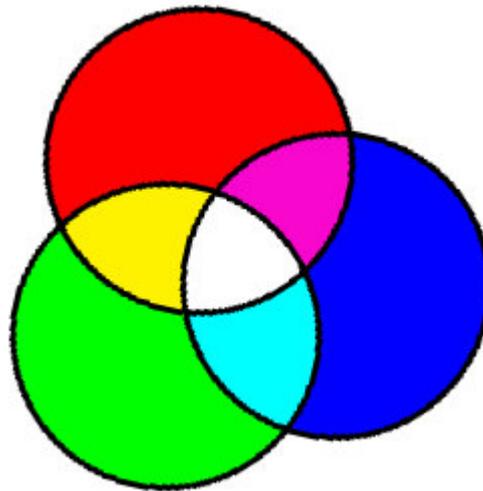
Figura 5 – Processo de emissão de luz de um LED



Fonte: PINTO, Rafael Adaime, 2008.

Segundo Marteleto (2011), o LED pode emitir desde radiações ultravioleta até infravermelha. A luz branca é produzida a partir de uma mistura de cores, sendo normalmente azul e amarelo. Tem-se um chip LED, que gera a luz azul, e um conversor fosfórico colocado ao redor do chip, que absorve parte da azul e converte em amarela. O autor também relata que antes da descoberta do processo usando o fósforo, era feita a superposição de cores para se obter a luz branca. Nesse método, misturava-se as cores vermelho, azul e verde para gerar a luz. No entanto, esse processo era menos eficiente e tinha pouca precisão.

Figura 6 – Mistura aditiva de cor



Fonte: Adaptado pelos autores.

2.4.3 Uso do LED para iluminação

Na década de 1960, deu-se início à comercialização do LED, utilizado como lâmpadas indicadoras coloridas em aparelhos elétricos e eletrônicos. As tentativas iniciais da utilização de LED para iluminação geral não foram positivas, tendo em vista que ainda produziam luz insuficientemente, com suas características de cor bastante restritas (RAMOS, 2016).

Pessoa e Ghisi (2014) mencionam que, atualmente, a demanda por energia no Brasil cresce constantemente, sendo uma parte considerável da energia consumida em edifícios destinada à iluminação.

Segundo Santos (2014), houve um crescimento do uso de lâmpadas LED em grandes supermercados. Embora os valores sejam em média o triplo dos valores de lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas LED apresentam o dobro da expectativa de vida, com um consumo menor e, por isso, vêm ganhando espaço no mercado. Também aponta outra vantagem, que é a criação de luminárias com formatos variados e outros artigos de decoração.

A respeito disso, Moura, Motta e Noya (2015, p. 4) consideram que “os LEDs surgem como potenciais substitutos das lâmpadas utilizadas nos sistemas tradicionais de iluminação artificial”. No entanto, afirmam que, embora as lâmpadas LED possuam todos os requisitos para a substituição dos sistemas convencionais de iluminação, a

literatura atenta para os aspectos negativos e desafios enfrentados pela utilização dessa tecnologia.

Ramos (2016) considera que as lâmpadas fluorescentes tubulares convertem 80% da energia elétrica em energia térmica e 20% em luz visível. Para uma lâmpada fluorescente de 36 W de potência, o fluxo luminoso é 2000 lm e sua eficiência luminosa é de 55,56 lm/W. No caso de uma lâmpada LED de 16 W com eficiência igual a 125 lm/W, apresenta fluxo luminoso de 2000 lm. A lâmpada LED tubular consome cerca de 60% a menos da energia de uma lâmpada fluorescente tubular de fluxo luminoso equivalente.

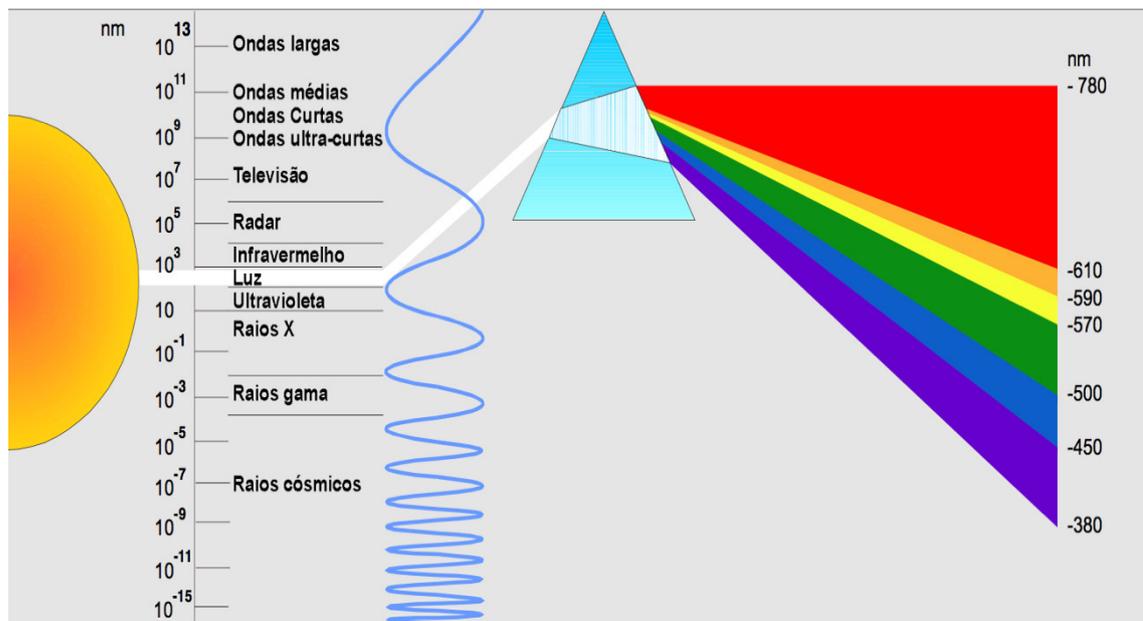
2.5 Conceitos de luminotécnica

Na concepção e execução de projetos de ambientes é tendência que se leve em consideração aspectos de conforto e ergonomia, isto é, o bem-estar do indivíduo, seja no ambiente doméstico ou no ambiente de trabalho. Nesse contexto, uma das principais preocupações quando o assunto é conforto, é o conforto visual, e é nesse aspecto que o estudo da luminotécnica está presente.

A luminotécnica é um estudo que aborda aspectos técnicos da iluminação, ou seja, permite o desenvolvimento de projetos que tomam como base a luz, seus fenômenos e parâmetros, tais como: iluminância, índice de reprodução de cor (IRC), fluxo luminoso e outros a serem abordados posteriormente.

A luz é uma radiação eletromagnética que é verificada pela sensação visual de claridade. Segundo Luz (1995), “a faixa de radiações das ondas eletromagnéticas detectada pelo olho humano se situa entre 380 nm e 780 nm (1 nm = 10^{-9} m)”. A visão humana é limitada pelas radiações infravermelhas e radiações ultravioletas, tal como pode-se verificar na figura a seguir que ilustra o espectro eletromagnético.

Figura 7 – Espectro eletromagnético



Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

A radiação infravermelha possui comprimento de onda compreendido entre 760 nm a 10.000 nm e a sua principal característica é o efeito de calor, podendo ser produzidos através de resistores aquecidos e lâmpadas incandescentes. Já a radiação ultravioleta é caracterizada por seu comprimento de onda na faixa de 100 nm a 400 nm e por sua ação química que excita fluorescência em diversos materiais.

As diferentes cores visíveis pelo olho humano são provenientes dos diferentes comprimentos de onda das radiações, sendo assim, o olho reage de forma diferente a cada frequência diferente do espectro visível.

2.5.1 Grandezas básicas da luminotécnica

A partir deste conhecimento, se definiu alguns parâmetros de luminotécnica para o desenvolvimento de projetos otimizados, levando em consideração características físicas, tais como (OSRAM, 2000):

a) O fluxo luminoso, segundo Luz (1995), “é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano”;

b) A intensidade luminosa, que é a intensidade do fluxo luminoso a partir de uma luminária ou de fonte de luz com refletor em determinada direção, cuja

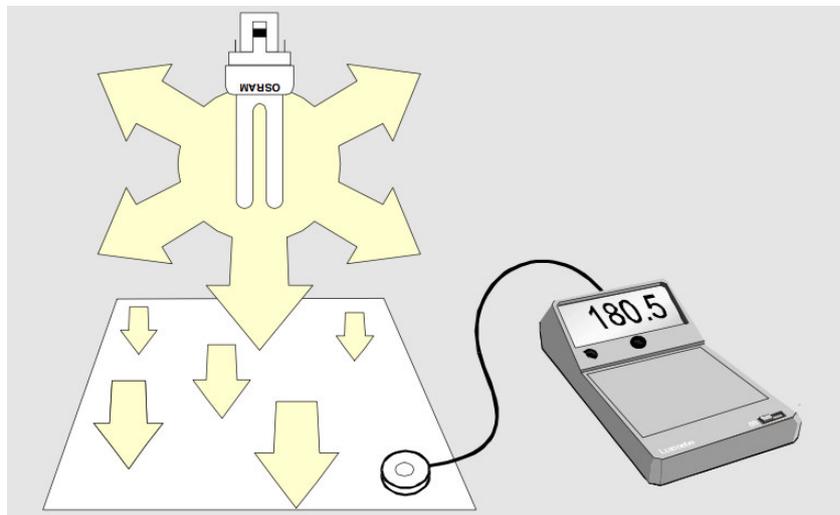
projeção de um lúmen se dá em um ângulo sólido de um esferorradiano. Sua unidade é candela (cd);

c) A iluminância (ou iluminamento) que possui sua unidade de medida o lux (lx), sendo a razão entre o fluxo luminoso e a área na qual este fluxo incide (vide Figura 8). Este fluxo, portanto, não é uniformemente projetado em todas as direções, por este motivo é considerado para efeito de cálculos a “iluminância média”. Alguns dos valores de iluminância média estão definidos em quadros, segundo a NBR 5413.

d) A curva de distribuição luminosa (CDL) que é a projeção das fontes de luz ou luminárias com refletor em diferentes planos, podendo assim definir qual tipo de distribuição do emissor, isto é, podendo ser concentrado, difuso, assimétrico, simétrico, etc.;

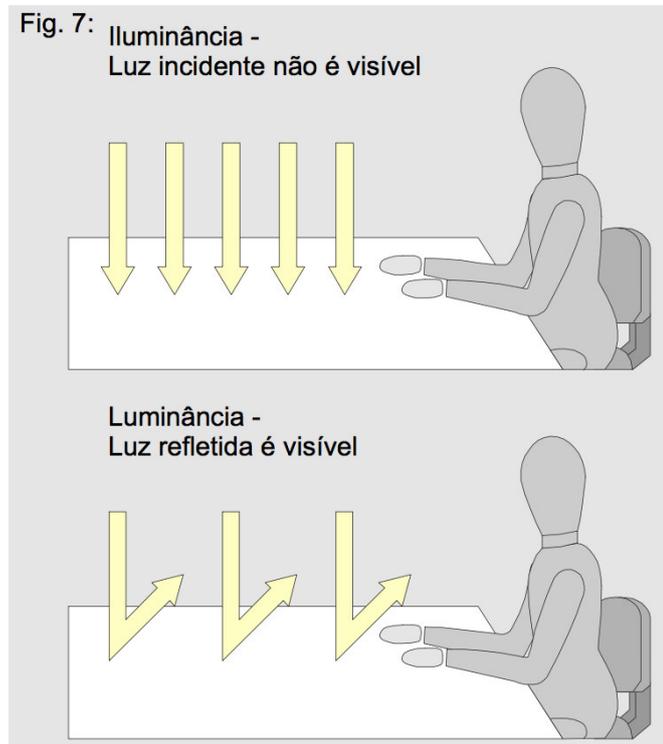
e) A luminância, que difere da iluminância, por aquela ser a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície. O valor da luminância depende do tipo de superfície, do material utilizado e das cores nele presentes. Por consequência, com um mesmo valor de iluminância é possível obter diferentes valores de luminância num mesmo ambiente. A Figura 9 ilustra o fenômeno descrito.

Figura 8 – Iluminância



Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

Figura 9 – Iluminância e Luminância



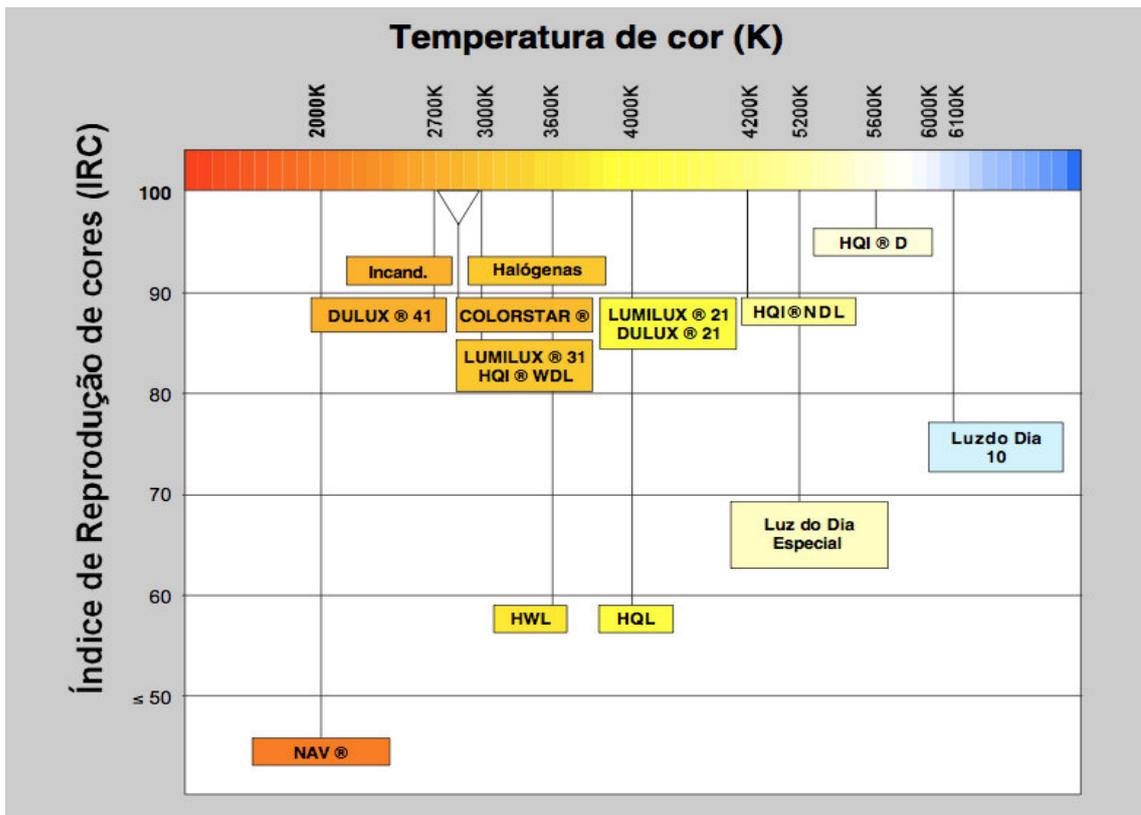
Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

2.5.2 Características das lâmpadas

As lâmpadas se diferenciam por algumas características tais como a intensidade de fluxo luminoso e pelas diferentes potências as quais estas fontes de luz consomem. A fim de comparação utiliza-se a “Eficiência Energética”, que é a razão entre o lúmen por ela produzido e a potência consumida em watt.

Para classificar os diferentes níveis de cores das lâmpadas, é utilizado o critério de “Temperatura de Cor”, na escala Kelvin, onde um objeto metálico ao ser aquecido produz luz que varia do vermelho até o branco (assemelhando-se à luz diurna) de acordo com o aumento da temperatura de aquecimento deste metal. Tal comparativo pode ser verificado na Figura 10, a seguir:

Figura 10 – Tonalidade de cor e reprodução de cores



Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

O índice de reprodução de cor (IRC) é a medida correspondente às cores das superfícies e sua aparência em meio a uma fonte de luz de referência. Luz (1995) define o IRC como “o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrões”.

Estes índices foram definidos através da experiência realizada com oito cores padrões sob diferentes fontes de luz, sendo uma de referência e outras de teste. Quanto maior o desvio da cor testada com a cor de referência, pode-se aferir que pior são as propriedades de rendimento de cor.

O método de avaliação, numa explicação bem simplificada, consiste na avaliação das cores padrões, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e sob a luz de uma fonte de referência que deveria ser um corpo negro (radiador integral), que apresenta um valor de 100%. Costuma-se, então, afirmar que está relacionado com a lâmpada incandescente, pois esta tem um comportamento próximo ao do radiador integral. Então se uma fonte luminosa apresenta um índice de 60%, este está relacionado como radiador integral que é de 100%. (LUZ, 1995, p. 10).

A seguir verifica-se um quadro representativo do IRC para diferentes tipos de lâmpadas:

Quadro 1 – Índice de reprodução de cor

LÂMPADA	IRC (%)
Incandescente	100
Fluorescente	60
Vapor de mercúrio	55
Vapor metálico	70
Vapor de Sódio Alta Pressão	30
Vapor de Sódio Baixa Pressão	0

Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

2.6 Elaboração de um projeto luminotécnico

A elaboração de um projeto de iluminação compreende um estudo de vários fenômenos anteriormente citados neste trabalho, os quais irão diretamente influenciar no conforto visual dos indivíduos que estarão exercendo suas atividades ou frequentando um determinado espaço.

Sendo assim, é fundamental que se compreenda alguns fundamentos do cálculo luminotécnico antes de aplicação de fórmulas. Luz (1995, p. 3) afirma que “é necessário ter presente quatro critérios principais, quais sejam: a quantidade de luz, o equilíbrio da iluminação, o ofuscamento e a reprodução de cor”.

2.6.1 Elementos de projeto de iluminação

As etapas iniciais de um projeto luminotécnico são: a escolha das lâmpadas e luminárias adequadas para o projeto, cálculo do número de luminárias a serem utilizadas, a disposição das luminárias no recinto e o cálculo de viabilidade econômica.

Para calcular o número de luminárias necessárias pode-se utilizar algum dos seguintes métodos, de acordo com Creder (2007, p. 163):

- a. pela carga mínima exigida por normas;
- b. pelo método dos lúmens;
- c. pelo método das cavidades sazonais;
- d. pelo método do ponto por ponto.

Neste trabalho, o método utilizado será o referido na alínea *b*, “método dos lúmens”. Para tanto, será detalhada a aplicação do método e suas etapas em um projeto luminotécnico.

2.6.2 Método dos lúmens

O método dos lúmens baseia-se na seleção da iluminância, seguido pelo cálculo do número de luminárias e finalmente pela disposição destas no ambiente. As etapas são apresentadas a seguir.

2.6.2.1 Selecionando a iluminância

Alguns níveis de iluminação são definidos em um quadro da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 5413, os quais são apresentados no Quadro 3, contendo diversas atividades e seus níveis adequados de iluminância, divididos em três faixas (A, B e C), e cada faixa com três níveis de valores (baixo, médio e alto).

Para a escolha dentre os níveis de cada faixa, é necessário o auxílio do Quadro 2, que é composto por três valores de peso por faixa, sendo -1, 0 e 1. O processo de seleção se dá da seguinte forma:

- a. primeiramente, escolhe-se a faixa da respectiva atividade no Quadro 3;
- b. em seguida atribui-se os respectivos pesos para cada faixa no Quadro 2, realizando a soma algébrica dos pesos;
- c. se o valor encontrado for -2 ou -3, utiliza-se o nível baixo. Caso o valor seja +2 ou +3, utiliza-se o nível alto. Se o valor for -1, 0 ou 1, utiliza-se o valor médio.

Quadro 2 – Fatores determinantes da iluminação 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 de tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT NBR 5413/92 (Adaptada)

Consideremos o seguinte exemplo: uma indústria de roupas, ocupadas por pessoas com idade abaixo de 40 anos, sendo a velocidade e a precisão importantes e a refletância do fundo de tarefa de 80%. Somando-se os pesos em cada faixa, tem-se: idade = -1; velocidade e precisão = 0; refletância do fundo de tarefa = -1; Total = -2.

Em resumo, utiliza-se o nível baixo da faixa B, ou seja, 1000 lux, conforme o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)			Tipo de atividade
	Baixo	Médio	Alto	
A Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	20	30	50	Áreas públicas com arredores escuros
	50	75	100	Orientação simples para permanência curta
	100	150	200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200	300	500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, escritórios
B	500	750	1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios

Iluminação geral para área de trabalho	1000	1500	2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000	3000	5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000	7500	10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000	15000	20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT NBR 5413/92 (Adaptada)

2.6.2.2 Selecionando a luminária

Creder (2007, p. 163) diz que alguns fatores são fundamentais no momento de selecionar a luminária correta, tais como: objetivo da instalação (comercial, industrial, domiciliar, etc.), fatores econômicos, razões da decoração, facilidade de manutenção, etc. Em virtude disso, o catálogo de luminárias de fabricantes é essencial para a escolha da luminária adequada.

2.6.2.3 Determinando o índice do local

O índice do local é um coeficiente cujo valor é função das dimensões do ambiente, isto é, o comprimento, largura e altura de montagem da luminária (distância da fonte de luz ao plano de trabalho) e do tipo de iluminação (direta, indireta, semidireta e semi-indireta). Sua fórmula é dada por:

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

onde:

c: comprimento do local;

l : largura do local;

h_m : altura de montagem da luminária.

2.6.2.4 Determinando o fator de utilização

Após obter o valor do índice do local, pode-se achar o coeficiente de utilização. De acordo com Creder (2007, p. 166), este coeficiente relaciona o fluxo luminoso inicial emitido pela luminária (fluxo total) e o fluxo recebido no plano de trabalho (fluxo útil), por isso, depende das dimensões do ambiente, cor do teto, paredes e piso.

Para encontrar o coeficiente de utilização é necessário encontrar os índices de refletância do teto, parede e piso, de acordo com o Quadro 4 a seguir:

Quadro 4 – Índices de refletância

Índice	Reflexão	Significado
1	10%	Superfície escura
3	30%	Superfície média
5	50%	Superfície clara
8	80%	Superfície branca

Fonte: Creder, 2007, p. 166. (Adaptada)

O quadro que determina o coeficiente de utilização depende do fabricante, do tipo e das características inerentes a cada luminária.

Tal coeficiente pode ser obtido pelo produto da “Eficiência do Recinto” – cujo quadro no Anexo B fornece os valores – com a “Eficiência da luminária” que pode ser obtida no catálogo do fabricante.

2.6.2.5 Determinando o fator de depreciação

Também chamado de fator de manutenção, é o fator que relaciona o fluxo inicial emitido pela luminária no início de sua operação e o fluxo emitido ao final do período

de manutenção. Leva-se em consideração, portanto, a manutenção das luminárias e limpeza do ambiente. O Quadro 5 a seguir apresenta os fatores:

Quadro 5 – Fator de depreciação

Tipo do Ambiente	Período de Manutenção (h)		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte: Creder, 2007, p. 166. (Adaptada)

2.6.2.6 Determinando o número total de luminárias

Uma vez cumprido as etapas anteriores, é possível determinar o número adequado de luminárias para o ambiente. Para isto, as fórmulas utilizadas são as seguintes:

- a. fluxo luminoso total;

$$\phi = \frac{S \times E}{u \times d}$$

onde:

ϕ : fluxo total, em lúmens;

S : área do recinto, em metros quadrados;

E : nível de iluminância;

u : fator de utilização;

d : fator de depreciação;

- b. número total de luminárias;

$$n = \frac{\phi}{\varphi}$$

onde:

n : número total de luminárias;

ϕ : fluxo total, em lúmens;

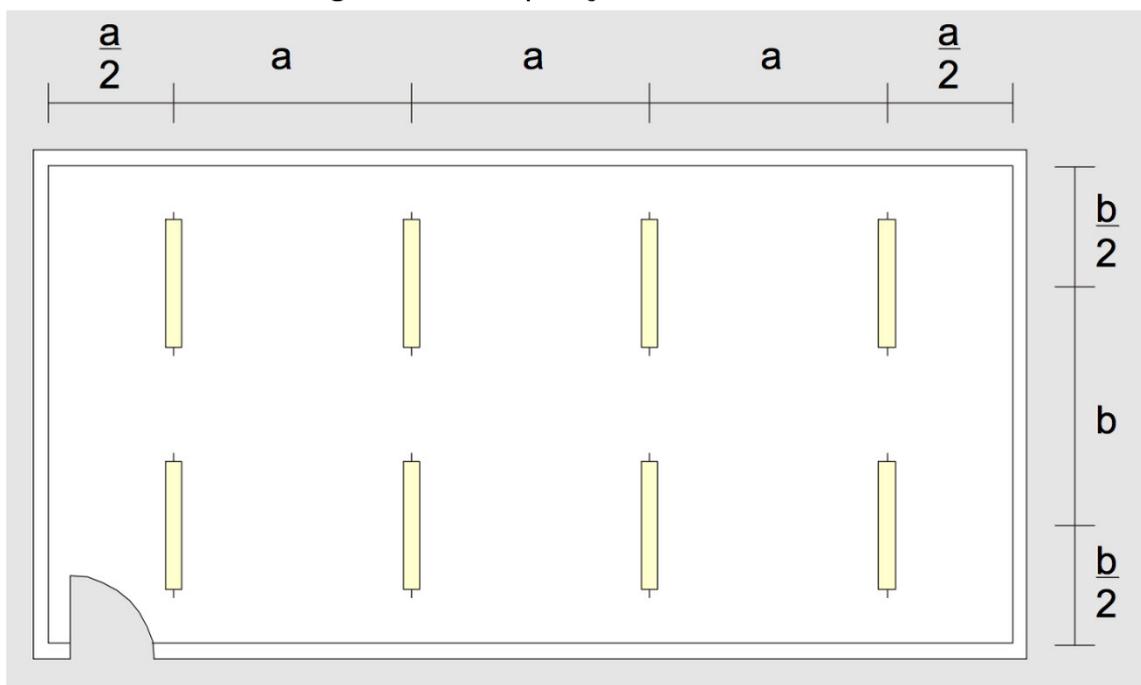
φ : fluxo por luminária, em lúmens;

2.6.2.7 Disposição das luminárias

Ao fim do projeto, tendo o número de luminárias, é definida a disposição das luminárias no recinto.

Em geral, as luminárias são dispostas de maneira uniforme no recinto, de tal maneira que a distância entre luminárias sejam o dobro da distância da luminária à parede, tal como ilustra a Figura 11 a seguir:

Figura 11 – Disposição das luminárias



Fonte: Manual Prático de Luminotécnica – OSRAM, 2000.

Os espaçamentos máximos entre lâmpadas, bem como a altura recomendada das suspensões e a distância da fonte de luz à parede, podem ser verificados na Figura 12 a seguir:

Figura 12 – Espaçamento máximo entre luminárias

	ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE AS LUMINÁRIAS					
	Direta	Semidireta	Geral difusa	Semi-indireta	Indireta	
Distância às paredes (todos os tipos)						Alturas recomendadas das suspensões para os tipos indireto e semi-indireto
						
1/3 da distância se as mesas ou bancadas estiverem contra as paredes. 1/2 em outros casos.	Da luminária ao piso 0,9 0,9 1			Do teto ao piso 1 1		0,15 a 0,30

Fonte: Creder, 2007, p. 167. (Adaptada)

Exemplificando, se a luminária utilizada for de iluminação direta, e a altura desta ao piso for 3 m (três metros), logo a distância máxima entre as luminárias será $D_{max} = 0,9 \times 3 = 2,7 \text{ m}$.

Então, ao se dispuserem as luminárias, a distância máxima adequada será de 2,7 m entre elas.

3 ENSAIOS E ANÁLISE DAS LÂMPADAS: LED E FLUORESCENTE

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Lâmpada fluorescente atual

No local é utilizado, atualmente, lâmpadas fluorescentes compactas de 30 W de potência, possuindo vida mediana de 6.000 horas, temperatura de cor igual a 6400 K e eficiência luminosa de 60 lm/W, sendo consideradas pouco eficientes. O prédio é composto de 44 lâmpadas no total.

Figura 13 – Lâmpada fluorescente utilizada



Fonte: Ourlux, 2017.

3.1.2 Lâmpada LED

Com o intuito de se obter um cenário eficiente, serão utilizadas em uma sala duas lâmpadas LED de 16 W, com fluxo luminoso igual a 1800 lm, tendo, portanto,

uma eficiência luminosa de 112,5 lm/W e vida mediana igual a 15.000 horas, sendo assim mais eficientes que as lâmpadas atuais.

Figura 14 – Lâmpada LED OUROLUX



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1.3 Luxímetro

O luxímetro é um equipamento que tem a finalidade de medir a iluminância – grandeza utilizada para avaliação do conforto visual – para ambientes com iluminação tanto artificial como natural, apresentando a medida em lux.

No estudo, foi utilizado para verificar a atual condição de iluminância no ambiente de trabalho e posteriormente com o emprego das lâmpadas LED.

Figura 15 – Luxímetro AKSO AK309



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1.4 Analisador de qualidade de energia elétrica

No estudo, o analisador Fluke 43B foi utilizado para medir os parâmetros da energia elétrica, tais como tensão, corrente e harmônicos. Este equipamento contém um *display* interativo que mostra os valores em tempo real, tendo a capacidade de armazenar dados e também ser pareado com um computador via USB para transferência de informações.

Figura 16 – Analisador de qualidade de energia



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Métodos

Para a realização deste estudo, foram utilizadas referências relacionadas à eficiência energética, bem como livros e artigos com projetos voltados para esse fim, abrangendo também a legislação e regulamentação, que auxiliaram na compreensão e realização do trabalho.

Primeiramente, foi feita uma análise das características físicas atuais e dos níveis de iluminação necessários para as tarefas executadas no local de estudo, levando-se em conta o conforto, as necessidades visuais das atividades a serem realizadas no ambiente de trabalho e os critérios de eficiência energética.

Em se tratando da qualidade de energia, os impactos no sistema elétrico foram estudados com base no desempenho dos equipamentos, sendo medidos os comportamentos de alguns parâmetros, como: corrente, tensão e distorções harmônicas. Essa análise foi realizada pelo analisador, o qual forneceu esses dados capazes de mensurar os impactos da qualidade de energia com a presença do novo sistema de iluminação.

A análise econômica foi feita a partir das características das lâmpadas atuais e das lâmpadas LED, apresentando resultados comparativos de valor economizado anualmente e tempo de retorno do investimento.

As lâmpadas LED foram implementadas em um dos ambientes, que foi escolhido aleatoriamente, sendo possível fazer uma análise do conforto visual por meio de entrevistas no local, com o objetivo de avaliar as condições anterior e atual das instalações.

3.2.1 Medições

A medição utilizando o luxímetro AKSO AK309 obedece aos requisitos expostos no item 6.1.3 da NBR 15215-4, que trata sobre medição de iluminação em ambientes reais. Foram escolhidos pontos de medição dentro da sala utilizada para testes, com a fotocélula do aparelho a altura do plano de trabalho, de tal maneira que não houvesse sombras a fim de não haver interferências nos resultados medidos. Para tanto, foram feitas as medidas em dois momentos: o primeiro com as lâmpadas fluorescentes compactas e o segundo com as lâmpadas LED.

A medição utilizando o analisador de qualidade de energia Fluke 43B foi realizada utilizando eletrodos de contato para a medição de tensão e o alicate amperímetro para a medição da corrente, sendo conectados ao quadro de distribuição do prédio, como mostra a Figura 17. Foram realizadas medições dos níveis de tensão/corrente e harmônicos, num primeiro momento com as lâmpadas fluorescentes compactas e posteriormente com as lâmpadas LED. Os resultados obtidos foram transferidos via USB para software FlukeView® e extraídos em imagens e dados de Excel®.

Figura 17 – Medição da qualidade de energia



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.2 Avaliação da economia de energia

A potência instalada foi constituída da soma das potências de todas as lâmpadas do prédio, necessária para o cálculo da viabilidade econômica do projeto luminotécnico. Dessa forma, esse mecanismo foi realizado para as lâmpadas atuais e para as lâmpadas LED, tendo em vista os objetivos de comparação entre ambos os tipos.

Para a elaboração da análise econômica na troca das lâmpadas existentes pelas lâmpadas LED, as especificações dos dois tipos de lâmpadas foram mostradas, de acordo com os fabricantes. Conhecendo-se a potência, vida útil, preço de mercado,

quantidade de lâmpadas que foram utilizadas, entre outros dados, foi possível ser realizado um estudo do consumo e custos anuais da economia e do tempo de retorno do investimento após a substituição das lâmpadas.

A partir do consumo, o custo anual de energia foi encontrado e a diferença entre os custos do sistema atual de iluminação e do sistema com as lâmpadas LED forneceu o valor economizado por ano.

Ao final da análise econômica, foi calculado o tempo de retorno do investimento, sendo obtido a partir da divisão entre o valor total do investimento nas lâmpadas LED e o valor da economia anual, fornecendo assim o resultado em anos do tempo de retorno.

3.3 Resultados e discussão

A luminária utilizada para o estudo foi a lâmpada LED de 16 W OUROLUX®, que de acordo com a tabela no Anexo A é classificada como sendo de iluminação direta do tipo C4. Todavia, a NBR 5413/92 estabelece faixas de iluminância para determinados ambientes por ela descritos. A sala ilustrada na figura abaixo, na qual foi desenvolvido o trabalho, por se tratar de área cujo trabalho visual é considerado normal, está na classe B do Quadro 3, anteriormente citado no item 2.6.2.1.

Figura 18 – Ambiente de estudo do trabalho



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para verificar o nível de iluminância ideal para o ambiente utilizou-se o Quadro 2. No ambiente estudado, e de acordo com o referido quadro, a faixa etária dos indivíduos é de, no máximo, 40 anos de idade (peso -1), a velocidade e precisão da atividade é sem importância (peso -1) e a refletância do fundo de tarefa é da faixa de 30% a 70% (peso zero).

Baseado nestas informações e somando-se os pesos atribuídos tem-se um valor de -2, que se refere ao valor baixo da classe B definida para o ambiente, isto é, um valor de 500 lux.

Tendo o valor de iluminância, buscou-se saber o número de luminárias suficiente para satisfazer essa condição. Para tal, primeiro obteve-se o valor do índice do local por meio da fórmula descrita no item 2.6.2.3. A fórmula necessita das dimensões do local que é 3,50 m e 3,70 m e da altura do plano de trabalho que é 1,70 m. O valor do índice calculado foi 1,06.

O próximo passo foi determinar o fator de utilização, classificando os valores de refletância do teto, parede e piso, de acordo com o Quadro 4. Para o ambiente estudado tem-se os respectivos valores: 80%, 80% e 30%. De posse destes dados, verificou-se na tabela do Anexo B o valor do fator de utilização para a luminária do tipo C4, cujos valores de refletância fossem os citados acima. Destarte, o valor encontrado do coeficiente de utilização foi 0,62.

Em seguida, observou-se no Quadro 5 o fator de depreciação, que leva em consideração o tipo de limpeza do local e tempo de manutenção da lâmpada. Tendo em vista que o ambiente é limpo e a limpeza da luminária se dará em períodos de 5.000 horas, o valor do coeficiente de depreciação foi 0,91.

Para determinar o número de luminárias, foi necessário utilizar a fórmula do item 2.6.2.6. O valor de fluxo obtido foi de 11.834 lúmens, e para o calcular o número deve-se dividir tal valor pelo fluxo da lâmpada ou luminária a ser utilizada. Nesse caso, de acordo com os dados do fabricante, ela possui 1.800 lúmens de fluxo luminoso, sendo assim, seria preciso 6 (seis) lâmpadas LED de 16 W com 1.800 lúmens cada.

No ambiente, no entanto, há somente dois pontos de luz com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 30 W cujo fluxo não supera 800 lúmens, isto é, o valor não atende a NBR 5413/92. Devido às limitações estruturais do prédio e se tratando de área da Administração Pública, não foi possível fazer adequações no circuito para a instalação de novos pontos de luz. Desta forma, foram utilizados os dois pontos

existentes e realizadas as medições nas condições atuais (com as lâmpadas fluorescentes) e posteriormente no cenário proposto (com o uso das lâmpadas LED).

3.3.1 Iluminância

Os níveis de iluminância são medidos utilizando um aparelho luxímetro. Para este trabalho verificou-se o nível deste parâmetro em duas situações: a primeira com as lâmpadas fluorescentes e em seguida com as lâmpadas LED.

3.3.1.1 Cenário atual

Utilizando o luxímetro AK309, foi realizada a medição da iluminância média da sala, de acordo com a NBR 15215, enquanto usavam-se as duas lâmpadas fluorescentes de 30W. Para tanto, foram realizadas 9 (nove) medições de acordo com o quadro abaixo:

Quadro 6 – Medidas da sala com fluorescentes

Medição (nº)	Lux
01	93
02	102
03	101
04	97
05	107
06	105
07	72
08	86
09	102
Média	96,11

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verificou-se que a média aritmética de iluminância foi 96,11 lux. Em seguida, houve a troca para as lâmpadas LED e foram refeitas as medições nas mesmas condições para que não houvesse interferência ou desvios nos valores obtidos.

3.3.1.2 Cenário proposto

Com as duas lâmpadas LED instaladas no lugar das fluorescentes, foram realizadas as medições utilizando os mesmos padrões de 9 (nove) medições. Os valores obtidos constam no quadro abaixo:

Quadro 7 – Medidas da sala com LED

Medição (nº)	Lux
01	191
02	190
03	183
04	183
05	192
06	173
07	122
08	137
09	169
Média	171,11

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao calcular a média aritmética dos valores medidos, chegou-se ao valor de 171,11 lux. Percebeu-se, portanto, que a iluminância produzida pelas lâmpadas LED é superior à das lâmpadas fluorescentes, produzindo um melhor conforto visual aos indivíduos que utilizam a sala e consumindo menos energia.

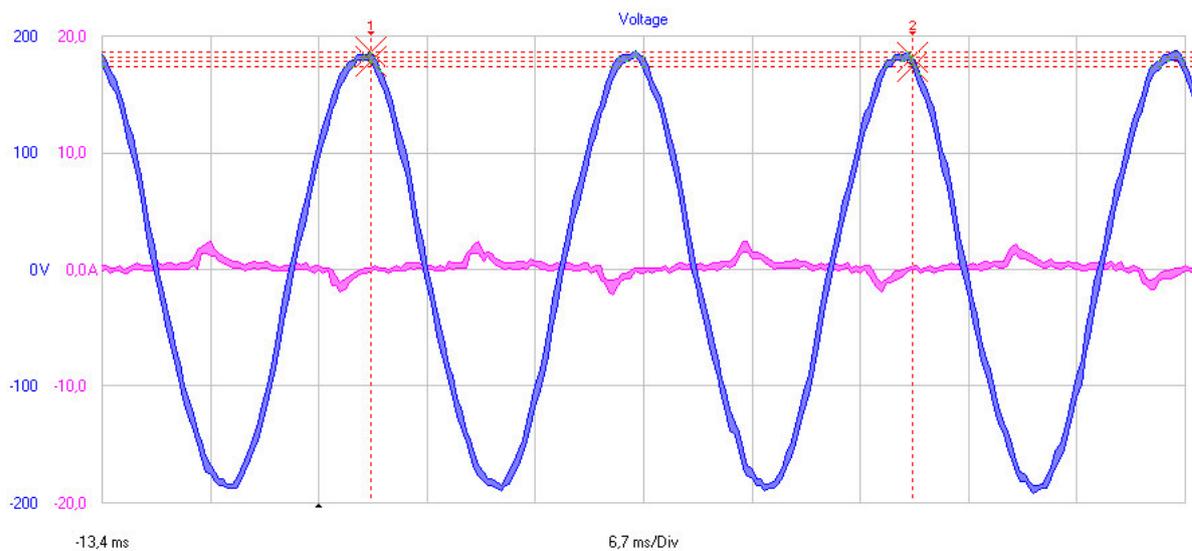
3.3.2 Qualidade de energia

Neste tópico, será abordada a variação de tensão e corrente, bem como a presença de harmônicos na rede nas duas situações: a primeira com as lâmpadas fluorescente e posteriormente com as lâmpadas LED.

3.3.2.1 Cenário atual

Com o analisador de qualidade de energia Fluke 43B, foram medidas as taxas de tensão/corrente e harmônicos. A ilustração abaixo demonstra a variação de corrente e tensão:

Figura 19 – Variação de tensão e corrente com fluorescente



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 20 – Dados de tensão e corrente com fluorescente

Datablock	
Name = Voltage	Current
Date = 03/04/2017	03/04/2017
Time = 20:48:03	20:48:03
Y Scale = 100 V/Div	10 A/Div
Y At 50% = 0 V	0,0 A
X Scale = 6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
X At 0% = -13,4 ms	-13,4 ms
X Size = 253 (253)	253 (253)
Maximum = 188 V	2,4 A
Minimum = -192 V	-2,2 A

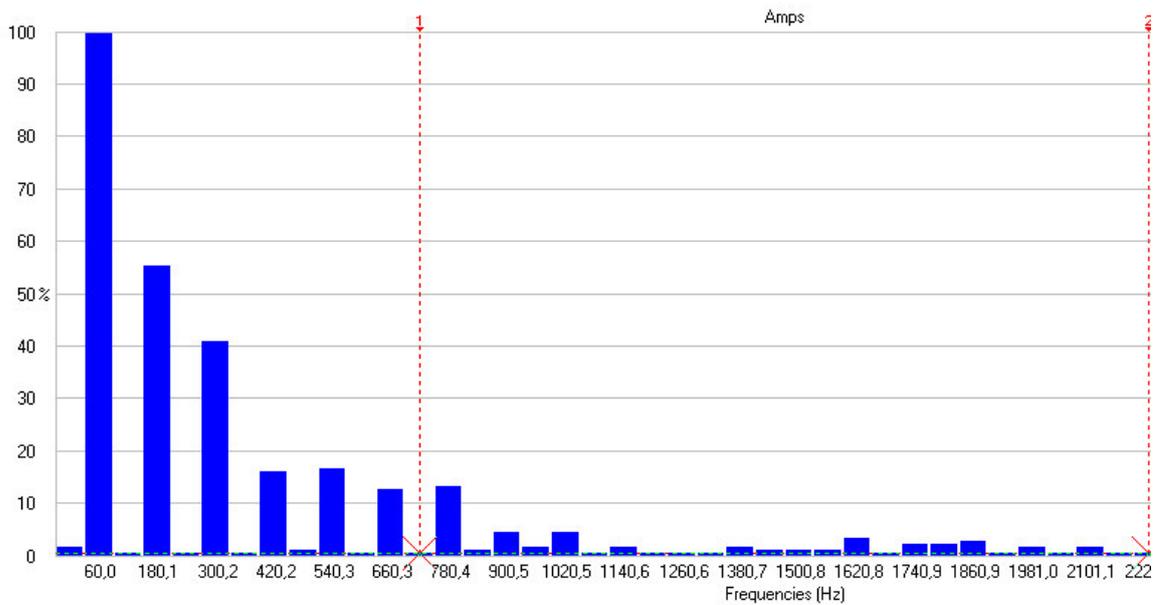
Cursor Values	
X1:	3,2 ms
X2:	36,7 ms
dX:	33,5 ms
Y1:	179 186 V
Y2:	175 183 V
dY:	-4 -4 V

Fonte: Elaborada pelos autores.

Verificou-se que a tensão de pico foi 188 V e a corrente de pico 2,4 A, então o valor RMS da tensão é, aproximadamente, 131,69 Vrms.

Os harmônicos obtidos através do analisador podem ser vistos na ilustração a seguir:

Figura 21 – Espectro de harmônicos na rede com fluorescente



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 22 – Dados de harmônicos na rede com fluorescente

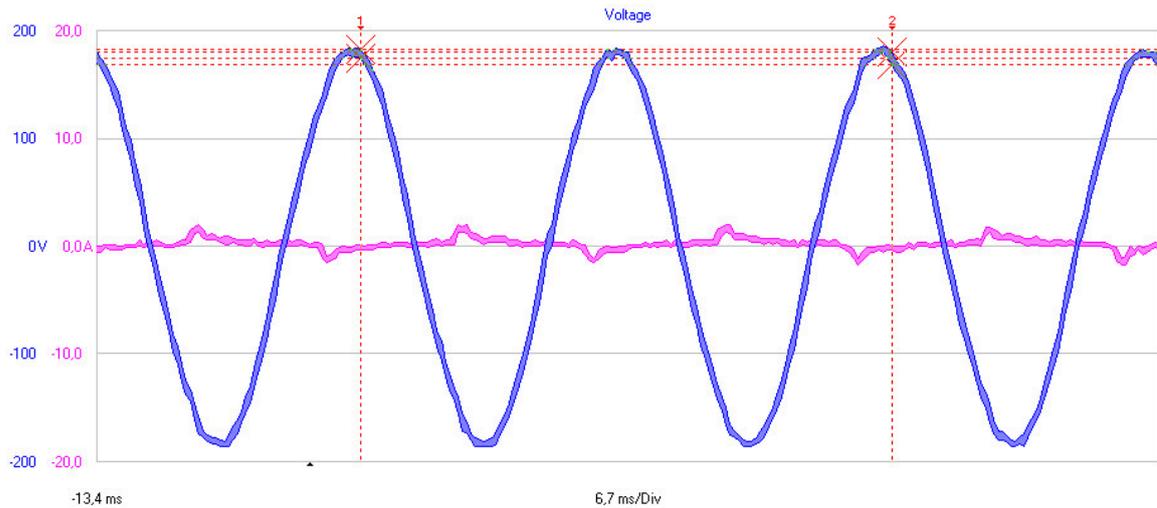
Datablock	
Name =	Amps
Date =	03/04/2017
Time =	21:29:43
Fund =	60,0 Hz
RMS =	490 mA
THDr =	60,5 %
KFact =	16,1
Cursor Values	
X1 :	720,4 Hz
X2 :	2221,1 Hz
dX :	1500,8 Hz
Y1 :	0,6 %
Y2 :	0,6 %
dY :	0,0 %
Ph1 :	-139 °
Ph2 :	-110 °

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3.2.2 Cenário proposto

Com as lâmpadas LED instaladas, foi realizada a medição da corrente e tensão. A imagem abaixo ilustra a variação destes dois parâmetros.

Figura 23 – Variação de tensão e corrente com LED



Fonte: Elaborada pelos autores.

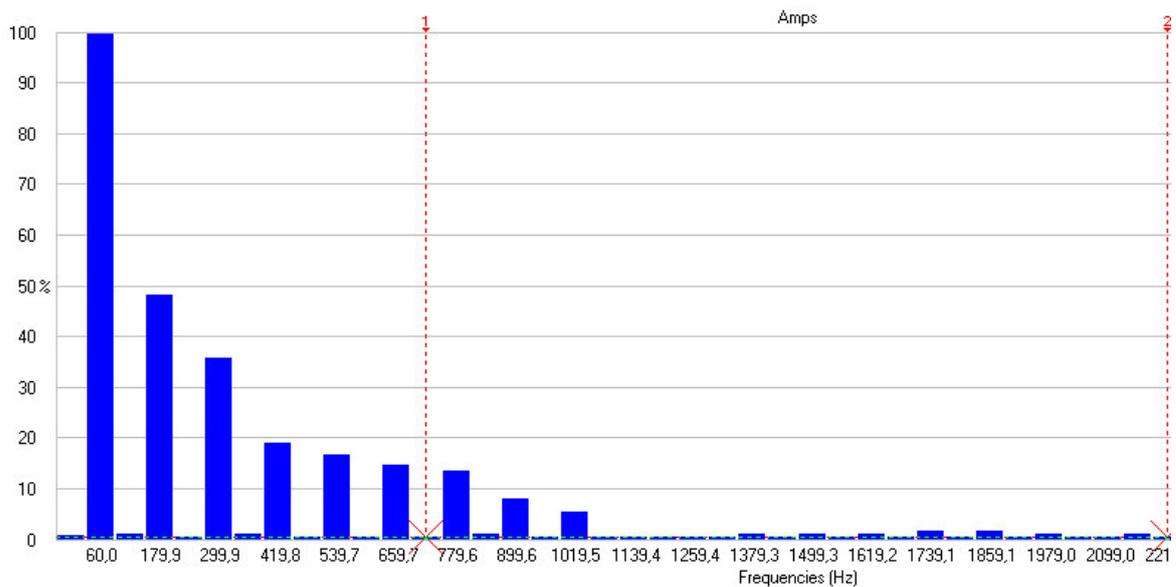
Figura 24 – Dados de tensão e corrente com LED

Datablock	
Name = Voltage	Current
Date = 01/01/1995	01/01/1995
Time = 00:14:21	00:14:21
Y Scale = 100 V/Div	10 A/Div
Y At 50% = 0 V	0,0 A
X Scale = 6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
X At 0% = -13,4 ms	-13,4 ms
X Size = 250 (253)	250 (253)
Maximum = 186 V	2,0 A
Minimum = -186 V	-1,8 A

Cursor Values	
X1:	3,2 ms
X2:	36,7 ms
dX:	33,5 ms
Y1:	175 183 V
Y2:	169 181 V
dY:	-6 -2 V

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 25 – Espectro de harmônicos na rede com LED



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 26 – Dados de harmônicos na rede com LED

Datablock	
Name =	Amps
Date =	01/01/1995
Time =	00:16:06
Fund =	60,0 Hz
RMS =	500 mA
THDr =	56,9 %
KFact =	14,8

Cursor Values	
X1 :	719,6 Hz
X2 :	2218,9 Hz
dX :	1499,3 Hz
Y1 :	0,5 %
Y2 :	0,5 %
dY :	0,0 %
Ph1 :	56 °
Ph2 :	-73 °

Fonte: Elaborada pelos autores.

Observou-se que houve diferença no valor da corrente para as fluorescentes e LED, o que mostra a eficiência desta, uma vez que o consumo é menor e sua capacidade de iluminação é maior. Ao analisar os gráficos de distorção harmônica, observou-se também que a THD (taxa de distorção harmônica) da lâmpada

fluorescente foi de 60,5% e da lâmpada LED foi menor, sendo de 56,9%, o que mostra uma leve diminuição do impacto das distorções na rede elétrica.

Sendo assim, verificou-se que para duas lâmpadas estudadas os resultados foram favoráveis, tanto na questão de eficiência energética quanto na qualidade de energia, bem como no conforto visual, visto que a iluminância medida foi melhor com o uso das lâmpadas LED do que com as fluorescentes.

3.3.3 Viabilidade econômica

De acordo com os dados de cada lâmpada, os respectivos custos de aquisição e os custos de energia, montou-se uma planilha (Quadro 8) contendo todos os resultados de economia e retorno do investimento com a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LED.

Inicialmente, tem-se o valor da tarifa de energia da concessionária CEA, que é R\$ 0,515782. Em seguida, são apresentados os dados das lâmpadas fluorescentes e LED, tais como quantidade, preço no mercado, potência e vida útil.

Na segunda parte da planilha, realizou-se o cálculo do consumo anual de energia, em kWh e em reais (R\$), dos dois tipos de lâmpadas. Considerando-se que as lâmpadas são utilizadas 6 horas por dia e em apenas 5 dias na semana (240 dias em um ano), o consumo anual das lâmpadas LED foi igual a 1013,76 kWh e das lâmpadas fluorescentes 1900,8 kWh, sendo que para esse cálculo, foi utilizada a seguinte equação:

$$C(kWh) = \frac{P(W) \cdot Q \cdot h \cdot 240}{1000}$$

onde:

$P(W)$: potência nominal da lâmpada;

Q : quantidade de lâmpadas;

h : horas de funcionamento por dia.

Para o cálculo do gasto anual, multiplicou-se o consumo pela tarifa, resultando em R\$ 522,88 (LED) e R\$ 980,40 (fluorescente). Dessa forma, a diferença entre

ambos possibilitou o conhecimento do valor economizado em um ano com a substituição das lâmpadas, que foi R\$ 457,52.

Levando-se em conta que a vida útil da lâmpada LED é de 15.000 horas, de acordo com o fabricante, obteve-se o resultado das horas utilizadas em um ano e, em seguida, da sua durabilidade, através das respectivas equações abaixo.

$$\begin{aligned} Utilização\ por\ ano_{LED} &= h. 240 \\ &= 1440\ horas \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vida\ útil_{LED} &= \frac{15000}{1440} \\ &= 10,42\ anos \end{aligned}$$

O final da planilha trata da economia e tempo de retorno durante a vida útil das lâmpadas LED. Primeiramente, foi encontrado o valor economizado durante esse período, igual a R\$ 4765,83, a partir da multiplicação entre a economia por ano (R\$ 457,52) e a vida útil da lâmpada LED (10,42 anos).

O tempo de retorno foi definido pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} Tempo\ de\ retorno &= \frac{2200,00}{457,52} \\ &= 4,8\ anos \end{aligned}$$

onde:

2200,00: valor total do investimento das lâmpadas LED (quantidade de lâmpadas x preço no mercado);

457,52: valor economizado de energia em um ano.

Quadro 8 – Análise dos custos e retorno do investimento

Valor da tarifa - CEA (R\$)	0,515782	
	LED	LF*
Quantidade	44	44
Preço da lâmpada (R\$)	50	23
Potência (W)	16	30
Vida útil (horas)	15.000	6.000
Horas de utilização por dia	6	6
Consumo anual (kWh)	1013,76	1900,8

Consumo anual (R\$)	522,88	980,40
Economia anual (R\$)	457,52	
Vida útil da lâmpada LED (horas)	15.000	
Utilização por ano (horas)	1440	
Vida útil da lâmpada LED (anos)	10,42	
Economia de energia durante a vida útil LED (R\$)	4765,83	
Tempo de retorno (anos)	4,8	

*LF – Lâmpada Fluorescente.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3.4 Conforto visual

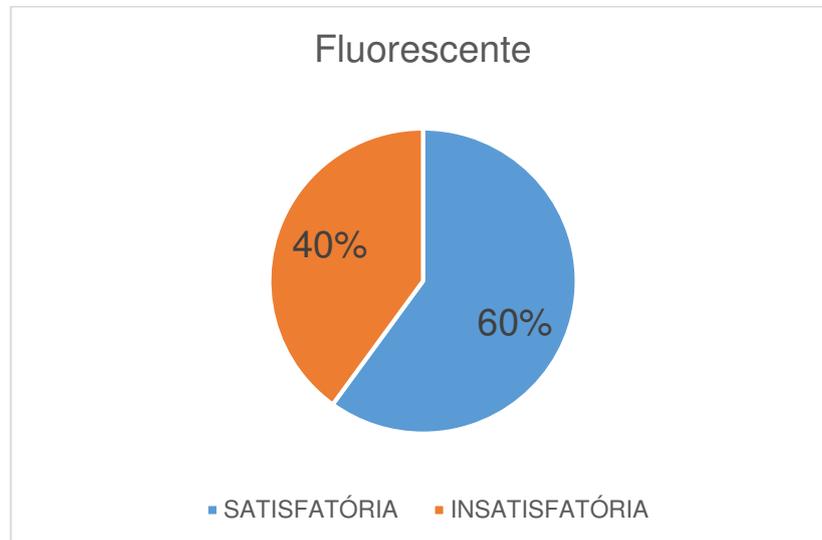
A iluminação adequada no ambiente de trabalho possibilita maior precisão nas tarefas visuais realizadas pelos funcionários. Dessa maneira, foram realizadas análises da influência da iluminação LED no conforto visual, seguindo dos pontos quantitativo e qualitativo, os quais foram atribuídos, respectivamente, aos níveis de iluminância medidos com o luxímetro e aos questionários com a avaliação.

Como foi visto anteriormente no tópico 3.3.1, os resultados dos níveis de iluminância com as lâmpadas fluorescentes (cenário atual) e com as lâmpadas LED (cenário eficiente) mostraram que a média da iluminância LED na sala está acima da fluorescente cerca de 78,04%. Embora a diferença entre as duas médias tenha sido significativa, o nível de iluminação artificial é considerado baixo, tendo em vista que a iluminância adequada para as condições do ambiente é igual a 500 lux. No entanto, aparentemente, apresentou uma boa iluminância para as atividades realizadas.

Do ponto de vista qualitativo, os usuários foram analisados por meio de um questionário (Apêndice A), apresentando a declaração da sensação com relação aos dois tipos de lâmpadas. Esse questionário foi composto por três questões e respondido por 15 (quinze) funcionários que utilizam a sala, os quais estão na faixa etária de 25 a 40 anos. As perguntas e seus respectivos gráficos serão mostrados a seguir:

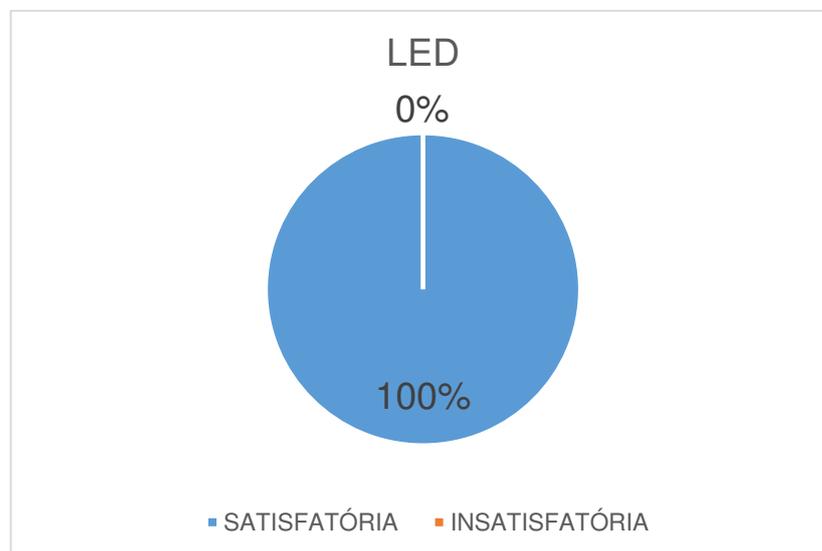
1. Como você classifica a iluminação nesta sala?

Gráfico 1 – Classificação da iluminação fluorescente



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 2 – Classificação da iluminação LED

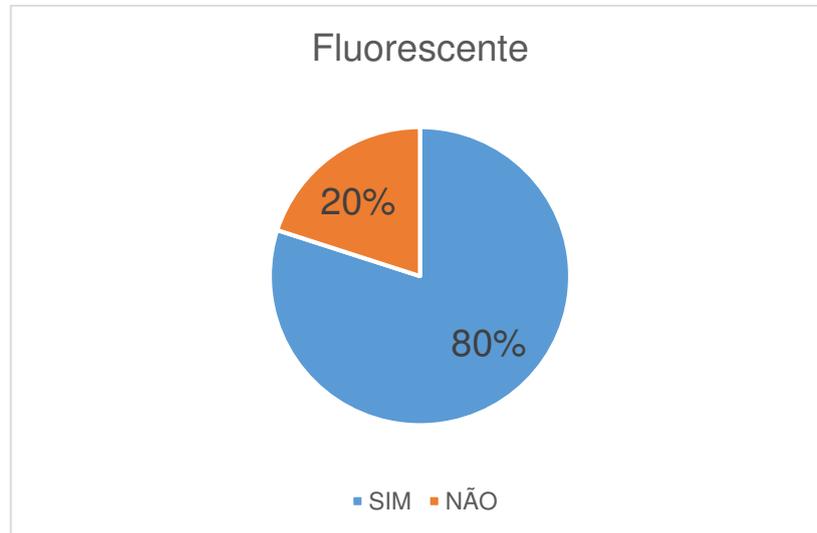


Fonte: Elaborado pelos autores.

Com as lâmpadas fluorescentes, 60% dos entrevistados classificaram a iluminação como “satisfatória” e 40% como “insatisfatória”. Com as lâmpadas LED, todos os entrevistados classificaram como “satisfatória”.

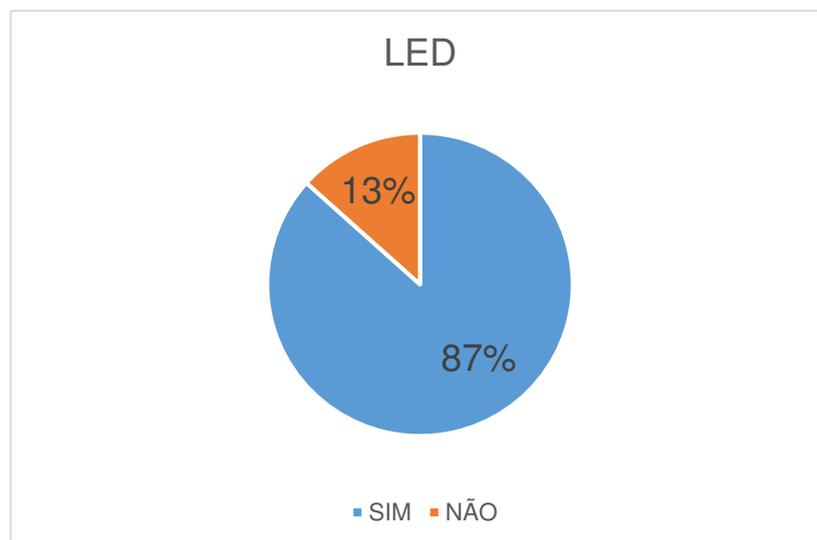
2. Você consegue desenvolver com facilidade todas as atividades com esta iluminação?

Gráfico 3 – Desenvolvimento de atividades com fluorescente



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4 – Desenvolvimento de atividades com LED

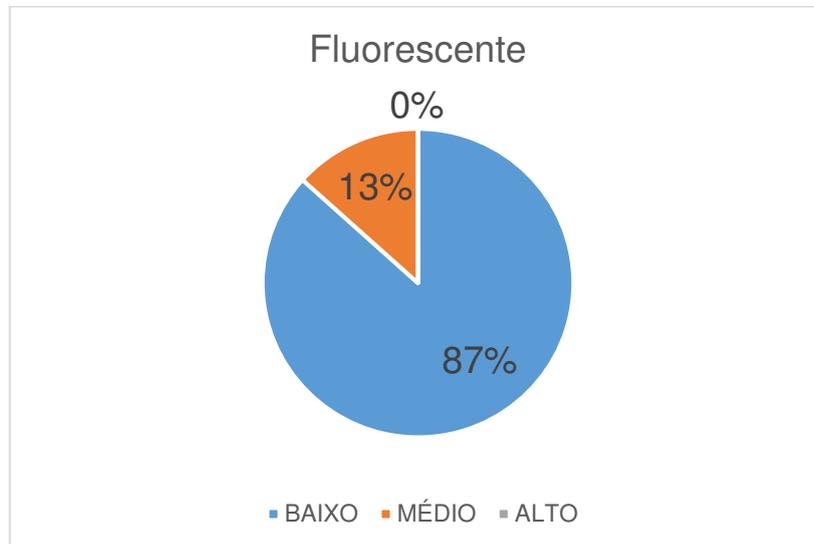


Fonte: Elaborado pelos autores.

Na segunda questão, 80% dos servidores afirmaram que conseguem desenvolver as atividades normalmente com a presença das lâmpadas fluorescentes; 20% respondeu que não consegue.

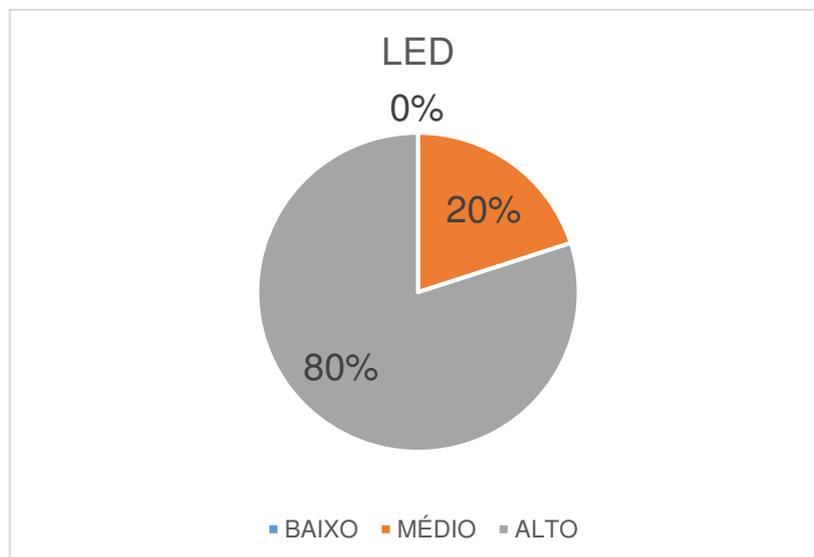
3. Como você avalia o nível de iluminação nesta sala?

Gráfico 5 – Nível de iluminação fluorescente



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 6 – Nível de iluminação LED



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, 87% dos entrevistados considerou o nível de iluminação com lâmpadas fluorescentes “baixo” e 13% considerou “médio”, enquanto que para as lâmpadas LED, 80% julgou como um nível “alto” e 20% como um nível “médio” de iluminação.

Levando-se em conta a avaliação dos usuários, considerou-se que as lâmpadas LED possibilitaram maior conforto visual.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O convencional uso de lâmpadas fluorescentes é latente no cenário brasileiro e com a finalização do uso de lâmpadas incandescentes este tipo de iluminação se fortaleceu, uma vez que possui uma eficiência bem maior. As lâmpadas incandescentes apresentavam uma perda de energia luminosa, devido ao seu aquecimento, sendo o "efeito Joule" o principal fenômeno. Já as lâmpadas fluorescentes apresentando um diferente princípio de funcionamento trouxeram para o mercado um conceito mais eficiente de iluminação, no entanto, alguns problemas também foram apresentados.

Por possuir uma parte reativa em sua potência, a lâmpada fluorescente injeta na rede elétrica distorções harmônicas, que em grande intensidade podem causar falhas e mau funcionamento. Todavia, este tipo de iluminação por transmitir menos calor, oferece ao ambiente um melhor conforto térmico.

Em se tratando de prédios públicos, o uso de lâmpadas fluorescentes é amplo, sendo o principal objeto de iluminação para diversos ambientes. Muito se deve ao fator custo-benefício, tendo em vista que o preço é relativamente baixo. Porém, não se verifica nos projetos luminotécnicos de prédios públicos a questão de conforto visual, que é normatizada pela NBR 5413, ocasionando assim um ambiente cuja iluminância torna-se subdimensionada. Este referido fato foi observado inclusive no ambiente escolhido para o estudo deste trabalho.

As lâmpadas LED apresentam um fator de eficiência maior que a das lâmpadas fluorescentes, isto é, convertem a maior parte da potência consumida em energia luminosa, emitindo assim maior quantidade de lúmens e transmitindo menos calor devido à menor perda por efeito Joule.

Ao se utilizar as lâmpadas LED de 16 W de potência no ambiente estudado, verificou-se que a iluminância média foi maior que a produzida pelas lâmpadas fluorescentes de 30 W em 78,04%, sendo sua distorção harmônica menor em 3,1 pontos percentuais. Ainda, ao realizar a análise de viabilidade econômica, verificou-se que o tempo de retorno da implementação das lâmpadas LED seria de 4,8 anos, levando em consideração o custo das lâmpadas, a implementação e manutenção.

No que tange o conforto visual, através de questionários foram coletados dados qualitativos sobre a opinião dos indivíduos que exercem seu trabalho no ambiente estudado. Foi observado que houve grande aceitação por parte do público

entrevistado, sendo analisado por meio dos resultados que houve melhora no conforto visual para o exercício das atividades rotineiras na sala.

Desta forma, é evidente que, baseado neste estudo, haveria uma grande economia de energia e de dinheiro por parte da Administração Pública, apenas fazendo a troca das lâmpadas fluorescentes atualmente utilizadas. Além de estar economizando em verba pública, teria uma melhor ergonomia relativa ao conforto visual e contribuindo para o meio ambiente, tendo em vista que haveria economia de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, André Luiz Montero. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-17082001-000915/en.php>>. Acesso em: 8 nov. 2016, 00:20.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 13 p. Disponível em: <<http://www.unicep.edu.br/biblioteca/docs/engenhariacivil/ABNT%205413%20-%20ilumin%C3%A2ncia%20de%20interiores%20-%20procedimento.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 15:40.
3. BASTOS, Felipe Carlos. **Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/FelipeCarlosBastos.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016, 02:30.
4. BRASIL. **Lei nº 13.280**, de 3 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Diário Oficial da União. Brasília, DF, n. 84, 4 maio, 2016. Seção 1. pt. 1.
5. CASTRO, Degmar Felgueiras. **Eficiência energética aplicada a instalações elétricas residenciais**. 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013941.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 16:10.
6. COSTA, Andréa de Souza. **Eficiência Energética em Iluminação de Ambientes em uma Instituição Pública de Ensino**. Dissertação (Mestrado) – UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/dissertacoes/2007/ppgte_dissertacao_215_2007.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016, 10:32.
7. CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/244134910/Livro-Helio-Creder-Instalacoes-Eletricas-pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2016, 10:40.
8. JANNUZZI, Gilberto De Martino. **A conservação e uso eficiente de energia no Brasil**. Revista eletrônica Com Ciência, v. 6, p. 12, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Gilberto_Jannuzzi/publication/266876077_A_Conservacao_e_uso_eficiente_de_energia_no_Brasil/links/544a310d0cf244fe9ea636be.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2016, 18:20.
9. JÚNIOR, Arnaldo José Pereira Rosentino; GONDIM, Isaque Nogueira; BERNARDES, Vítor Almeida. **Distúrbios de qualidade de energia elétrica**. *In:*

- IV Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 4., Uberlândia. 2005. Anais... Uberlândia, 2005. Disponível em: <http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2005/ceel2005_074.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016, 11:15.
10. LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Apostila de Disciplina. Porto Alegre, 1995. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016, 11:52.
11. MARTELETO, Douglas Coelho. **Avaliação do Diodo Emissor de Luz (LED) para iluminação de interiores**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003763.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2016, 02:42.
12. MOREIRA, Helena Margarido; GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa**. Contexto internacional, p. 9-47, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/8798>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 12:15.
13. MOURA, Mariângela; MOTTA, Ana; NOYA, Maurício. **Considerações e análises em projetos de iluminação utilizando a tecnologia LED**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 11., 2015, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_479.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016, 03:15.
14. NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Política de eficiência energética no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/25779>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 16:58.
15. OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Barueri, 2000. 29 p. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/>. Acesso em: 13 nov. 2016, 19:42.
16. PAULILO, Gilson. **Conceitos gerais sobre qualidade da energia**. 2016. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed84_fasc_qualidade_energia_cap1.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016, 10:25.
17. PESSOA, João Lorenzo Novaes; GHISI, Enedir. **Relatório Técnico: Eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, 2014. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/downloads/RELATORIOTECNICO_LEDs-jul2014.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016, 14:08.
18. PIMENTEL, Fernando. **O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática**

- brasileira. Fundação Alexandre de Gusmão, 2011. Disponível em: <http://funag.gov.br/loja/download/838-Fim_da_Era_do_Petroleo_e_a_Mudanca_do_Paradigma_Energetico_Mundial_O.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016, 11:02.
19. PINTO, Rafael Adaime. **Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs)**. Santa Maria: UFSM, 2008. Disponível em: <http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/7/TDE-2009-02-12T120630Z-1881/Publico/RAFAELADAIMEPINTO.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016, 02:51.
20. PNEF. **Premissas e diretrizes básicas**. Brasília, 2011. 134 p. Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2016, 15:03.
21. PROCEL INFO. **Resultados Procel 2014**: ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. 63 p. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/pdf-completo.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 16:52.
22. RAMOS, Luise Wanderley Torres. **Projeto luminotécnico com tecnologia LED para algumas áreas do Centro de Tecnologia da UFRJ**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia da UFRJ, Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016440.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2016, 01:23.
23. SANTOS, Daiane Babireski dos. **Uma análise comparativa da eficiência energética de lâmpadas LED e fluorescentes aplicadas a ambientes internos**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/343.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2016, 14:12.
24. SCHMIDT, H. P. et al. **Lâmpadas e instalações elétricas**. Relatório de experimento. São Paulo, 2002. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1159806/mod_resource/content/1/Exp7_2016.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016, 02:40.
25. SILVA, Nuno. **Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente) – Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Coimbra, 2011. Disponível em: <http://www.ploran.com/artigos/tese_nuno_silva.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016, 00:13.
26. TESKE, Sven. **[R] evolução energética**: a caminho do desenvolvimento limpo. Greenpeace, 2010. Disponível em:

<<http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/handle/11465/1226>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 17:40.

27. VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1a. ed. Campinas, SP: PEE-Programa de Eficiência Energética ANEEL, 2012. Disponível em:
<https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016, 15:23.
28. VIANNA, Raphaella Moll. **Uma análise da importância da eficiência energética no setor elétrico brasileiro**. Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:
<<http://pantheon.ufrj.br/handle/11422/500>>. Acesso em: 7 nov. 2016, 17:52.

APÊNDICE A – Modelo do questionário

Nome do servidor:

Idade:

Data:

1. Como você classifica a iluminação nesta sala?

Fluorescente		LED	
<input type="checkbox"/>	SATISFATÓRIA	<input type="checkbox"/>	SATISFATÓRIA
<input type="checkbox"/>	INSATISFATÓRIA	<input type="checkbox"/>	INSATISFATÓRIA

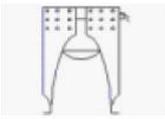
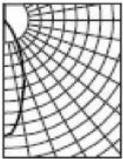
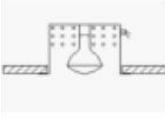
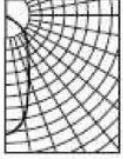
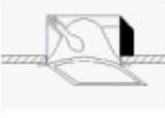
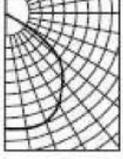
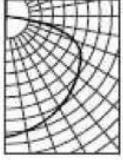
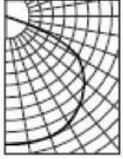
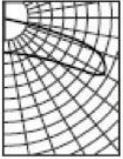
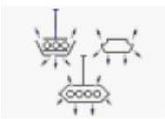
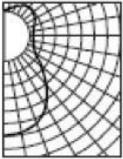
2. Você consegue desenvolver com facilidade todas as atividades com esta iluminação?

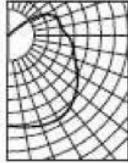
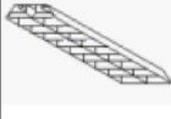
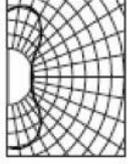
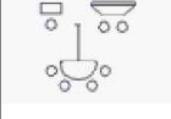
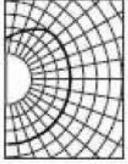
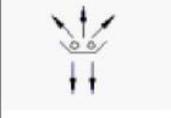
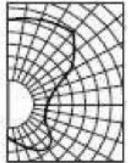
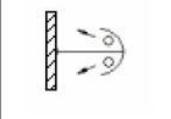
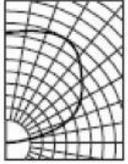
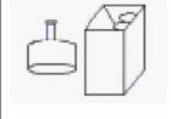
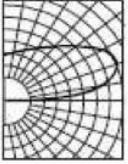
Fluorescente		LED	
<input type="checkbox"/>	SIM	<input type="checkbox"/>	SIM
<input type="checkbox"/>	NÃO	<input type="checkbox"/>	NÃO

3. Como você avalia o nível de iluminação nesta sala?

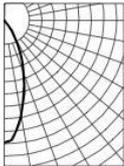
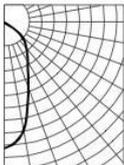
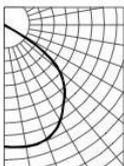
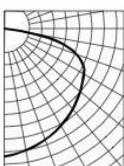
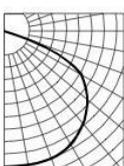
Fluorescente		LED	
<input type="checkbox"/>	BAIXO	<input type="checkbox"/>	BAIXO
<input type="checkbox"/>	MÉDIO	<input type="checkbox"/>	MÉDIO
<input type="checkbox"/>	ALTO	<input type="checkbox"/>	ALTO

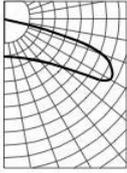
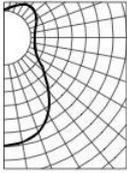
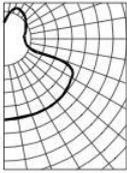
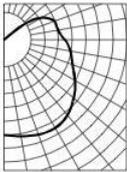
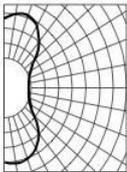
ANEXO A – Tipos de curvas de distribuição luminosa

Tipo	Esquema	CDL	Descrição	Tipo de iluminação
A1			Luminária de embutir para lâmpada refletora elíptica – teto	Direta
A1.1			Luminária de embutir para lâmpada refletora – teto	Direta
A1.2			Luminária refletora de embutir para lâmpada de descarga de alta pressão – teto	Direta
A2			Luminária refletora suspensa para lâmpada fluorescente – teto	Direta
A2.1			Refletor suspenso - teto	Direta
A3			Luminária de embutir para lâmpadas fluorescente compacta e incandescente – teto	Direta
B2			Luminária de sobrepor para lâmpadas fluorescentes e incandescente – teto	Direta

Tipo	Esquema	CDL	Descrição	Tipo de iluminação
B4			Luminária de sobrepor para lâmpada fluorescente tubular – teto	Direta
C2			Luminária de sobrepor com plafonier para lâmpada fluorescente tubular – teto	Direta
C4			Luminária de sobrepor e de tipo Spots para lâmpadas fluorescentes e incandescentes nuas – teto	Direta
D2			Luminária de sobrepor para iluminação semi-indireta – teto	Semi-indireta
E2			Luminária de sobrepor para iluminação indireta – parede	Indireta
E3			Refletor de sobrepor para iluminação indireta - baixa	Indireta

ANEXO B – Fator de utilização

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
A 1		0,6	0,60	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68
		0,8	0,69	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75
		1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80
		1,25	0,81	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84
		1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87
		2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90
		2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93
		3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95
		4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97
		5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98
A 1.1		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,82
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,91	0,78	0,77	0,80	0,76	0,93
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	1,00
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	1,06
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	1,09
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,87	0,93	0,95	0,92	1,14
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,98	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	1,17
		3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	1,20
		4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	1,23
		5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	1,24
A 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92
A 2		0,6	0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44
		1	0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80
		3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84
		4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89
		5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92
A 2.1		0,6	0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70
		3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,78	0,75
		4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81
		5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83

Luminária	Refletâncias														
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3		
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3		
	Piso	ρ_3	0,3					0,1							
Índice do Recinto		K													
A 3		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16		
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26		
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35		
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44		
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52		
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64		
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72		
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77		
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84		
		5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88		
		B 2		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20
				0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26
				1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30
1,25	0,76			0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34		
1,5	0,82			0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37		
2	0,60			0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42		
2,5	0,95			0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46		
3	0,99			0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50		
4	1,04			0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,78	0,71	0,65	0,60	0,55		
5	1,07			0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58		
B 3				0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20
				0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28
				1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,30	0,34
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40		
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45		
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52		
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57		
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60		
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65		
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68		
		B 4		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17
				0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24
				1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29
1,25	0,78			0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34		
1,5	0,83			0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38		
2	0,91			0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45		
2,5	0,96			0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49		
3	0,99			0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52		
4	1,04			0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57		
5	1,07			0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60		
C 2				0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18
				0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24
				1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33		
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36		
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41		
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,66	0,61	0,57	0,51	0,46		
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48		
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53		
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55		

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
C 3		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	0,19
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,24	0,23
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31
		2	0,87	0,80	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,66	0,62	0,56	0,51
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54
C 4		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14	0,45	0,20	0,16	0,19	0,14	0,14
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20	0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24	0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29	0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33	0,71	0,46	0,36	0,39	0,32	0,28
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39	0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45	0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,56	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
		5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49
D 2		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12	0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18	0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23	0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28	0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32	0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39	0,74	0,55	0,48	0,44	0,37	0,31
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44	0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,66	0,55	0,51	0,43
		5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45
D 3		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11	0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17	0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22	0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26	0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31	0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38	0,74	0,54	0,46	0,42	0,36	0,30
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44	0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,58	0,50	0,45	0,36
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
		5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42
D 4		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,55	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,48	0,44	0,38	0,31
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
		5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3						0,1				
Índice do Recinto		K											
E 2		0,6	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,085
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20
		4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22
		5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24
E 3		0,6	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,065
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19
		4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21
		5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,66	0,60	0,42	0,38	0,23

