

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA

PROPOSTA DE MELHORIA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO:
ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO BÁSICO E
SUPERIOR EM ITAJUBÁ

Caroeny Raiany Almeida

ITAJUBÁ

2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

Caroeny Raiany Almeida

**PROPOSTA DE MELHORIA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO:
ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO BÁSICO E
SUPERIOR EM ITAJUBÁ**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Orientador: Roberto Akira Yamachita

Agosto de 2019

ITAJUBÁ

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e sempre à Deus, por me guiar e permitir a conclusão de mais uma fase.

À minha família, e ao meu Noivo Tiago, que sempre me apoiaram e incentivaram em minhas escolhas profissionais e pessoais. Acredito que sem o amor deles seria muito difícil chegar até aqui.

Ao meu orientador Roberto Akira Yamachita, por toda orientação na realização de cada etapa do trabalho, pelos conhecimentos e experiências que me foram transmitidos, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

Aos professores do Programa pelas horas dedicadas ao ensino e transmissão de conhecimento.

Ao diretor da Instituição de Ensino FACESM /Colégio Empreender, Cirineu Ferreira dos Santos, por toda contribuição, ajuda, conhecimento, e disponibilidade no fornecimento de dados, para o estudo de caso.

Ao grande Mestre e amigo, Maurilio Gomes de Magalhães (*in memoriam*), que sempre me incentivou a fazer mestrado.

Aos colegas e amigos do mestrado que me acompanharam nessa trajetória ajudando nos momentos difíceis.

À todas as pessoas que de certa forma, direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa etapa.

RESUMO

O elevado consumo de energia na situação de uma escassez de oferta de energia, implica a necessidade de os edifícios aplicarem cada vez mais projetos de eficiência energética. Uma vez que a iluminação desempenha um papel importante, adaptar o sistema de iluminação por meio da substituição de lâmpadas mais eficientes pode reduzir significativamente o consumo de energia. Instituições como campi universitários, que consomem grande quantidade de energia com seus sistemas de iluminação, tem se tornado um campo de atuação de projetos de melhoria da eficiência energética. Neste contexto, o presente trabalho analisa a proposta de substituição do sistema de iluminação de uma Instituição de Ensino, localizada na cidade de Itajubá, Minas Gerais, com o intuito de promover a melhoria do desempenho energético dela. Para isso, buscou-se estabelecer indicadores de desempenho energético (IDE) que permitirão o acompanhamento de ações de eficiência energética na Instituição, baseado no Sistema de Gestão de Energia (SGE) da NBR 50001. Para avaliar a viabilidade do projeto fez-se uma análise econômica com os principais indicadores econômicos (VPL, TIR, Payback). Os resultados obtidos demonstram que em todas as unidades estudadas o investimento inicial para substituição do sistema de iluminação é viável, tanto na parte econômica, quanto na melhoria do Desempenho Energético que corresponde a uma grande economia de energia correspondente a 28.612,06 kWh/ano. Com o intuito de acompanhar as ações de eficiência energética no melhoramento do desempenho energético da Instituição, desenvolveu-se IDEs do sistema de iluminação atual, determinados como LBE, para comparação e verificação com os mesmos IDEs do sistema proposto. Com os resultados obtidos no estudo de caso, foi possível identificar uma melhoria em todos os IDEs de todas as unidades analisadas. Ambos apresentaram uma diminuição significativa entre o sistema de iluminação atual e o proposto. O indicador por usuário (I_u) resultou em 26,32 kWh/ano / usuário com o sistema de iluminação proposto, e o indicador por área construída (I_a) 5,98 kWh/ano / m², mostrando a melhoria no desempenho energético da instituição com um sistema mais eficiente.

Palavras-chave: Eficiência energética, indicadores de desempenho energético, sistemas de iluminação.

ABSTRACT

The high energy consumption in cases where there is a lack of power supply implies the need to invest in projects related to energetic efficiency. Once lighting highly influence the power demand of buildings and facilities, replacing traditional light bulbs with more efficient lighting technology allows a significant decrease in the energy demand. Institutions such as university campus, which demand a large amount of electric power to supply light bulbs, have become targets of improvements of energetic efficiency projects. In this context, this work aims to analyze the purpose of replacing the current lighting system of a university in Itajubá, Minas Gerais state, with more modern systems in order to make improvements in its energy usage. To accomplish the aims of the research, energy performance indicators, IDE, is employed and allows researchers to promote actions on energetic efficiency based on the energy management system, SGE, from NBR 500001. The assessment of the economic feasibility of the work is performed through the main financial tools found in the literature (NPV, IRR, and Playback). The results obtained show that all of the units studied present not only feasible economic return but also technical improvements as savings in energy is achieved and roughly equal to 28.612,06 kWh/year. In order to measure, verify, and evaluate the energy performance of the university, it was considered IDEs calculated for the current lighting system such as LBE. Those IDEs are compared to those calculated for the proposed system. With the results obtained from the case study, it was possible to identify energy-inefficient areas and propose improvements of IDEs in all units studied. IDEs presented a significant decrease in the proposed lighting system in comparison with the current one. The user indicator (I_u) resulted in 26.32 kWh / year / User with the proposed lighting system, and the area indicator (I_a) 5.98 kWh / year / Area. These numbers show some improvements in the energy usage performance of the university as well as a lighting system more efficient.

Keywords: Energy efficiency, energy performance indicators, lighting systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de Energia Elétrica Nacional do setor Comercial de 2008-2018.....	14
Figura 2 – Consumo de Energia Elétrica em Minas Gerais do setor Comercial de 2008-2018	14
Figura 3 – Consumo Mundial de Energia por Fonte (1990-2016)	18
Figura 4 – Consumo de Energia por Fonte no Brasil (1990-2016)	18
Figura 5 – Economia de energia nos últimos cinco anos (bilhões de kWh)	20
Figura 6 – Uso final de energia global dos edifícios residenciais e não residenciais.....	23
Figura 7 – Linha do tempo do processo de construção do PBE Edifica	25
Figura 8 – ENCE geral de Projeto (esquerda) e ENCE geral da Edificação Construída (direita) para edificações comerciais, de serviços e públicos.....	26
Figura 9 – Equação do RTQ-C. Calculo PT – Pontuação Total.....	27
Figura 10 – Fluxo Luminoso	29
Figura 11 – Iluminância	30
Figura 12 – Luminância	32
Figura 13 – Intensidade Luminosa	33
Figura 14 – Eficiência Luminosa das lâmpadas	33
Figura 15 – Refletância e demais conceitos	35
Figura 16 – Lâmpada incandescente	38
Figura 17 – Lâmpada Halógena	39
Figura 18 – Lâmpada incandescente halógena de 50 W com refletor espelhado dicróico.....	39
Figura 19 – Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular.....	40
Figura 20 – Lâmpada Fluorescente tubular	41
Figura 21 – Exemplos de lâmpadas fluorescentes compactas.....	41
Figura 22 – Construção mecânica de uma lâmpada LED.	42
Figura 23 – Luminária ineficiente sem refletor.....	45
Figura 24 – Luminária ineficiente com refletor	46
Figura 25 – Luminária eficiente	46
Figura 26 – Ciclo PDCA	48
Figura 27 – Conceito e definição de desempenho energético	49
Figura 28 – Representação de Indicador de Desempenho Energético	50
Figura 29 – Identificação e estabelecimento de IDEs.	51

Figura 30 – Fluxo de atividades para revisão energética	52
Figura 31 – Exemplo de fluxo de caixa.....	54
Figura 32 – Composição da TMA.....	58
Figura 33 – Fluxo das atividades utilizadas para o desempenho energético da Instituição	62
Figura 34 – Localização e distribuição das edificações na área de estudo.....	67
Figura 35 – Imagem aérea da instituição.....	68
Figura 36 – Mapa da UE-1	69
Figura 37 – Foto do sistema de iluminação de lâmpadas fluorescentes tubular de uma das salas da UE-1	70
Figura 38 – Foto do sistema de iluminação com lâmpadas CFL de uma das salas da UE-1 ..	70
Figura 39 – Mapa da UE-3	72
Figura 40 – Fotos do sistema de iluminação atual da biblioteca.....	73
Figura 41 – Fotos do sistema de iluminação atual do corredor da UE-3	74
Figura 42 - Histórico do Consumo de Energia total da Instituição	83
Figura 43 – Comparação geral entre o sistema de iluminação atual e o proposto em kWh/ano	84
Figura 44 – Indicador por usuário do sistema atual e do sistema proposto.....	85
Figura 45 – Indicador por área construída das unidades estudadas do sistema proposto e do sistema atual	86
Figura 46 - Indicador Percentual de Consumo Total do sistema atual e do sistema proposto	87
Figura 47 – Indicadores de Desempenho Energético da UE-1 (kWh/ano)	89
Figura 48 – Representação dos Resultados Econômicos do Investimento no Projeto	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor	31
Tabela 2 – Classificação de restituição de cores, em função do IRC	34
Tabela 3 – Temperatura de cor	34
Tabela 4 – Refletâncias conforme a cor da superfície.....	36
Tabela 5 – Sistema de Iluminação por uso final.....	37
Tabela 6 – Características gerais das lâmpadas	37
Tabela 7 – Sistemas de iluminação.....	60
Tabela 8 – Parâmetros do sistema de iluminação atual	75
Tabela 9 – Parâmetros do sistema de iluminação proposto.....	76
Tabela 10 – Sistemas de iluminação UE - 1	78
Tabela 11 – Sistemas de iluminação UE - 2.....	79
Tabela 12 – Sistemas de iluminação UE - 3.....	80
Tabela 13 – Sistemas de iluminação U- Administrativa	81
Tabela 14 – Sistemas de iluminação Geral.....	83
Tabela 15 – Indicador por usuário	85
Tabela 16 – Indicador por área construída das unidades estudadas	86
Tabela 17 – Indicador por área construída de ambientes significativos da UE-3	86
Tabela 18 – Indicador Percentual de Consumo Total.....	87
Tabela 19 – Indicadores de Desempenho Energético por alunos e área construída da UE-1 .	88
Tabela 20 – Valores das lâmpadas para o sistema de iluminação proposto	90
Tabela 21 – Determinação da Economia em R\$/ kWh/ano.....	91
Tabela 22 – Dados de Entrada para o cálculo dos Indicadores Econômico	91
Tabela 23 – Fluxo de caixa Anualizado	91
Tabela 24 – Resultados dos Indicadores Econômicos	92

LISTA DE SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CFL - Compact Fluorescent Lamp

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural

EE - Energia Economizada

EC - Energia Consumida

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

GEE - Grupo de Eficiência Energética

Ia - Indicador por Área

IEA - International Energy Agency

IDE - Indicador de Desempenho Energético

Iu - Indicador por usuário

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCT - Indicador Percentual de Consumo Total

IRC - Índice de Reprodução de cor

K - Kelvin

LBE - Linha de Base Energética

LED - Light Emitter Diode

MCTI - Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio

MCTI - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação

MME - Ministério de Minas e Energia

MMA - Ministério do Meio Ambiente

OIA - Organismo de Inspeção Acreditado

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PEE - Programa de Eficiência Energética

PIB - Produto Interno Bruto

PNE - Plano Nacional de Energia

PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROPEE - Procedimento do Programa de Eficiência Energética

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

SGE - Sistema de Gestão de Energia

VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivos Específicos	15
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.1.1. Eficiência energética em edificações no Mundo e no Brasil	22
2.1.2. PROCEL EDIFICA	24
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	28
2.3. GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS	29
2.3.1. Fluxo Luminoso	29
2.3.2. Iluminância	30
2.3.3. Luminância	31
2.3.4. Intensidade Luminosa	32
2.3.5. Eficiência Luminosa	33
2.3.6. Índice de Reprodução de cor	33
2.3.7. Temperatura de cor	34
2.3.8. Ofuscamento	35
2.3.9. Refletância	35
2.3.10. Vida de uma lâmpada	36
2.4 TIPOS DE LÂMPADAS	36
2.4.1. Lâmpadas Incandescentes	38
2.4.2. Lâmpadas de Descarga	40
2.4.3. Lâmpadas LED	42
2.5. EQUIPAMENTOS AUXILIARES	43
2.5.1. Reator	43
2.5.2. Luminária	44
2.6. ISO 50001	46
2.7. VIABILIDADE ECONÔMICA	53
2.7.1. Fluxo de caixa	54
2.7.2. Valor Presente Líquido (VPL)	55
2.7.3. Payback Descontado	56

2.7.4. Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	58
2.7.5. Taxa Interna de Retorno (TIR).....	59
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	60
3.1. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	60
3.2. DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICOS.....	62
3.2.1 Indicador por Usuário	63
3.2.2 Indicador por Área Construída.....	64
3.2.3 Indicador Percentual de Consumo Total	64
3.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	65
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	66
4.1. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO.....	66
4.1.1. Localização e Distribuição das edificações da Instituição	67
4.2. AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO POR UNIDADE	68
4.2.1. Unidade Educacional 1 (UE-1)	68
4.2.2. Unidade Educacional 2 (UE-2)	71
4.2.3. Unidade Educacional 3 (UE-3)	71
4.2.4. Unidade Administrativa (U- Administrativa)	74
4.3 PARÂMETROS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL E PROPOSTO	75
4.4. RESULTADOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	77
4.4.1 Unidade Educacional -1 (UE-1).....	77
4.4.2. Unidade Educacional -2 (UE-2).....	79
4.4.3. Unidade Educacional -3 (UE-3).....	80
4.4.4. Unidade Administrativa (U-Administrativa)	81
4.4.5. Resultado Geral do Sistema de Iluminação	82
4.5. RESULTADOS DOS INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICOS.....	84
4.5.1. Indicador por usuário geral	84
4.5.2. Indicador por área construída em m ² total das unidades estudadas	85
4.5.3. Indicador Percentual de Consumo Total	87
4.5.4. Indicadores de Desempenho Energético na UE-1	88
4.6. RESULTADO DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA	89
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	95

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

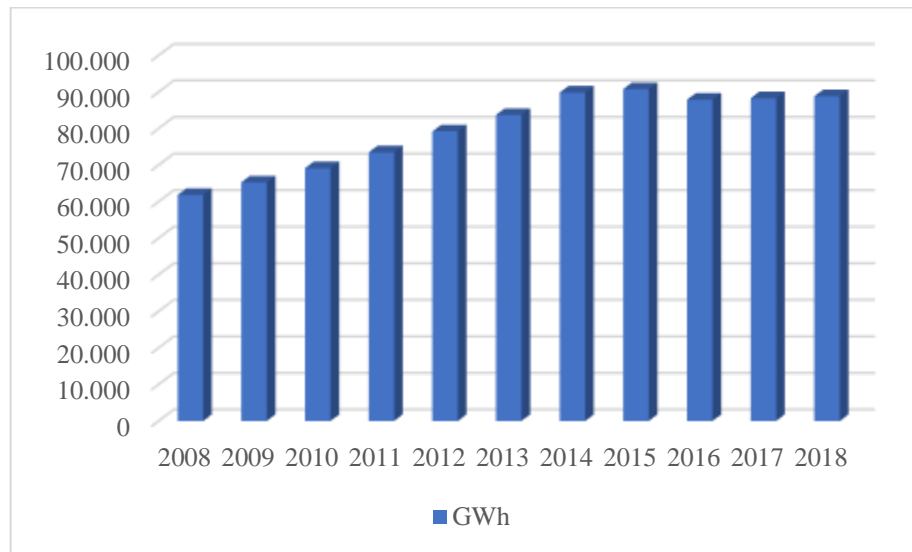
Segundo Carli, Dotoli e Pellegrino (2018), a busca por melhorias na eficiência energética tornou-se obrigatória em todos os níveis de governo, não só por razões de sustentabilidade ambiental, mas também porque a previsão de consumo de energia representa um aumento global de quase 40% até 2030.

A energia é de importância fundamental tanto para as instalações de produção como para melhorar a qualidade de vida das pessoas. Contribuindo assim com a melhoria socioeconômica e tecnológica da civilização. Isto indica que é indispensável para qualquer uso: força motriz, aquecimento, refrigeração, iluminação e mobilidade.

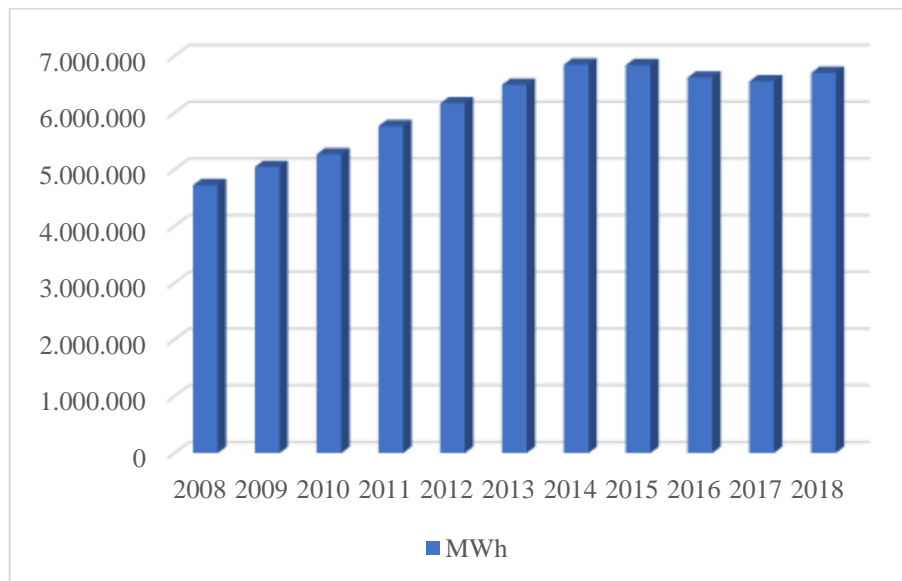
Os edifícios residenciais e comerciais, onde as pessoas vivem e trabalham, são componentes-chave da economia local e regional. Eles fornecem abrigo de elementos externos e também utilidades relacionadas à energia, como conforto térmico, iluminação, comunicações, resfriamento e até mesmo várias formas de entretenimento. O desejo de melhorar a eficiência nessas estruturas é principalmente devido à otimização da conversão de energia usada para executar essas tarefas. Juntamente com a indústria e o transporte, os setores residencial e comercial são classificados como setores de uso final que utilizam grandes quantidades de combustível e eletricidade para atender a muitas necessidades humanas básicas (MARTÍNEZ, EBENHACK e WAGNER, 2019).

A partir do Anuário estatístico de Energia Elétrica 2018, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, onde se encontra os dados consolidados de 1995 a 2018, do consumo nacional de energia elétrica, segmentado pelas classes residencial, industrial, comercial e outros, foi feito um levantamento do consumo do setor comercial com ênfase nos últimos 10 anos. A Figura 1 apresenta esse levantamento, onde observa-se um crescimento significativo de 43,68% do consumo de 2008 a 2018 em nível nacional, passando de 61.813 para 88.815 GWh.

A partir dos dados consolidados de 2004 a 2018, do consumo de energia elétrica em níveis nacional, regional e por subsistemas, segmentado pelas classes residencial, industrial, comercial e outros, foi feito um levantamento dos últimos 10 anos de consumo de energia elétrica do setor comercial no estado de Minas Gerais. Na Figura 2 é apresentado um crescimento significativo de 41,95% entre 2008 e 2018, onde eram consumidos em 2008 4.723.166 MWh e em 2018 foram consumidos 6.704.401 MWh.

Figura 1 – Consumo de Energia Elétrica Nacional do setor Comercial de 2008-2018

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com base nos dados do EPE (2019)

Figura 2– Consumo de Energia Elétrica em Minas Gerais do setor Comercial de 2008-2018

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com base nos dados do EPE (2019)

O consumo de energia elétrica teve dois pontos negativos ao longo deste período analisado, um devido à crise econômica mundial de 2008 e o outro devido à crise econômica e política de 2015 (-0,7%). Após dois anos de recessão, o consumo de energia elétrica nacional voltou a subir em 2017. A projeção do consumo alcança, no cenário de referência, o montante de 787,5 TWh no ano de 2032, o que equivale a um crescimento médio anual de 3,6%. Essa projeção do consumo de eletricidade baseia-se em projeções referentes as variáveis econômicas,

como PIB (produto interno bruto), população, produção física dos grandes consumidores, etc (EPE, 2018).

Nas duas últimas décadas, a eficiência energética (como importante parâmetro de sustentabilidade) e a produção mais limpa, tornaram-se uma das principais responsabilidades globais. A área com maior potencial de economia de energia é a iluminação artificial, que representa cerca de 20% do consumo global de eletricidade (DJURETIC; KOSTIC, 2018).

A eficiência energética é muito importante nos edifícios escolares porque está relacionada com a qualidade da iluminação em seu interior, e o custo da eletricidade nestes edifícios está relacionado com os seus principais custos operacionais. Além disso, os edifícios escolares diferem de outros tipos de edifícios, pois são os locais para ensinar desde crianças em ensino fundamental até adultos em ensino superior (DIMOUDI; KOSTARELA, 2009).

Segundo Doulos et al. (2019), as salas de aula são as mais significativas consumidoras de energia, consumindo quase 50% de toda energia em uma escola, diferentemente de outras salas, como, biblioteca, auditório, refeitório, instalações administrativas e oficinas. Uma vez que a iluminação desempenha um papel importante, adaptar o sistema de iluminação por meio da instalação de novas luminárias ou simplesmente substituir lâmpadas para aumentar a eficiência luminosa da luminária pode reduzir significativamente o consumo de energia.

1.1. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo principal analisar a proposta de substituição do sistema de iluminação de uma Instituição de Ensino, localizada na cidade de Itajubá, Minas Gerais, promovendo a melhoria da Gestão energética da mesma, e avaliando economicamente se a proposta apresentada contribuirá com a diminuição do consumo de energia elétrica das unidades estudadas. Para a melhoria do desempenho energético, buscar-se-á estabelecer Indicadores de Desempenho energético que permitirão o acompanhamento de ações de eficiência energética na Instituição.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Efetuar levantamento e caracterização dos sistemas de iluminação instalados.
- Por meio de uma avaliação econômica, realizar o estudo dos níveis de iluminação com os sistemas instalados com lâmpadas convencionais atualmente, e comparar os valores

obtidos com os valores de uma proposta de sistemas com lâmpadas mais eficientes recomendadas para esses espaços;

- Quantificar os investimentos necessários para implantar as medidas de eficiência energética na iluminação;
- Caracterizar o uso da energia em iluminação buscando melhorar o desempenho energético da Instituição, gerando IDE que permitam o acompanhamento de ações de eficiência energética.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho se estrutura em cinco capítulos e referência bibliográfica.

Neste primeiro capítulo de introdução apresenta-se o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo 2, é apresentado o referencial teórico sobre: Eficiência Energética; Panorama mundial e nacional de eficiência energética em edifícios de Serviço, Comercial e Públicos; características luminotécnicas, bem como os conceitos de iluminação e tipos de lâmpadas. Apresentará também os fatores relevantes do Sistema de Gestão de Energia (SGE) da NBR 50001 e o conceito e funcionamento dos Indicadores de Desempenho Energético (IDE); e conceitos dos aspectos econômicos (VPL, TIR e payback).

No capítulo 3, apresenta-se a metodologia do trabalho, cuja análise dar-se-á em uma proposta de substituição do sistema de iluminação dividido em três etapas: a primeira por meio da comparação de valores entre os sistemas atual e proposto, na segunda, a aplicação de IDEs, e por último, a análise econômica do projeto.

É apresentado no capítulo 4, o estudo de caso e os resultados, as análises feitas dos dados obtidos em cada etapa, a comparação do consumo de energia entre os dois sistemas, a aplicação e cálculo dos IDEs e também a viabilidade econômica.

E no capítulo 5, é apresentada a conclusão geral do trabalho, mostrando se o sistema proposto contribui com a melhoria do Desempenho Energético da instituição estudada. Apresenta-se também sugestões de novas melhorias no consumo energético da instituição, para serem aplicadas baseando-se nos IDEs definidos.

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta-se neste capítulo o referencial teórico utilizado como base para este estudo. E tem por objetivo conceituar os temas envolvidos na pesquisa que estão divididos em: Eficiência energética; Eficiência energética em sistemas de iluminação; Grandezas luminotécnicas; Tipos de lâmpadas; equipamentos auxiliares; ISO 50001; e Viabilidade econômica.

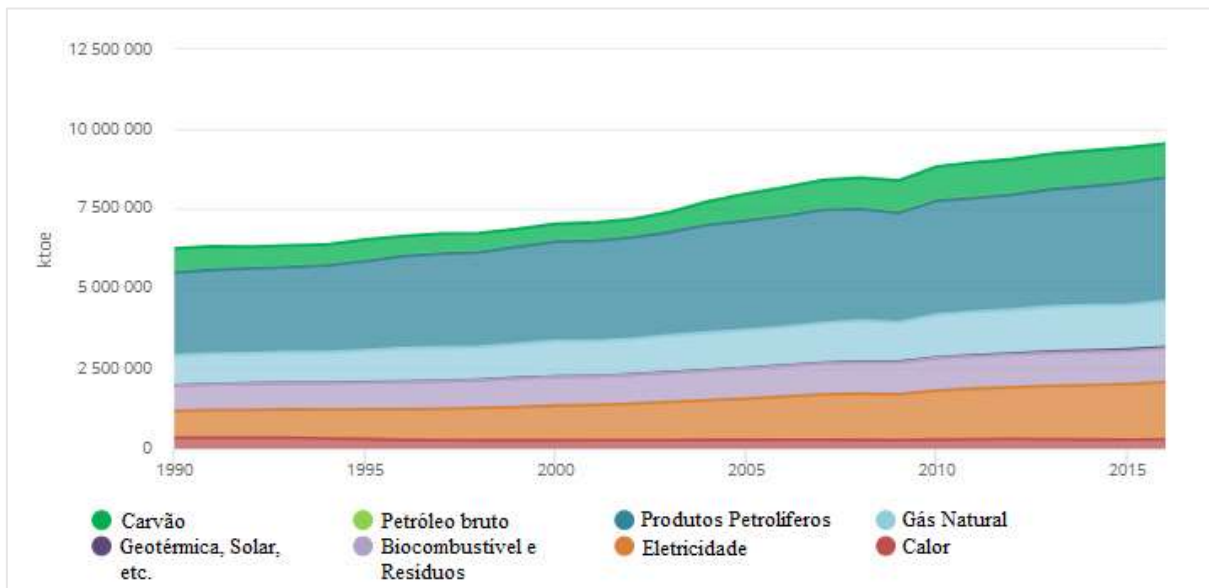
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Na segunda década do século XIX, deu-se início a era da eletricidade urbana. Foram 140 anos de um consumo crescente de energia nas cidades, nos setores industrial, residencial, comercial e público (ROMÉRO; REIS, 2012).

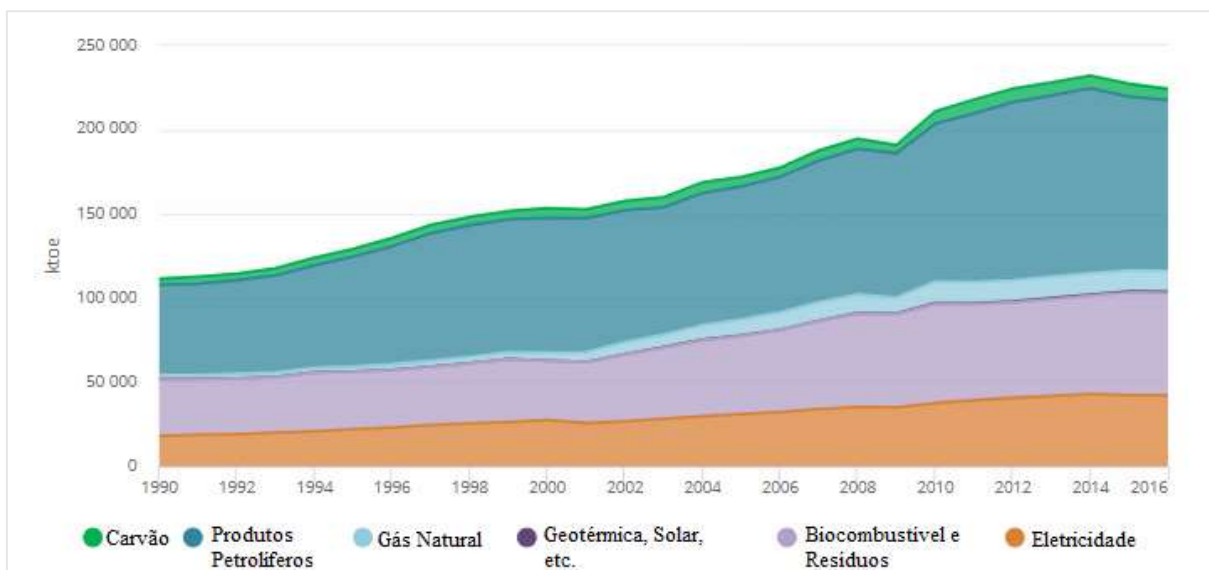
Desde 1920 o consumo de energia (eletricidade e uso de veículos) passou a ter um aumento constante. Na época da Segunda Guerra Mundial obteve-se um crescimento significativo, onde os países desenvolvidos e subdesenvolvidos em todo o mundo aumentaram seu consumo de energia devido às necessidades essenciais de eletricidade e combustíveis para automóveis. Entre os anos de 1950 e 2000, há um imenso aumento do consumo de energia, em razão de países como a China, a Índia e outros países desenvolvidos tornaram-se grandes potências industriais (VLACHOGIANNI E VALAVANIDIS, 2013, apud, MONTGOMERY, 2010).

A maior parte da energia consumida no mundo é proveniente de fontes não renováveis como o petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear. Elas apresentam um alto rendimento energético (poucas perdas de energia durante o processo de conversão), preços atraentes, criam muitos empregos e têm infraestrutura construída para geração e distribuição (usinas, dutos, ferrovias e rodovias). Já as fontes de energia renováveis são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades são renovadas frequentemente ao serem utilizadas. São exemplos de fontes renováveis: hídrica, solar, eólica, biomassa, geotérmica, oceânica e hidrogênio (EPE, 2019).

A Figura 3 apresenta o Consumo Mundial de Energia por Fonte e a Figura 4 o Consumo de Energia por Fonte no Brasil, ambas em um período de 26 anos (1990 a 2016).

Figura 3– Consumo Mundial de Energia por Fonte (1990-2016)

Fonte: IEA (2019)

Figura 4 – Consumo de Energia por Fonte no Brasil (1990-2016)

Fonte: IEA (2019)

Verifica-se que o maior consumo mundial de energia é de produtos petrolíferos, assim como no Brasil. A eletricidade utilizada de forma significativa tanto no Brasil quanto mundialmente obteve um crescimento perceptível ao longo destes 26 anos analisados. No Brasil o Biocombustível obteve o maior crescimento comparando com o resto do mundo. Todas as fontes de consumo apresentadas nas Figuras tiveram um aumento significativo ao longo dos anos.

Após a crise do petróleo em 1970, os países começaram a analisar soluções energéticas para diminuir a dependência dos combustíveis fósseis. Foi a partir desse ponto que a eficiência energética se tornou assunto de importância mundial, fazendo parte das políticas energéticas da maioria dos países, firmada pela preocupação ambiental. Por conseguinte descobriu-se que o mesmo “serviço de energia” (iluminação, força motriz e os usos que proporciona aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletroeletrônicos, etc.) poderia ser disponibilizado com menos gasto de energia, gerando resultados econômicos, ambientais, sociais e culturais. Os equipamentos e práticas de uso também passaram a ser analisados por meio de sua eficiência energética, verificando-se que muitos deles eram “viáveis economicamente”, isto é, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo uso evitava. Essas medidas – uso de equipamentos e práticas que geram menor uso da energia para obter o mesmo serviço prestado – receberam o nome de “medidas de eficiência energética” (EPE, 2007).

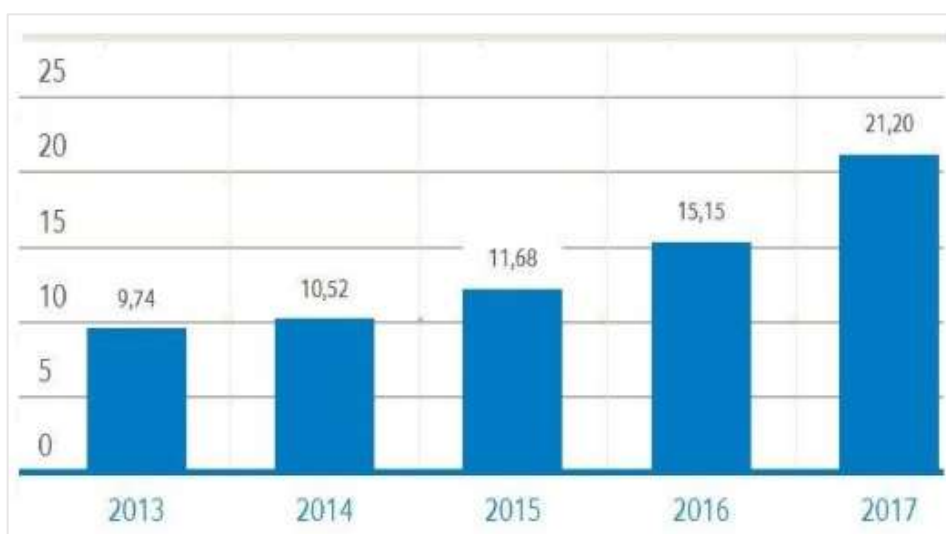
A busca pela eficiência energética ganhou nova motivação recentemente. O cuidado com a questão das mudanças climáticas resultantes do aquecimento global do planeta, aquecimento este devido, à produção e ao consumo de energia, trouxe argumentos novos e definitivos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia. Essa preocupação se justifica até mesmo no Brasil, onde quase metade de sua matriz energética está relacionada a energias renováveis (EPE, 2016).

O Brasil possui várias instituições que lidam regularmente com o tema da eficiência energética, tais como o Ministério de Minas e Energia – MME; a ELETROBRAS, responsável pela execução do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel); a PETROBRAS, responsável pela execução do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (Conpet); a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, responsável pela execução do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica – PEE; as próprias concessionárias distribuidoras; o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, responsável pela execução do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE; e algumas grandes empresas industriais, que possuem programas internos de conservação de energia. Há outras que lidam com o tema de forma transversal ou mesmo esporadicamente (PEE, p.32, 2012).

Em 1975, o Grupo de Estudos sobre Fontes Alternativas de Energia (GEFAE) organizou, em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME), um seminário sobre conservação de energia, sendo assim uma iniciativa pioneira no país. O presidente da república autorizou a financiadora de estudos e projetos (FINEP), ainda em 1975, a alocar recursos financeiros para a realização do programa de estudo de conservação de energia, com o objetivo de apoiar e desenvolver estudos em busca de maior eficiência na captação, transformação e consumo de energia (EPE, 2012).

Dez anos mais tarde, em 1985, foi criado o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. É um programa do governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras. As ações do Procel contribuem para melhorar a eficiência de produtos e serviços, desenvolvendo hábitos e conhecimentos sobre eficiência energética e, além disso, adiam investimentos no setor elétrico, mitigando impactos ambientais e um Brasil mais sustentável. Nesse contexto, o Procel promove medidas de eficiência energética em diversos segmentos da economia que ajudam o país a economizar energia gerando benefícios para toda a sociedade. As áreas de atuação são em: equipamentos; edificações; iluminação pública; poder público; indústria e comércio; e em conhecimento. Entre 1986 e 2017, levando em conta os resultados obtidos pelo Procel, a economia total de energia foi de 128,6 bilhões de kWh. Os ganhos de energia mais recentes podem ser verificados na Figura 5 (PROCEL INFO, 2019).

Figura 5– Economia de energia nos últimos cinco anos (bilhões de kWh)



Fonte: Procel info (2019)

O CONPET, um programa do Governo Federal, criado em 1991, por decreto presidencial, para fomentar o desenvolvimento de uma cultura ante-esperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil, garantindo um país melhor para as gerações futuras. Associado ao Ministério de Minas e Energia, realizado com apoio técnico e administrativo da Petrobras, e sua atuação é orientada por diversos marcos Legais. O CONPET estimula a eficiência no uso da energia em vários setores, com ênfase nas residências, nas indústrias e nos transportes, desenvolvendo ações também de educação ambiental. O programa tem o intuito de mobilizar a sociedade brasileira, contribuindo para o desenvolvimento econômico e o bem-estar

social. Os principais objetivos do Programa são: racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia (CONPET, 2012).

Em 17 de outubro de 2001, a eficiência energética no Brasil obteve um importante marco, com a sanção pelo Presidente da República da Lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Onde em seu artigo 2º, a lei presume que o poder executivo estabelecerá “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país”. (HADDAD, 2005). Com o objetivo de implementar o disposto na Lei, foi instituído o CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética) por meio do Decreto nº 4.059/2001. O CGIEE é composto pelo MME, MDIC (Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio), MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação), Aneel, ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), por um representante da universidade e um cidadão brasileiro. Onde suas principais funções são: normalizar os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de aparelhos consumidores de energia, estabelecer programas de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado e também constituir comitês técnicos para analisar matérias específicas (PROCEL, 2015).

Além dessas ações citadas, em nível federal outras ações com impacto direto ou indireto sobre a eficiência energética podem ser elencadas: Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf); Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE); Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); Selo PROCEL; RELUZ; Programa Nacional para uso racional de derivados de petróleo e gás natural (CONPET); Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição – PEE; PROESCO; Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC; Programa Tecnológico para Mitigação de Mudanças Climáticas- Proclima; Programa Fundo Clima – BNDES; PAC2 Mobilidade Grandes Cidades; Compras Públicas Sustentáveis; Lei de eficiência energética; Plano Inova Energia; Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura – REIDI e, Planos de Gestão de Logística Sustentável. Cabe destacar também a existência de programas locais e iniciativas voluntárias de agentes de mercado, não apresentadas, mas igualmente importantes para a apropriação de ganhos de eficiência energética na economia (EPE, 2016).

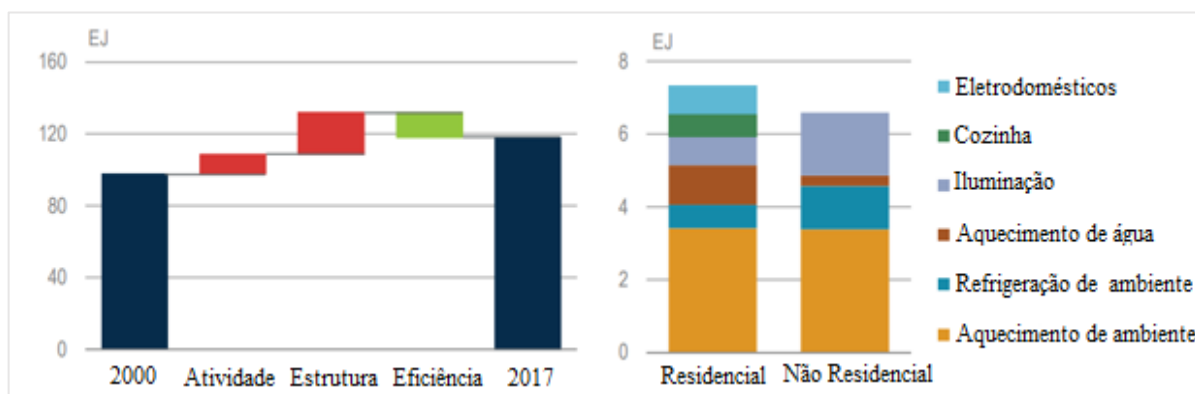
2.1.1. Eficiência energética em edificações no Mundo e no Brasil

Os edifícios públicos e/ou privados cuja finalidade não seja a residencial ou industrial, são tidos como comerciais, de serviços e públicos. Como escolas; instituições ou associações de diversos tipos, hospitais, postos de saúde e clínicas; vendas de mercadorias em geral; prestação de serviços; bancos; diversão; preparação e venda de alimentos; escritórios e edifícios empresariais, de uso de entidades, instituições ou organizações públicas municipais, estaduais e federais, incluindo sedes de empresas ou indústrias (desde que não haja a atividade de produção); meios de hospedagem, entre outros (INMETRO, 2010). Edifícios não residenciais possuem uma ampla variedade de usos e serviços de energia, como exemplo: aquecimento de água, iluminação, refrigeração, preparação de alimentos, etc (PÉREZ-LOMBARD, ORTIZ e POUT 2008).

Segundo Riascos e Palmiere (2015) uns dos maiores consumidores de energia, são os edifícios comerciais e residenciais, totalizando entre 30% a 40% de toda energia primária consumida em países desenvolvidos. A maior parte desta energia é usada para atender os sistemas de refrigeração e aquecimento internos, e em uma menor proporção, para atender os sistemas de iluminação e segurança. No setor comercial, o sistema de ar condicionado representa 48% de todo o consumo final, a iluminação 24%, os equipamentos de controle do edifício 15%, e elevadores e outras cargas consomem 13%.

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico e a Agência Internacional de Energia, em 2017, os edifícios e eletrodomésticos consumiram cerca de 30% do uso final da energia global. O uso de energia em edifícios aumentou 0,8% em relação a 2016 e 20% entre 2000 e 2017. Esse aumento foi impulsionado principalmente por fatores estruturais, como aumento da área útil, ocupação e acesso a serviços, juntamente com o aumento da atividade, incluindo mudanças na população, clima e uso de eletrodomésticos; como apresentado na Figura 6 (OECD/IEA, 2018).

Figura 6 – Uso final de energia global dos edifícios residenciais e não residenciais



Fonte: OECD/IEA, 2018

Ipiranga (2017) relatou em seu trabalho que segundo os dados do Balanço Energético Nacional 2014, as edificações comerciais, públicas e residenciais utilizaram 48,5% de energia elétrica consumida no Brasil, sendo 24,2% do consumo em edificações residenciais, 16,3 % das edificações comerciais e 8% das públicas.

No Brasil, em fevereiro de 2009, foi lançado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) com a participação do Inmetro e do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), fomentando quais os parâmetros necessários para a definição do nível de eficiência de um edifício e posteriormente o fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Essa iniciativa vem atender à Lei nº 10.295. O Decreto criou o “Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE” e, especificamente para edificações, o “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País”, para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil, visando ao uso racional da energia elétrica (CARLO e LAMBERTS,2010).

A Secretaria de Minas e Energia (2016) mostrou em seu plano energético do Rio Grande do Sul, as leis de eficiência energética dos maiores consumidores de energia no mundo. São elas, Brasil: Lei da eficiência energética (10.295); Canada: Ato de eficiência energética; China: Lei de conservação de energia; Estados Unidos: Lei Nacional de política de conservação de energia; França: Lei de eficiência energética e de programação política energética; Japão: Lei de conservação de energia; República da Coreia: Lei da utilização racional de energia (REAU).

2.1.2. PROCEL EDIFICA

Para proporcionar a eficiência energética nas edificações, o governo brasileiro criou o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL/EDIFICA) que define os parâmetros de qualidade e níveis de eficiência energética nas edificações. O uso eficiente da energia elétrica traz consigo grandes benefícios que significa uma diminuição no consumo, uma redução no impacto ambiental e também a melhora na qualidade do ambiente construído (NUSS, 2018).

Regulamentou-se em 2001 o “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” (GT-Edificações) por meio do Decreto nº 4059/2001, implementando procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil, tendo em vista o uso correto da energia elétrica (RODRIGUES; BENINCÁ; ARAÚJO, 2016).

O Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) foi criado em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL e trabalha em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, as Universidades, o Ministério das Cidades, os Centros de Pesquisa e entidades das áreas governamentais, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil (MANGIAPELO, 2012).

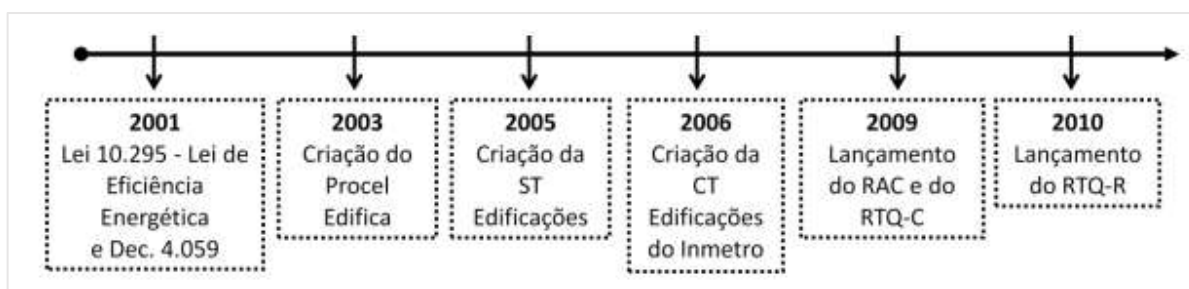
O Procel Edifica está dividido em seis linhas de ações, as quais buscam racionalizar o consumo de energia elétrica no Brasil. São elas: Requisitos básicos para arquitetura bioclimática; Indicadores referenciais de eficiência energética para edificações; Certificação de materiais e equipamentos; Regulamentação / legislação; Mecanismos para contribuição de recursos financeiros e remoção de barreiras à conservação de energia elétrica; e projetos educacionais e de interesse social (WASCHEVICZ, 2016).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2014), a secretaria Técnica de Edificações (ST- Edificações) foi criada no final de 2005 pelo GT-Edificações, com função para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética, nomeando como coordenador desta ST o Procel Edifica. Em 2006, criou-se a CT-Edificações, uma comissão técnica onde o Inmetro passou a integrar o processo. Discutido e definido o processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Desde então, começaram os maiores avanços na área da eficiência energética de edificações, onde desenvolveu, na área do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), juntamente com seus

documentos complementares, sendo eles: Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC), que retrata o processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Organismo de Inspeção acreditado (OIA) pelo Instituto Nacional de Metrologia; Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R. Pode-se ver na Figura 7 uma linha do tempo de todo processo de construção do PBE Edifica.

Figura 7 – Linha do tempo do processo de construção do PBE Edifica

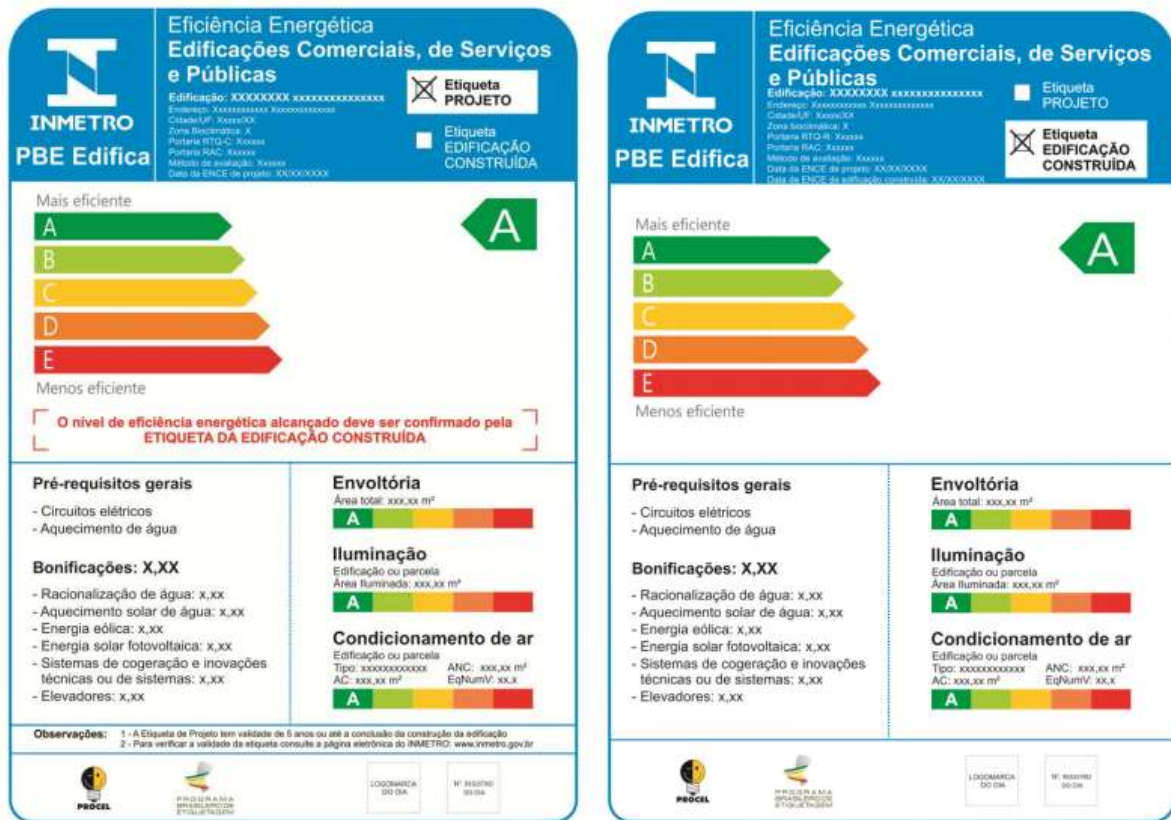


Fonte: Cartilha PBE Edifica_R3, Eletrobrás, Rio de Janeiro (2013)

A ENCE para uma edificação de serviço, comercial e pública é obtida por meio de uma avaliação da edificação fundamentado pelos requisitos contidos no RTQ-C e de acordo com as regras estabelecidas no RAC. Essa atividade é feita por meio do OIA pelo Inmetro. A descrição dos OIAs pode ser obtida no sítio eletrônico do Inmetro. São duas etapas consecutivas para o processo de etiquetagem: Inspeção de projetos, onde é emitido ao fim a ENCE de projeto (facultativa); e a inspeção da edificação construída, onde ao fim se emite a ENCE da Edificação Construída, respectivamente, ilustrado na Figura 8 a ENCE geral de Projeto e a ENCE geral da Edificação Construída (PBE EDIFICA, 2014).

A inspeção de projeto pode ser feita segundo dois métodos – prescritivo e simulação termoenergética, enquanto a inspeção da edificação construída deve ser feita através da inspeção amostral in loco. O método prescritivo para inspeção de projeto contém equações e tabelas que limitam parâmetros da edificação de acordo com o nível de eficiência energética. Já o método de simulação baseia-se na simulação termoenergética de dois modelos computacionais representando duas edificações: um modelo da edificação real (edificação proposta em projeto) e um modelo de referência, este último baseado no método prescritivo. A classificação é obtida comparando-se o consumo anual de energia elétrica simulado para os dois modelos, sendo que o consumo do modelo do edifício real deve ser menor que do modelo de referência para o nível de eficiência pretendido (PBE EDIFICA, 2014, p. 27).

Figura 8 – ENCE geral de Projeto (esquerda) e ENCE geral da Edificação Construída (direita) para edificações comerciais, de serviços e públicos



Fonte: Manual para Etiquetagem de Edificações Públicas: Gestor Público (PBE EDIFICA, 2014).

A classificação da edificação, pelo RTQ-C, é obtida por meio da avaliação de três sistemas individuais e de seus respectivos pesos em relação ao consumo de energia elétrica da edificação:

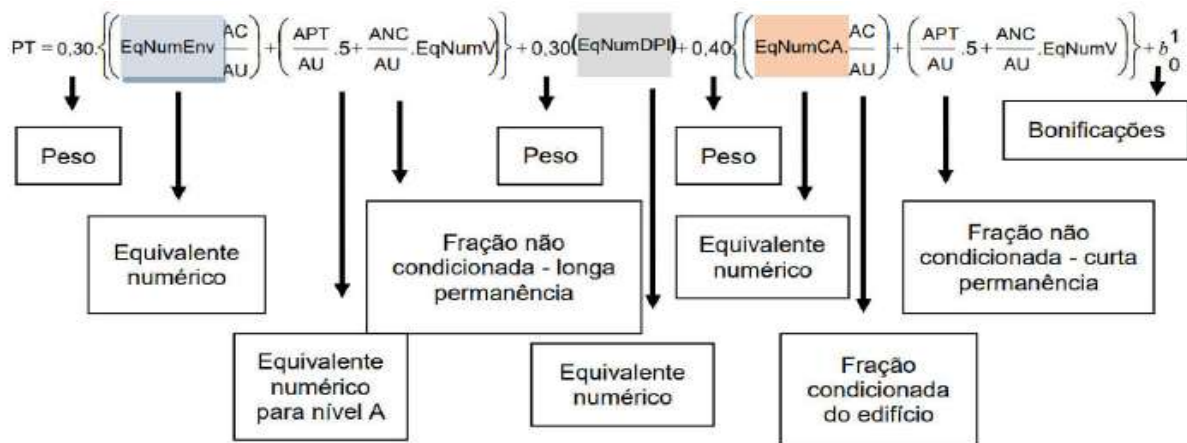
- Envoltória (Env), com peso de 30%;
- Sistema de iluminação (DPI) também com peso de 30%; e o
- Sistema de condicionamento de ar (CA), com peso de 40%.

Segundo o Manual do RTQ-C, a etiqueta concedida pode ser parcial: (Envoltória; Envoltória + Iluminação; Envoltória + Condicionamento de Ar) ou uma etiqueta Geral para o edifício, no qual são avaliados os três sistemas, sucedendo em uma classificação final, variando entre a mais eficiente representada pela letra (A) e a menos eficiente (E) (PBE EDIFICA, 2016).

A classificação geral do nível de eficiência da edificação considera os dados fornecidos pelo construtor / incorporador e também os dados gerados durante a inspeção do OIA, sempre em conformidade com o regulamento técnico (RTQ-C). Calcula-se, a partir de dados da construção, uma pontuação total (PT), que possibilita definir o nível da etiqueta. Esse cálculo é

realizado por meio de uma equação que atribui pesos aos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento do ar. Caso o projeto ou a edificação construída possua itens de bonificação, como um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, pode-se acrescentar até 1 ponto. A soma ponderada desses grupos de requisitos e mais eventuais bonificações são combinadas pela fórmula mostrada na Figura 9 (MMA, 2015).

Figura 9 – Equação do RTQ-C. Calculo PT – Pontuação Total



Fonte: Manual de aplicação do RTQ-C (PBE EDIFICA, 2017)

Onde,

EqNumEnv Equivalente: numérico da envoltória;

EqNumDPI Equivalente: numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumV Equivalente: numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC);

AC: Área útil dos ambientes condicionados;

AU: Área útil;

B: Pontuação obtida pelas bonificações.

A Cartilha PBE Edifica_R3, Eletrobrás, Rio de Janeiro (2013) mostra quais as vantagens ao se obter a ENCE. Uma delas é que a etiquetagem proporciona o conhecimento do nível de eficiência energética das edificações. Auxiliando na busca e garantia de edificações mais eficientes promovendo o crescimento econômico do país com controle do crescimento do consumo de energia. Já para os consumidores, em uma compra de um imóvel a etiquetagem

torna-se uma ferramenta importante na tomada de decisão, possibilitando comparar os níveis de eficiência entre uma edificação e outra. Além disso, promovem a redução do consumo de energia elétrica, possibilitando economia na fatura de energia ao longo da vida útil do empreendimento. Possibilita também, ao governo, conhecer o desempenho energético do parque edilício, determinar índices mínimos de desempenho para novas edificações e estimular políticas, programas e projetos para a melhoria da eficiência energética das edificações brasileiras.

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

A eficiência energética em sistemas de iluminação é a capacidade de se utilizar uma menor quantidade de energia, com o intuito de gerar uma maior quantidade de luz necessária. Porém em nenhuma circunstância, este princípio pode vir a prejudicar o conforto e a satisfação do usuário, assim como o desenvolvimento da tarefa visual exigida. (SALOMÃO, 2010). Com o avanço da tecnologia novos modelos de lâmpadas passaram a ser utilizadas, possibilitando a produção de uma mesma luminosidade, porém de uma forma mais econômica. Economia está podendo ser de 28% a 45% dependendo da substituição do sistema iluminativo por um mais eficiente (DINARDI; TORNE, 2018).

Segundo Rezende e Lisita (2014), existem vários elementos que ajudam a conseguir uma melhor eficiência energética no projeto luminotécnico, entre eles destacam-se:

- a) Inserção da luz artificial com a luz natural quando possível;
- b) Utilização de iluminância média de acordo com o uso e o recinto;
- c) Sensores de presença ou fotoelétricos utilizados em áreas com pequena permanência;
- d) Lâmpadas, luminárias e outros equipamentos eficientes;
- e) Utilização de fontes de luz que geram menos calor, com isso proporcionam um maior fluxo luminoso colaborando para não sobrecarregar a refrigeração do recinto;
- f) Uso de lâmpadas que tenham voltagem de acordo com a tensão da rede da concessionária;
- g) Priorizar a utilização de teto, paredes, piso e mobiliários de cores claras, tornando o recinto mais eficiente devido ao maior índice de refletância que possuem, distribuindo também melhor a luminância. É preciso tomar cuidado para que esses elementos não causem ofuscamento, em virtude da reflexão indesejada;
- h) Manter uma manutenção adequada do recinto, lâmpadas, luminárias e equipamentos auxiliares.

Neves (2013), mostra que uma boa iluminação nas escolas deve oferecer conforto visual, boa visibilidade, uma adequada reprodução de cores, entre outros; para isso necessita-se:

- Garantir os níveis de iluminação exigidos assegurando uma boa visibilidade para todas as atividades escolares;
- Considerar a função de cada área, como, sala de aula, laboratório, auditório, espaços comuns;
- Atender as necessidades visuais dos alunos, funcionários e demais utilizadores;
- Utilização de lâmpadas e luminárias mais eficientes para iluminar o espaço;
- Diminuir os requisitos de iluminação artificial, aumentando a utilização da luz natural utilizando claras nas paredes e tetos;
- Assegurar que a limpeza e manutenção podem ser realizadas de maneira fácil.

2.3. GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS

Este tópico apresenta noções básicas sobre conceitos utilizados em projetos luminotécnicos. Como o Fluxo luminoso; Iluminância; Luminância; intensidade luminosa; Eficiência luminosa; Índice de Reprodução de cor; Temperatura de cor; Ofuscamento; Refletância; e vida de uma lâmpada.

2.3.1. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso (ϕ), ilustrado na Figura 10, segundo o Manual de Iluminação Eficiente do PROCEL (2002), é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sua unidade de medida é o lúmen (lm).

Figura 10 – Fluxo Luminoso



Fonte: Osram (2005)

2.3.2. Iluminância

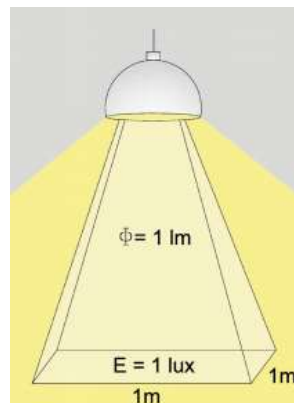
É o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área (m²). Sua medição é feita por um aparelho chamado luxímetro. A unidade da iluminância é o lux, onde um lux refere-se à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual abrange um fluxo luminoso de um lúmen, ilustrado na Figura 11 (PROCEL,2011).

O fluxo luminoso é calculado como mostra a equação 1:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad \text{equação (1)}$$

Em que E é a iluminância (lux), A é a área (m²) e ϕ é o fluxo luminoso (lúmens).

Figura 11 – Iluminância



Fonte: Manual de Iluminação – Procel (2011)

A iluminância é uma densidade de luz essencial para a prática de uma determinada tarefa visual. Os valores relativos à iluminância são tabelados por atividade, e encontram-se na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Na Tabela 1 são apresentados os valores relativos ao planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor, onde estão dispostas no quadro conforme citado:

A coluna 1: Lista de ambientes (áreas), tarefas ou atividades A coluna 1 lista aqueles ambientes, tarefas ou atividades para os quais os requisitos específicos são dados. Se um ambiente em particular, tarefa ou atividade não estiverem listados, convém que sejam adotados os valores dados para uma situação similar. Coluna 2: Iluminância mantida (Em lux) A coluna 2 estabelece a iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade estabelecidos na coluna 1. Coluna 3: Índice limite de ofuscamento unificado (UGRL) A coluna 3 estabelece o UGR limite aplicável para a situação listada na coluna 1. Coluna 4: Índice de reprodução de cor mínimo (Ra) A coluna 4 estabelece o índice de reprodução de cor mínimo para a situação listada na coluna 1 (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, p.11).

Tabela 1 – Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor

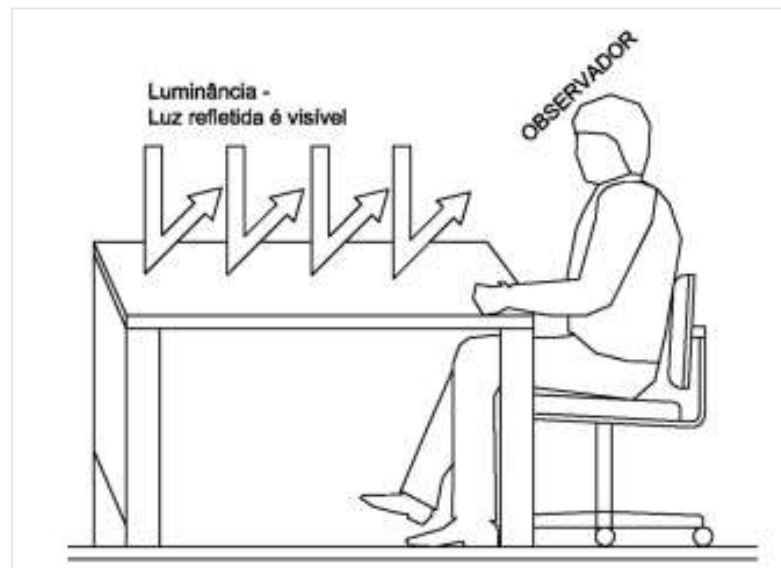
Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR _L	R _a	Observações
Construções educacionais				
Berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	
Escritórios				
Arquivamento, cópia, circulação etc	300	19	80	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	
Estações de projeto assistido por computador	500	19	80	
Salas de reunião e conferência	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Recepção	300	22	80	
Arquivos	200	25	80	
Locais de entretenimento				
Salas com multiuso	300	22	80	
Bibliotecas				
Estantes	200	19	80	
Área de leitura	500	19	80	
Bibliotecárias	500	19	80	

Fonte: Elaboração do próprio autor com base na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

2.3.3. Luminância

A luminância é estabelecida como sendo a intensidade luminosa emitida por unidade de área reproduzida por uma superfície em uma determinada direção. Ou seja, é a sensação de claridade que é transmitida ao olho humano, provocada pela intensidade de luz refletida numa determinada direção, ilustrada na Figura 12 (OSRAM, 2005).

Figura 12 – Luminância



Fonte: Manual de Iluminação – Procel (2011)

A equação 2 que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \cdot \alpha} \quad \text{equação (2)}$$

Onde,

L = luminância ($\frac{cd}{m^2}$)

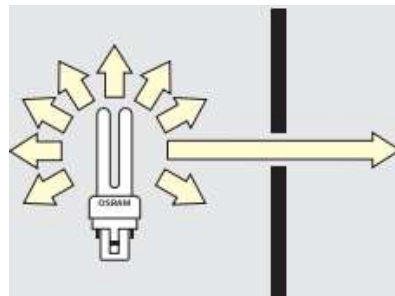
I = intensidade luminosa (cd)

A = é área projetada (m^2)

α = é o ângulo de incidência (graus)

2.3.4. Intensidade Luminosa

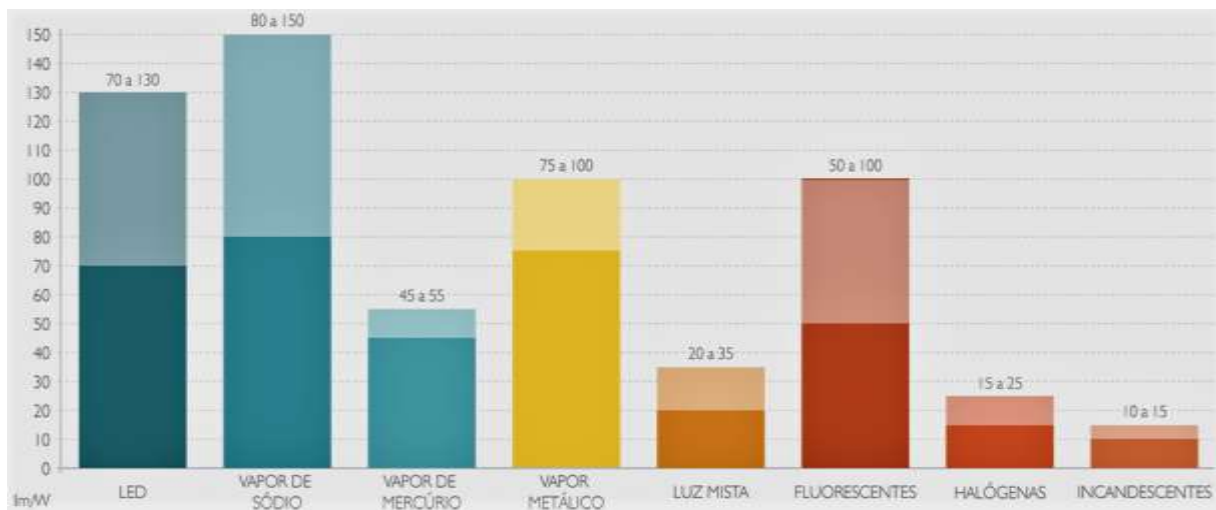
É o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Pois é quase impossível uma fonte luminosa irradiar a luz igualmente em todas as direções, onde o Fluxo Luminoso se distribuiria no formato de uma esfera. Pois para isso seria necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção. Direção essa representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa, ilustrado na Figura 13. Seu símbolo é I e sua unidade é candela (cd) (OSRAM, 2005).

Figura 13 – Intensidade Luminosa

Fonte: Osram (2005)

2.3.5. Eficiência Luminosa

Entende-se por eficiência luminosa a relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida por unidade de tempo (potência) por uma fonte de luz. Onde quanto maior for a eficiência luminosa de uma lâmpada e equipamentos, menor será seu consumo de energia. Unidade: lm/W (PROCEL, 2011). A Figura 14 apresenta a eficiência luminosa das lâmpadas.

Figura 14 – Eficiência Luminosa das lâmpadas

Fonte: Empalux (2019)

2.3.6. Índice de Reprodução de cor

Segundo Rosito (2009), o Índice de reprodução de cor (IRC), é a correspondência entre a cor real de um objeto que é iluminado pela luz do sol e de um que é iluminado por uma fonte de luz artificial. De modo que quanto maior for IRC, mais próximo estará da verdadeira cor do

objeto, sendo o IRC ideal de 100. Na Tabela 2 está a classificação de restituição de cores, em função do IRC.

É recomendado pela norma NBR 8995/2013, que o IRC não seja inferior a 80 naqueles ambientes onde as pessoas trabalham ou permaneçam longos períodos, assim como escolas, escritórios, comércio; uma vez que é importante para o desempenho visual e para sensação de conforto e bem-estar.

Tabela 2 – Classificação de restituição de cores, em função do IRC

IRC	Classificação
IRC < 60	Pobre
60 <IRC < 80	Boa
80 <IRC < 90	Muito Boa
90 <IRC < 100	Excelente

Fonte: Passos (2015).

2.3.7. Temperatura de cor

Representa a aparência de cor da luz que a fonte de luz emite. Sua unidade de medida é o Kelvin (K). Onde quanto maior a temperatura de cor, mais clara será a tonalidade de cor da luz, mostrado na Tabela 3. Ao referir-se em luz quente ou fria, não corresponde ao fato do calor físico da lâmpada, mas sim a sua tonalidade de cor que é apresentada ao ambiente. Luz com tonalidade de cor mais suave é mais aconchegante e relaxante; a luz mais clara é mais estimulante (PROCEL, 2011).

Na norma NBR 8995 a temperatura de cor é uma questão estética e psicológica, não determinando um padrão que seja ideal de acordo com a atividade.

Tabela 3 – Temperatura de cor

Aparência da cor	Temperatura da cor correlatada
Quente (tonalidade de infravermelho no espectro)	Abaixo de 3.300 K
Intermediária (neutra)	3.300K a 5.300 K
Fria	Acima de 5.300 K

Fonte: NBR 8995/2013

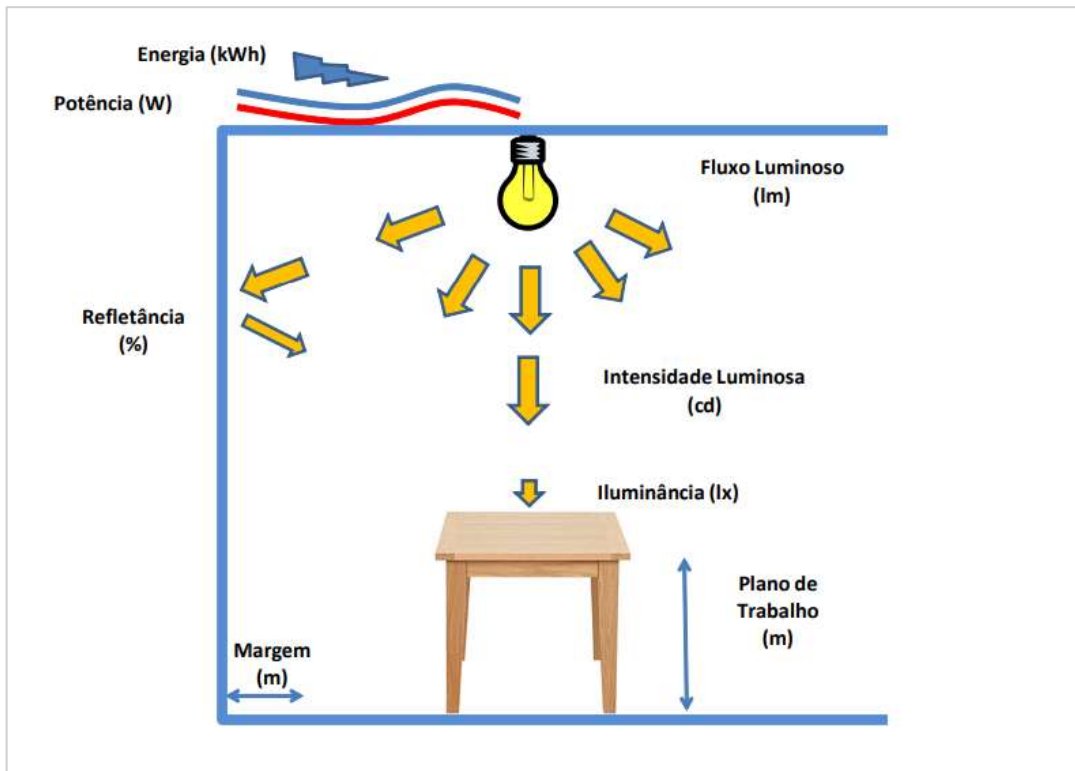
2.3.8. Ofuscamento

O Ofuscamento é uma sensação visual causada por áreas brilhantes dentro do campo de visão, podendo tanto ser um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento refletido ou reflexão veladora são causados por reflexões em superfícies espelhadas. É de suma importância limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes. Na iluminação exterior o ofuscamento inabilitador é mais comum, podendo também ser experimentado em iluminação pontual ou fontes brilhantes intensas, exemplo de uma janela em um espaço pouco iluminado. O ofuscamento desconfortável, no interior de locais de trabalho normalmente surge de luminárias brilhantes ou janelas (NBR 8995/2013).

2.3.9. Refletância

A refletância é a relação existente entre o fluxo luminoso que é refletido por alguma superfície e o fluxo luminoso incidente sobre ela, ilustrado na Figura 15 e apresentado na Tabela 4 conforme a cor da superfície (PROCEL, 2002).

Figura 15 – Refletância e demais conceitos



Fonte: Baraniuk (2016)

Tabela 4 – Refletâncias conforme a cor da superfície.

Superfície	Refletância
Muito Clara	70 %
Clara	50 %
Média	30 %
Escura	10 %
Preta	0 %

Fonte: Tabela de Refletâncias - Manual de Eficiência Energética do PROCEL (2011).

2.3.10. Vida de uma lâmpada

A vida de uma lâmpada é contabilizada em horas, sendo definido por critérios preestabelecidos por normas técnicas, atendendo sempre um grande lote testado sob condições controladas e de acordo com as normas apropriadas. A vida média de uma lâmpada é a média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada. Uma vida mediana é o número de horas decorrentes, onde 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas. E a vida útil de uma lâmpada é o número de horas passado quando chega a 70% da quantidade de luz inicial, por causa da depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada, somadas ao efeito das devidas queimas ocorridas no período, isto é, 30% de redução na quantidade de luz inicial (PROCEL, 2011).

2.4 TIPOS DE LÂMPADAS

O mercado de iluminação apresenta uma grande variedade de lâmpadas, com diferentes características elétricas e luminosas. São apresentadas na Tabela 5 as principais lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação por setor e na Tabela 6 as características gerais das lâmpadas.

Neste tópico são apresentadas de forma breve as principais tecnologias em lâmpadas aplicadas à iluminação que são utilizadas pela Instituição de Ensino do estudo de caso. Sendo elas, lâmpada incandescente, lâmpada fluorescente tubular e lâmpada fluorescente compacta. Também é apresentada de forma sucinta a tecnologia LED.

Tabela 5 – Sistema de Iluminação por uso final

Usos		Comercial	Residencial	Industrial	Emergência	Pública	Arquitetural
Equipamentos							
LÂMPADAS	Incandescentes	X	X	X	X		
	Halógena	X	X	X			
	Fluorescente tubular e circular	X	X	X	X		
	Fluorescente compacta	X	X	X			
	Descarga de alta pressão			X		X	X
	LED	X	X	X	X	X	X
	Mista	X		X		X	
Luminárias		X	X	X	X	X	X
Projetores		X		X		X	x
Reatores		X	X	X		X	X

Fonte: Eletrobras / Procel (2013, p.70)

Tabela 6 – Características gerais das lâmpadas

Tipos de Lâmpadas		Rendimento Luminoso (lm/W)	Vida Útil (h)	IRC (%)	Temp. Cor (K)	equipamentos auxiliares
Incandescentes	Comum	7 a 20	1000	100	2400 a 3400	Não
	Halógena	15 a 25	3000	100	2000 a 4000	Transformador (para lâmpadas de baixa tensão - 6V, 12V e 24V)
Indução	Indução	75 a 85	50000 a 100000	>80	2700 a 6500	Gerador de alta frequência
Descarga Baixa Pressão	Fluorescente tubular e circular	58 a 104	7500 a 12000	>80	2700 a 5000	Reator/starter
	Fluorescente Compacta	44 a 79	7500 a 10000	85 a 95	2700 a 5400	Reator/starter
	Vapor de Sódio baixa pressão	200	12000	0	1800	Balastro, ignitor e condensador
Descarga Alta Pressão	Vapor de Mercúrio Alta pressão	36 a 60	10000 a 24000	40 a 48	3550 a 4200	Balastros e condensadores
	Vapor de Sódio alta pressão	120	12000	60 a 80	1900 a 2500	Reator e ignitor
	Luz Mista	19 a 28	10000	60 a 69	3400 a 4100	Não
	Vapor Mercúrio de Iodetos	50 a 100	3000 a 12000	80 a 100	3000 a 7000	balastro, ignitor e condensador
LED	LED	80 a 140	50000	80 a 85	2700 a 6500	Driver ou transformador

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Fernandes (2008); Araujo (2005); Yamachita, Haddad e Dias (2006); Guerrini (2003); Oliveira (2015); Passos (2015); Procel info (2018); Roberto e Schultz (2017); Santos (2014)

2.4.1. Lâmpadas Incandescentes

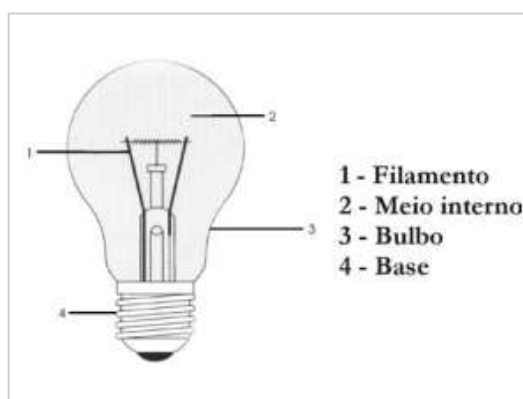
As lâmpadas incandescentes foram os primeiros modelos a usar eletricidade para gerar luz. Por esse motivo, se consolidaram durante muito tempo como as mais populares no Brasil e no mundo.

No Brasil, a lâmpada incandescente foi retirada do mercado por meio da regulamentação da Portaria Interministerial nº 1007/2010, do Ministério de Minas e Energia, que estabelece indicadores mínimos de eficiência luminosa para a fabricação, importação e comercialização de lâmpadas incandescentes de uso geral no Brasil. Como as lâmpadas incandescentes não conseguem atingir esses parâmetros, elas não podem mais ser comercializadas. A partir desta portaria, foi elaborado um calendário para a substituição gradual de lâmpadas deste tipo. As primeiras mudanças começaram em 30 de junho de 2012, com lâmpadas de potência igual ou superior a 150W. Em 30 de junho de 2013, lâmpadas de potência acima de 60W até 100W foram removidas. Em dezembro de 2014, a produção e importação de lâmpadas com capacidade de 41 a 60 W, a categoria mais popular entre os brasileiros, foi proibida. E finalmente, em julho de 2016, a produção de lâmpadas com potência inferior a 40 watts foi proibida (REIS,2016).

São dois os tipos de lâmpadas incandescentes: as de filamento e as lâmpadas incandescentes halógenas.

Nas lâmpadas incandescentes de filamento a iluminação acontece devido à incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, em razão do seu aquecimento, quando este é colocado em vácuo ou em meio gasoso apropriado (YAMACHITA; HADDAD; DIAS, 2006). A figura 16 ilustra uma lâmpada Incandescente de filamento.

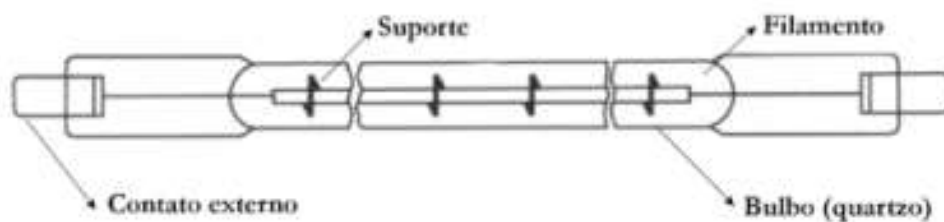
Figura 16 – Lâmpada incandescente



Fonte: Yamachita, Haddad e Dias (2006)

As lâmpadas incandescentes halógenas têm o mesmo funcionamento que das lâmpadas incandescentes convencionais, porém foram desenvolvidas com a inserção de gases halógenos (iodo ou bromo) onde, dentro do bulbo se juntam com as partículas de tungstênio emitidas do filamento. Combinação esta que somada à corrente térmica dentro da lâmpada, age de forma que as partículas se depositem de volta no filamento, fazendo assim o ciclo regenerativo do halogênio (FREITAS, 2009). A Figura 17 apresenta o sistema da lâmpada halógena.

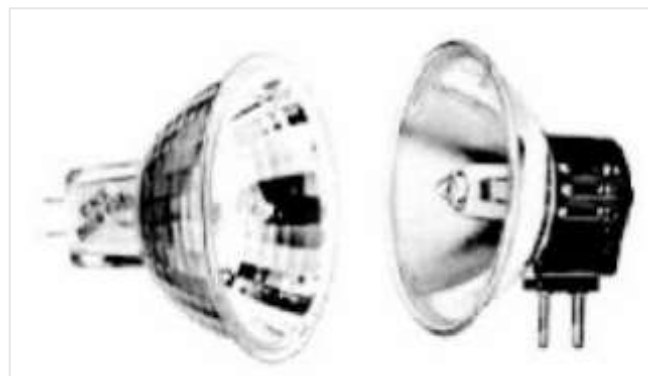
Figura 17 – Lâmpada Halógena



Fonte: Yamachita, Haddad e Dias (2006)

A Figura 18 ilustra os refletores dicróicos, que provem da redução de volume das lâmpadas halógenas tornando-as adequadas para iluminação direcionada, muito utilizada em iluminação decorativa, contudo a irradiação térmica emitida é muito elevada. Por esse motivo, certos modelos de lâmpadas são de um refletor espelhado especial, chamado dicróico, onde a radiação visível é refletida e a radiação infravermelha é absorvida. Chegando a reduzir em 70% na radiação infravermelha com esse tipo de espelho, o resultado é um feixe de luz emergente "frio", ou seja, o ambiente não é aquecido (FREITAS, 2009).

Figura 18 – Lâmpada incandescente halógena de 50 W com refletor espelhado dicróico



Fonte: Freitas (2009)

2.4.2. Lâmpadas de Descarga

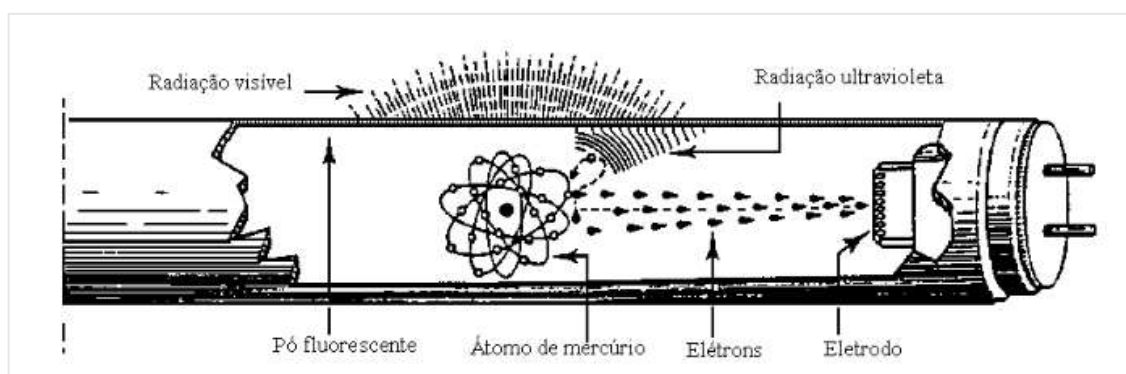
A lâmpada de descarga produz luz por meio de uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, às vezes, em combinação com pós-fluorescentes que se depositam na superfície e se estimulam pela radiação de descarga. Essa lâmpada normalmente depende de dois auxiliares, o reator e o *starter*. Onde, o reator é uma combinação de indutores e capacitores que limitam a corrente na lâmpada e, necessita-se de tensão superior à da rede na maioria das lâmpadas de descarga. São acionados por um *starter* ou ignitor, onde fornece pulsações de tensão para ionizar o caminho da descarga, provocando a partida (REIS, SILVEIRA, 2001).

- **Lâmpada Fluorescente:**

As lâmpadas fluorescentes geram luz por meio de partículas fluorescentes ativadas pela energia ultravioleta da descarga. Normalmente, a lâmpada possui o formato do bulbo tubular longo com um filamento em cada ponta, contendo vapor de mercúrio sob baixa pressão, com um pouco de gás inerte que facilita a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente (silicato de zinco, óxido de ítrio, tetraborato de estrôncio), onde a composição determina a quantidade de cor da luz emitida (REIS, SILVEIRA, 2001).

As lâmpadas fluorescentes podem também possuir os eletrodos (catodos): quentes com pré-aquecimento onde a lâmpada necessita de um reator e de um *starter* na de catodo quente sem pré-aquecimento e, na de catodo frio utiliza-se apenas um reator de construção especial (YAMACHITA; HADDAD; DIAS, 2006). A Figura 19 ilustra a estrutura interna da lâmpada fluorescente e a Figura 20 o externo de uma lâmpada fluorescente tubular.

Figura 19 – Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular



Fonte: (NEVES, SCARAZZATO, 2014)

Figura 20 – Lâmpada Fluorescente tubular



Fonte: (PASSOS, 2015)

- **Lâmpadas Fluorescentes compactas**

Foi colocada no mercado no início de 1980, com o intuito de substituir a lâmpada incandescente, a lâmpada fluorescente compacta, abreviadas pela sigla CFL (“*Compact Fluorescent Lamp*”). Essas lâmpadas apresentam alguns processos construtivos diferindo-as das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais, contudo, é idêntico o princípio de funcionamento. Onde são utilizados nos modelos comerciais tubo de vidro do tipo T4 ou T5, juntamente com revestimento de “tri-fósforo” e filamentos em suas extremidades (FREITAS, 2009). As principais formas mais construtivas que existem para o tubo de descarga são: um tubo único curvado em “U”; dois tubos independentes, unidos por uma ponte; três tubos independentes, unidos por uma ponte e dois tubos entrelaçados formando um espiral (SILVA, 2008). A Figura 21 ilustra alguns exemplos de lâmpadas CFL.

Figura 21 – Exemplos de lâmpadas fluorescentes compactas



Fonte: (PASSOS, 2015)

Geralmente essas lâmpadas apresentam somente duas conexões elétricas, visto que os filamentos estão ligados em série por meio de um “*starter*”, cujo mesmo fica alojado em um invólucro na base da lâmpada. A lâmpada se estabiliza por meio de um reator indutivo, que é

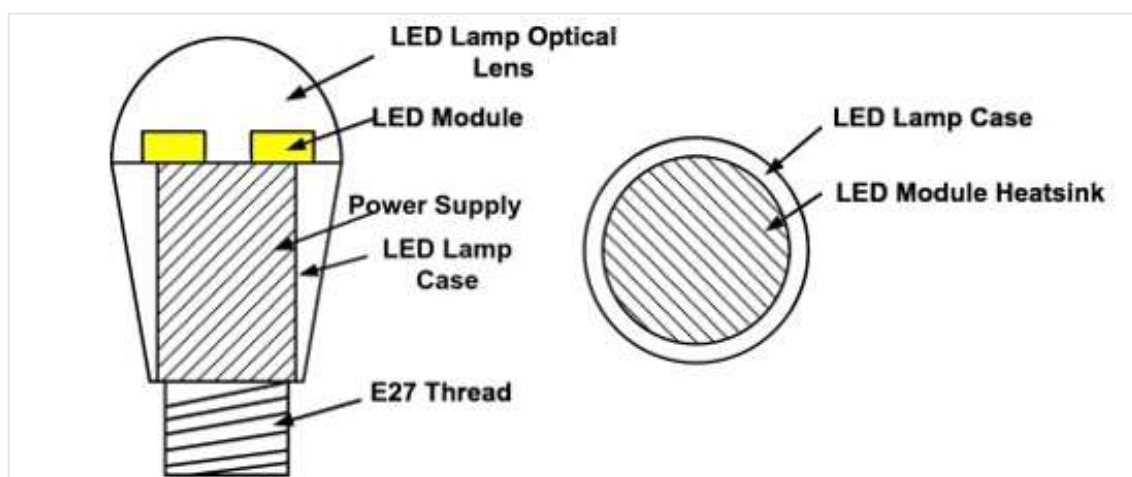
conectado externamente. Há lâmpadas que já possuem um reator dentro da sua base, de modo geral do tipo rosca Edison, que é utilizada em lâmpadas incandescentes. Podendo ser o reator indutivo ou eletrônico, sendo o eletrônico o mais leve que reduz o peso do conjunto (FREITAS, 2009).

2.4.3. Lâmpadas LED

O *light emitting diode* (LED) é um componente eletrônico semicondutor que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz, diferente da tecnologia encontrada nas lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases (ELETROBRAS/ PROCEL, 2013, p.90).

A lâmpada LED ilustrada na Figura 22 consiste de um elemento emissor de luz, uma lente plástica, que é necessária para garantir o ângulo do fluxo de luz emitida, um dissipador que remove o calor gerado pela lâmpada e a fonte de alimentação do modo de comutação. Esta fonte de alimentação estabiliza a corrente de saída ou a tensão de saída (GÓRECKI; PTAK, 2017).

Figura 22 – Construção mecânica de uma lâmpada LED.



Fonte: (GÓRECKI; PTAK, 2017).

Os diodos emissores de luz (LEDs) são dispositivos semicondutores preenchidos com gases e revestidos com vários materiais de fósforo. Eles são utilizados para criar luz artificial. O fluxo luminoso do LED não é por natureza branco, é de natureza monocromática. Isso torna conveniente para fins especiais, como semáforos e luzes indicadoras de carros. Os sistemas de conversão de fósforo emissores de luz vermelha (red), verde (green) e azul (blue) (RGB) são

utilizadas para converter a luz de LED monocromática em luz branca comum (AMAN et al., 2013).

Segundo Kumar et al. (2019), a lâmpada LED que pode substituir tanto lâmpada incandescente quanto lâmpada fluorescente tubular e compacta, possui várias vantagens como: consome 90% menos energia do que as lâmpadas incandescentes; tem uma vida útil mais longa de até 60.000 horas, cerca de 10 vezes mais que as lâmpadas fluorescentes, e 1.130 vezes mais que as lâmpadas incandescentes convencionais; Quase não gera calor devido à presença de dissipadores de calor, o que o torna menos propenso a riscos de incêndio; Não contém mercúrio tóxico, como é o caso das lâmpadas fluorescentes; É mais resistente à destruição por vibração ou transporte, porque não possui filamentos ou caixas de vidro; A luz acende com brilho total instantaneamente em comparação as lâmpadas fluorescentes, que levam até 3 minutos para atingir o brilho total.

As lâmpadas LED trabalham com tensões contínuas muito baixas, e sua potência deve estar em corrente contínua, o que requer uma interface (driver ou transformador) para funcionar, transformando as características da rede no necessário para o seu funcionamento. A solução pode não exigir equipamento adicional, uma vez que já está inserida no corpo da lâmpada ou luminária (PASSOS, 2015).

2.5. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Para seu funcionamento, algumas lâmpadas dependem do uso de equipamentos auxiliares, tais como os descritos neste tópico. Estes equipamentos devem ser totalmente compatíveis com a lâmpada.

2.5.1. Reator

Equipamento que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e fornece também a tensão necessária para se dar partida na lâmpada. Pode ser eletromagnético ou eletrônico, de partida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência. O tipo de reator utilizado influencia no consumo de energia (MARQUES; HADDAD; GUARDIA, 2007).

Os reatores são responsáveis pelo funcionamento e vida útil da lâmpada, e também pela eficiência do sistema. Projetado corretamente, o reator pode diminuir custos com manutenção aumentando durabilidade ao sistema (SANTOS, 2014).

- **Reator eletromagnético**

Os reatores eletromagnéticos foram os primeiros reatores a serem desenvolvidos. É formado principalmente por uma bobina de fio de cobre enrolada em torno de um núcleo de material ferromagnético. Equipamento adicional, chamado de ignição, cujo trabalho se assemelha a uma chave, ajuda o reator na fase de ignição da lâmpada (XAVIER, 2005).

Os reatores eletromagnéticos são dispositivos de menor custo, mais antigos e mais simples. As principais desvantagens destes dispositivos são perdas excessivas, peso e volume, ruído audível, baixo fator de potência e a possibilidade de um efeito estroboscópico (um efeito que ocorre quando uma fonte de luz pulsante ilumina um objeto em movimento) (BEDIN, 2008).

- **Reator Eletrônico**

Os reatores eletrônicos usados em lâmpadas fluorescentes consistem em capacitores e indutores para alta frequência, resistores, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Eles operam em alta frequência, de 20 kHz a 50 kHz, onde as lâmpadas possuem alta eficiência luminosa (SANTOS, 2014)

Segundo Silva (2008), conhecidos como reatores "leves", os reatores eletrônicos possuem muitas vantagens em relação aos eletromagnéticos, entre eles:

- São mais compactos
- Mais leves
- Consomem menos energia
- Aumentam a vida útil das lâmpadas
- Eliminam efeitos estroboscópicos
- Proporcionam uma luz com cor mais estável, e

2.5.2. Luminária

São equipamentos que conectam uma fonte de luz (lâmpada) e alteram a distribuição espacial do fluxo luminoso produzido pela luminária. Abrigando e fixando a lâmpada e direcionando a luz (MANUAL DA ILUMINAÇÃO, 2011). A função das luminárias é de

distribuir, filtrar ou modificar a luz emitida pela(s) lâmpada(s). Seus principais componentes são apresentados a seguir (ITAIM, 2008):

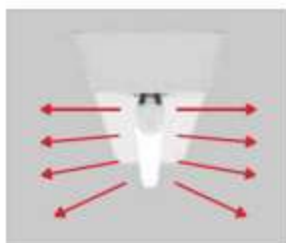
- **Corpo** - O corpo da luminária deve cumprir os requisitos para sua função, utilizando materiais adequados e garantindo condições mecânicas, térmicas e elétricas que garantam a segurança dos usuários no local da instalação.
- **Refletor** - Reflete e espalha a luz emitida pela (s) lâmpada (s) dentro da luminária. Os refletores podem ser parabólicos, elipsoidais, esféricos e hiperbólicos, dependendo de sua geometria, e também podem ser calandrados ou multifacetados. Eles geralmente são feitos de alumínio ou chapa de aço pintada.
- **Aletas** - Correspondem aos componentes das luminárias que permitem controlar o ofuscamento causado pelas lâmpadas. As aletas, assim como os refletores, podem ser feitas de alumínio ou de uma chapa de aço pintada.
- **Difusor** - Corresponde ao material (vidro, acrílico, etc.), utilizado em luminárias com função estética ou para proteger os usuários da radiação e / ou ofuscamento.
- **Porta-Lâmpada** - Dispositivo adicional para a base da lâmpada para fixá-la no lugar e ligá-la ao circuito de alimentação.

De acordo com o CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (2014), as luminárias são classificadas em eficientes e Ineficientes:

a) **Luminárias Ineficientes:**

Sem um refletor, o fecho luminoso difunde, não convergindo para o plano de trabalho, como mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Luminária ineficiente sem refletor



Fonte: CEPEL (2014)

Com refletor de chapa pintada, o material absorve poeira e impurezas do ambiente, reduzindo sua refletividade e rendimento ao longo do tempo, conforme é ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Luminária ineficiente com refletor



Fonte: CEPEL (2014, p.66)

b) Luminárias Eficientes:

Com refletor em alumínio anodizado, de alta pureza, o fecho luminoso converge para o plano de trabalho, como ilustrado na Figura 25, melhorando a eficiência luminosa do serviço de iluminação no ambiente, preservando as propriedades reflexivas do material, e ao longo do tempo. O rendimento não sofre perdas significativas. Essa opção de tecnologia aumenta a eficiência energética do sistema de iluminação.

Figura 25 – Luminária eficiente



Fonte: CEPEL (2014, p.66)

As luminárias eficientes distinguem-se das luminárias ineficientes pela presença de refletores de alumínio de alta pureza, alta refletividade e maior Fator de utilização.

2.6. ISO 50001

A ISO 50001 – Sistema de Gestão de Energia (SGE) foi criada em 2011 com o objetivo principal de estabelecer requisitos mínimos e específicos que garantam a melhoria contínua do desempenho energético da organização que o aceita. O cumprimento desses requisitos incentiva a organização a se esforçar constantemente para reduzir seu consumo de energia, aumentar a eficiência energética de seus processos e o melhor e mais adequado uso de energia necessária para garantir suas atividades. Os resultados imediatos da aplicação do padrão incluem a redução

dos custos de produção e a melhoria da segurança energética. Indiretamente, as emissões de gases de efeito estufa são reduzidas e, conseqüentemente, as mudanças climáticas são moderadas. A ISO 50001 é baseada em modelos de sistemas de controle que já são compreendidos e utilizados por organizações em todo o mundo, como a ISO 9001 de qualidade e a ISO 14001 de ambiental. Este fato é uma diferença para a norma, pois reduz significativamente a implementação de SGE em organizações onde outros sistemas de controle já estão em vigor (FOSSA; SGARBI, 2018).

Esta Norma especifica requisitos para uma organização estabelecer, implementar, manter e melhorar um sistema de gestão da energia, o qual a habilita a tomar uma abordagem sistemática para melhoria contínua de seu desempenho energético, incluindo eficiência, uso e consumo de energia (ABNT NBR 50001:2011, p.1).

Segundo Mckane et al. (2017), a ISO 50001 pode ser aplicada em qualquer setor, fornecendo às organizações uma base reconhecida internacionalmente para melhorar sua compreensão do uso e consumo atual de energia, identificando oportunidades de eficiência energética de capital e operacional, fornecendo um contexto de negócios para decisões de implementação e avaliando resultados de implementação. Os principais elementos incluem: elaboração de política energética, equipes de gerenciamento de energia e fundamentos de uso na organização; identificar indicadores de eficiência energética, estabelecer metas e incluir controles e procedimentos para resolver problemas de uso de energia; e medir e documentar o desempenho energético e reportar à gerência.

A ISO 50001 especifica requisitos para uso e consumo de energia, incluindo medições, documentação e relatórios, design e práticas de aquisição de equipamentos, sistemas, processos e pessoal que contribuem para o desempenho energético. Aplica-se a todas as variáveis que afetam o desempenho energético. Este padrão fornece uma metodologia para melhorar continuamente o desempenho energético sem declarar explicitamente quaisquer critérios de desempenho que devem ser satisfeitos em relação à energia. Esta norma é baseada no sistema de melhoria contínua *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) no contexto do gerenciamento de energia, conforme a Figura 26, mostra as ações no âmbito da “Implementação e Operação” e “Monitoramento, Medição e Análise” (KANNEGANTI et al., 2017).

Figura 26 – Ciclo PDCA



Fonte: Fossa e Sgarbi (2018)

Onde, de acordo com a NBR 50001:2011:

- Plan (Planejar): conduzir uma revisão de energia para determinar a linha de base, indicadores de desempenho (IDE), metas, objetivos e planos de ação correspondentes ao desejo de melhorar a eficiência energética de acordo com as políticas da organização.
- Do (Fazer): implementar planos de ação de gestão de energia.
- Check (Verificar): medir e acompanhar os processos e características pelas quais o desempenho energético é determinado de acordo com políticas e objetivos, além de divulgar os resultados;
- Act (Agir): Atitudes para que de forma continua melhore o desempenho do SGE.

2.6.1. Indicadores de Desempenho Energético (IDE)

Na ABNT NBR ISO 50001, o subitem 4.4.5 “Indicadores de Desempenho Energético” estabelece a necessidade de uma organização criar indicadores para monitorar continuamente seu desempenho energético. Os indicadores devem estar associados a um uso significativo de energia e devem estar adequadamente ligados aos elementos estabelecidos na linha de base energética. Os indicadores de eficiência energética podem consistir em um parâmetro simples, uma relação simples entre variáveis ou até mesmo um modelo mais complexo que reflete a

realidade das atividades da organização. Exemplos de indicadores podem incluir consumo de energia ao longo do tempo, consumo de energia por unidade de produção e modelos que usam muitas variáveis. A organização deve manter seus indicadores válidos para monitorar o desempenho energético de suas operações e promover as atualizações necessárias quando ocorrem mudanças na atividade comercial ou das linhas de base energética, dependendo das circunstâncias (FOSSA, 2015).

O conceito de desempenho energético inclui o uso de energia, o consumo de energia e eficiência energética. Assim, a organização pode escolher entre uma ampla gama de atividades que contribuem para melhorar o desempenho energético. Como reduzir a ponta de consumo, utilizar excedentes de energia, ou melhorar o desempenho de seus sistemas, processos ou equipamentos (DIAS, 2016, apud, IOS, 2012). Este conceito é exemplificado no diagrama apresentado pela Figura 27.

Figura 27 – Conceito e definição de desempenho energético



Fonte: Fossa e Sgarbi (2018)

A implementação da NBR 50001:2011 visa ao estabelecimento de conhecimento global sobre o uso e consumo de energia, que permite otimizar continuamente seu desempenho com base em sistemas e processos padronizados e monitorar indicadores de desempenho energético estratégicos (CBCS, 2016).

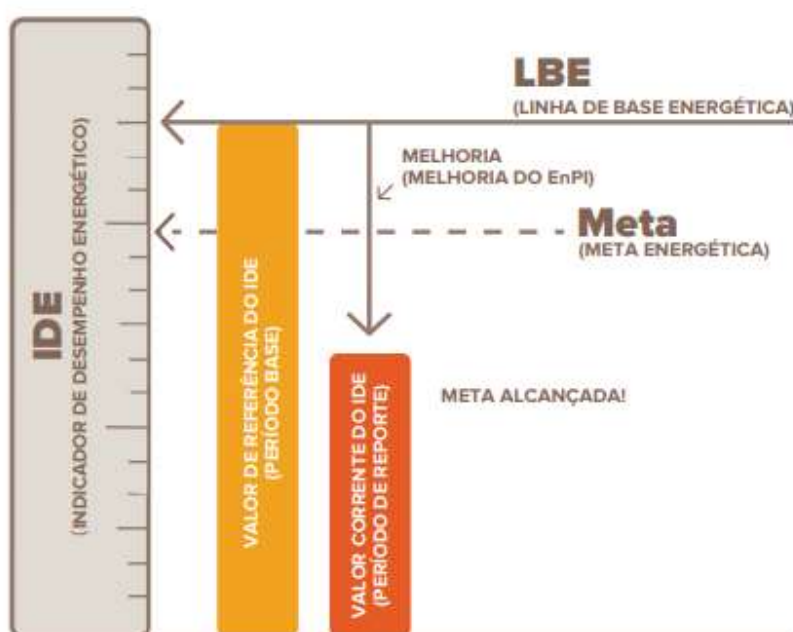
O papel do gestor do SGE é avaliar o impacto potencial que mudanças planejadas ou esperadas podem ter no desempenho energético da organização e tomar as medidas necessárias

para garantir que os objetivos do SGE sejam alcançados. Esta prática, aplicada periodicamente, permitirá à organização prever mudanças relevantes, como a falta de determinadas fontes de energia, e assegurar a melhoria contínua de suas características energéticas. (FOSSA; SGARBI, 2018).

Conforme indicado na cláusula 4.4.5 da NBR 50001:2011, um IDE é um valor ou indicador que quantifica os resultados associados à eficiência energética, uso de energia e consumo de energia em instalações, sistemas, processos e equipamentos. A Linha de Base Energética (LBE) é uma referência que caracteriza e quantifica o desempenho energético da organização durante um período de tempo específico. O LBE permite que uma organização avalie mudanças na eficiência energética entre dois períodos selecionados. O LBE também é usado para calcular a economia de energia como referência antes e depois da implementação de medidas de eficiência energética.

Para efetivamente medir e quantificar sua eficiência energética, a organização estabelece o IDE e a LBE. Onde o IDE é usado para quantificar o desempenho energético de uma organização inteira ou de suas várias partes. E as LBE são referências quantitativas usadas para comparar os valores do IDE ao longo do tempo e quantificar mudanças no desempenho energético (PRADO FILHO, 2016). A relação entre o desempenho energético, IDE, LBE e metas energéticas é ilustrada na Figura 28.

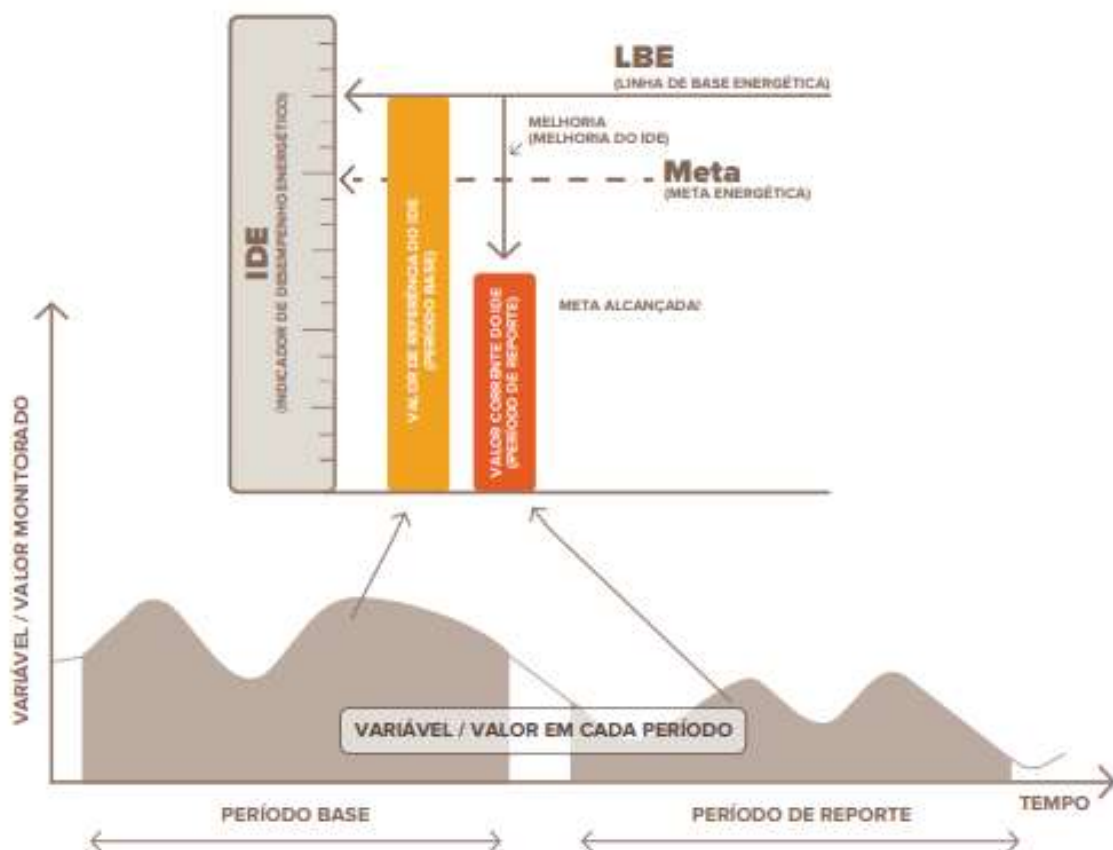
Figura 28 – Representação de Indicador de Desempenho Energético



Fonte: Fossa e Sgarbi (2018)

Segundo Fossa e Sgarbi (2018), comparando o comportamento de um determinado IDE durante o período de linha de base e após o início da operação do SGE, pode mostrar, por exemplo, se as ações implementadas estão gerando resultados esperados em termos de melhoria do desempenho energético ou chamar a atenção para quando a melhoria esperada no desempenho energético não ocorre., como ilustrado na Figura 29. Geralmente, é recomendável instalar um ou mais IDEs para cada um dos usos significativos de energia (USEs) identificados anteriormente. Os IDEs são definidos durante a fase de planejamento para que possam ser monitorados durante a fase de validação. O desenvolvimento do IDE ao longo do tempo mostra se as medidas tomadas no âmbito do SGE levam às melhorias desejadas no desempenho energético.

Figura 29 – Identificação e estabelecimento de IDEs.



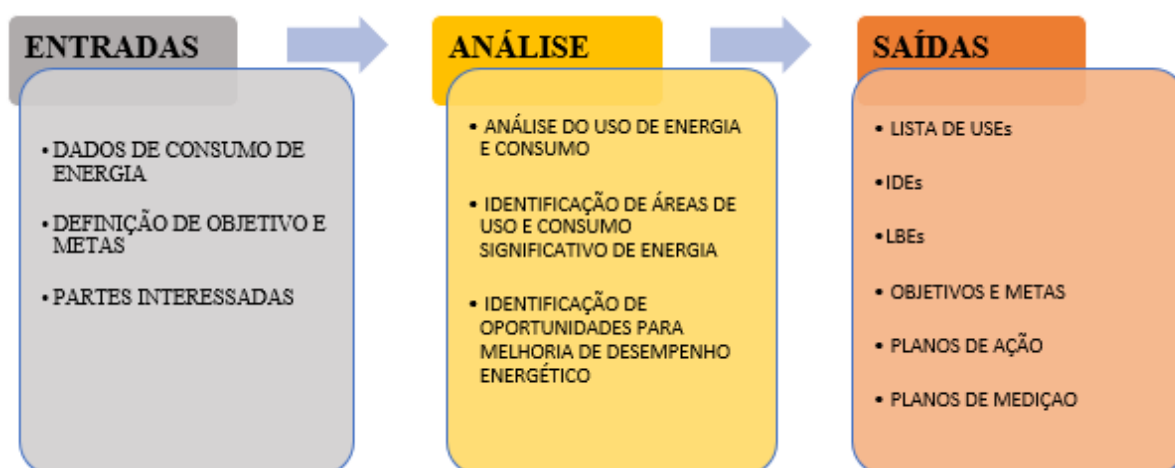
Fonte: Fossa e Sgarbi (2018)

A ISO 50001 inclui quadros de ajuda projetadas para fornecer ao usuário ideias, exemplos e estratégias para medir a eficiência energética usando IDE e a LBE. Os conceitos e métodos da norma também podem ser usados por organizações que não possuem um SGE. O

compromisso contínuo e o envolvimento da alta gerência são essenciais para a efetiva implementação, manutenção e melhoria do SGE, a fim de alcançar os benefícios de um melhor desempenho energético. A alta gerência demonstra seu compromisso por meio da liderança e participação ativa no SGE, garantindo a distribuição contínua de recursos, incluindo pessoal, para implementar e manter o SGE ao longo do tempo (PRADO FILHO, 2016)

Com o resultado atingindo dos IDEs, o gestor responsável pela verificação decidirá o melhor a se fazer nas unidades da Instituição. Na Figura 30 baseada no Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001 de Fossa e Sgarbi (2018), está apresentando as atividades utilizadas para uma revisão energética, ou seja, conferir se a aplicação da Gestão energética está trazendo melhorias para o desempenho energético.

Figura 30 – Fluxo de atividades para revisão energética



Fonte: Fossa e Sgarbi (2018)

Segundo a EPE na nota técnica: DEA 16/12 (2012), a utilização de indicadores de eficiência energética permite: a) acompanhar o progresso da eficiência energética na economia e em setores selecionados; b) avaliar o impacto de políticas e programas de eficiência energética, incluindo a justificativa para manter ou interromper determinadas ações; c) planejar ações futuras, incluindo programas de P & D; d) fornecer parâmetros de modelagem para melhorar a qualidade das previsões de demanda de energia; e) contribuir para comparações internacionais entre setores e entre países.

Cusa (2018), em seu trabalho mostra conforme a norma ISO 50006, que os IDEs podem ser de diferentes tipos, dependendo do uso final, do usuário e do propósito para os quais são criados. A norma prevê vários tipos de IDEs, como:

- IDEs de valor de energia medido, se refere em escolher economia de energia absoluta como uma meta de energia, sendo de utilidade na medição de reduções no uso e consumo absoluto de energia, monitoramento e controle de reservas e custos de energia e compreensão das tendências de consumo de energia
- IDEs de proporção dos valores medidos, utilizados para padronizar as comparações entre várias instalações ou organizações que funcionam de maneira semelhante usando o método de análise comparativa, além da possibilidade de monitorar a eficiência energética em sistemas com baixa carga de base e que possuem apenas uma variável relevante;
- IDEs baseados em modelos, podem ser obtidos usando regressões, ideais para sistemas com muitas variáveis relevantes, alta carga de base e que pode ser a forma mais complexa do modelo de engenharia.

Deve-se notar que em todas essas definições, um ponto comum é usar esses indicadores como uma ferramenta útil para avaliar o progresso na eficiência energética em geral ou em setores específicos.

2.7. VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica é definida como um conjunto de métodos que permitem comparar os resultados obtidos em possíveis alternativas para resolver um impasse, possibilitando a tomada de decisão de maneira científica. Os objetivos da viabilidade econômica resumem-se da seguinte forma: a) Determinação da meta desejada: qualquer ideia que será implementada, objetiva um fim específico que é sempre a economia; b) Determinação dos fatores e meios a disposição: é necessário identificar todos os fatores e meios disponíveis para entender completamente o problema; c) Avaliação das alternativas: analisar os dados disponíveis, fatores e ferramentas, permite a avaliação de alternativas; d) Fornecer subsídios para a tomada de decisões: o objetivo final da viabilidade econômica é fornecer resultados específicos para a tomada de decisões. (TOLEDO JUNIOR, 1988).

De acordo com Goldman (2015), uma análise econômica de uma empresa é realizada com todos os valores envolvidos, seja uma entrada ou saída de recursos. O projeto deve ser estudado quanto a sua viabilidade econômica e financeira desde o início até o planejamento, monitoramento e controle, bem como execução e fechamento, o que permite fazer uma previsão de fluxo de caixa que indique o montante de capital desde o início até o final de cada projeto, sempre levando em conta a economia local e global. Além disso, algumas conclusões podem

ser tiradas sobre a viabilidade econômica e financeira do projeto ao comparar outros indicadores.

Segundo Albergoni (2014), os indicadores econômicos do processo de análise de investimento ajudam para a compreensão do tempo de seu retorno em comparação com as alternativas de investimento disponíveis no mercado. Esses indicadores estão relacionados ao horizonte de tempo das projeções. Os principais são o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o payback (que determina o tempo necessário para recuperar o investimento).

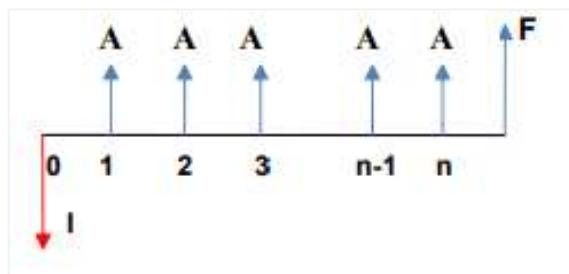
A seguir são apresentados os conceitos dos indicadores de viabilidade que deverão ser analisados em conjunto, a fim de tomar uma decisão de investimento em relação à sua rentabilidade.

2.7.1. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é uma maneira simplificada de se representar graficamente as receitas e as despesas de um projeto ao longo do tempo (BORTONI, 2006). Segundo Puccini (2016), as convenções utilizadas para a elaboração de gráficos de fluxo de caixa são as seguintes: no eixo horizontal (abscissa) - períodos de tempo; e no eixo vertical (ordenada) são valores de receita e despesa com setas direcionais indicando os valores considerados. Dados de entrada: setas com orientação positiva (para cima). Saídas: setas com uma orientação negativa (para baixo).

A Figura 31 mostra o fluxo de caixa em que os investimentos **I** foram feitos no tempo zero (seta para baixo), o que levará à renda anual **A** (seta para cima) sobre n períodos de tempo ou para um valor futuro **F** após esse período (BORTONI, 2006).

Figura 31 – Exemplo de fluxo de caixa



Fonte: Bortoni (2006)

2.7.2. Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com Pilão e Hummel (2006), o valor presente líquido (VPL) nos permite descobrir nossas necessidades de caixa ou os benefícios de um projeto em termos de dinheiro de hoje. Isso ocorre porque normalmente se considera a somatória na data 0 (zero) dos valores existentes no fluxo de caixa como seu valor presente ou valor presente líquido, ou seja, a soma dos valores existentes no fluxo de caixa já descontados os juros embutidos em cada um dos valores existentes nas demais datas do fluxo.

O VPL visa calcular, em termos de valor presente, o impacto de eventos futuros relacionados à alternativa de investimento, ou seja, mensura o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto durante sua vida útil. Se não houver limite de capital, argumenta-se que esse critério leva à escolha ótima, uma vez que maximiza o valor da empresa (SAMANEZ, 2010).

Segundo Albergoni (2014), como o fluxo de caixa de investimento atual (FC0) é negativo (representa um pagamento) e os fluxos positivos resultam em um valor presente com uma determinada taxa de desconto, o VPL pode ter um resultado positivo ou negativo:

- VPL negativo (-): O fluxo de caixa destrói o valor e não deveria ser realizado, uma vez que o retorno desses investimentos é menor do que a taxa mínima de atratividade (TMA) determinada. Isso significa que, ao investir nesses investimentos, o investidor receberá um retorno menor do que se ele deixasse seu dinheiro em um fundo de investimento ou comprasse um produto financeiro com um retorno próximo à TMA. O valor do lucro estimado descontado pela TMA é menor que o valor investido.

- VPL positivo (+): o fluxo de caixa agrega valor e deve ser realizado, ou seja, o investimento proporciona rentabilidade que excede a TMA. Isso significa que o investimento traz mais do que outra aplicação com taxa próxima à da TMA, ou seja, o investidor recebe o retorno dado pela TMA, e o custo adicional. Por essa razão, um VPL positivo é interpretado como um ganho de riqueza para o investidor, já que ele aumenta seu capital mais do que a principal alternativa de investimento. Assim, a soma do lucro estimado descontado pela TMA é maior que o valor investido.

- VPL igual a zero (0): o fluxo de caixa não destrói e não agrega valor. Portanto, não faz diferença para o projeto, uma vez que a taxa de retorno do VPL é exatamente igual à TMA. Isso significa que o valor do lucro previsto, descontado pela TMA, é exatamente igual ao valor investido.

Puccini (2016), também faz algumas considerações sobre o VPL:

- Projetos com um VPL maior ou igual a zero devem ser aceitos, rejeitando-se aqueles com VPL negativo.
- O VPL indica a riqueza que o projeto gerou. Onde um VPL positivo significa que o estoque de capital (patrimônio) da organização aumentará, e o oposto ocorrerá quando o VPL for negativo.
- O modelo assume o reinvestimento automático das entradas de caixa gerados a uma taxa de juros igual à taxa de atratividade. Esta suposição é justificada, pois, em princípio, pode-se reconhecer que as organizações são capazes de gerar projetos de investimento com um rendimento que é minimamente igual à sua taxa de atratividade.

Segundo Samanez (2010), o VPL é um método que transfere todos os valores de custos e receitas do fluxo de caixa para o período inicial, descontando uma TMA específica. Se o valor for positivo, a oferta é atraente e, quanto maior, mais atraente será a oferta. O VPL é calculado pela equação 3:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

FC_t = Fluxo de caixa no t-ésimo período;

I = Investimento inicial;

TMA = Taxa mínima de atratividade,

e o símbolo Σ (somatório) = Soma da data 1 até a data n dos fluxos de caixa descontados no período inicial.

2.7.3. Payback Descontado

O “Payback” (PBD) é o tempo necessário para o retorno do investimento inicial, levando em consideração o custo de oportunidade do capital investido. É medido pelo tempo decorrido entre a data inicial do fluxo de caixa (ponto zero) e a data futura mais próxima até que o montante do investimento inicial seja coberto pela soma dos valores positivos das parcelas positivas do fluxo de caixa. (PUCCINI, 2011).

“O período de recuperação (ou payback) de um projeto é obtido calculando-se o número de anos que decorrerão até os fluxos de caixa acumulados estimáveis igualarem o montante do investimento inicial” (BREALEY, 2013, p.97). O payback pode ser tanto simples quanto descontado, tendo como diferença a consideração do valor temporal do dinheiro.

As parcelas do fluxo de caixa que ocorrem após o PBD não são consideradas, o que torna o PBD apenas uma medida parcial do desempenho financeiro e não pode ser considerado como um método independente e completo para analisar qualquer investimento. O PBD é um indicador estritamente adicional aos métodos VPL e TIR, que informa sobre o tempo de recuperação do investimento inicial. Portanto, ele deve ser usado apenas como um método auxiliar de informação sobre a mobilidade do capital, e não como um método de tomada de decisão (PUCCINI, 2011).

O método do payback determina o tempo necessário para o retorno do investimento, ou seja, quanto tempo o valor presente dos fluxos de caixa esperados é igual ao investimento inicial. Nesse caso, o investidor analisará se o tempo identificado é adequado ou não. (ALBERGONI, 2014)

Segundo Lorentz (2012), o período de payback consiste no valor da variável T que satisfaça a igualdade expressa na equação 4:

$$\sum_{t=1}^T \frac{(Rt - Ct)}{(1 + i)^t} = I \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

T = Período de recuperação (payback);

t = tempo, período do fluxo de caixa;

Rt = Receitas no tempo t;

Ct = Custos no tempo t;

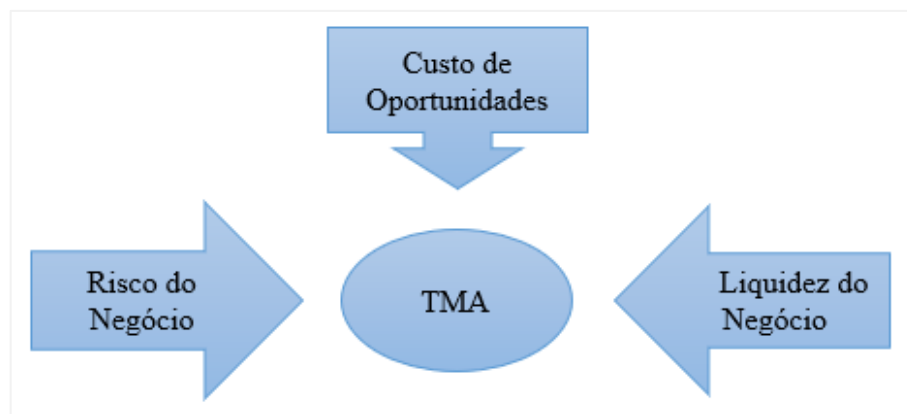
I = Investimento inicial;

i = Taxa de juros

2.7.4. Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

De acordo com Pilão e Hummel (2006), a taxa mínima de atratividade, identificada como TMA, é o mínimo que um investidor se propõe a ganhar ao fazer um investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro oferece para pagar ao fazer um financiamento. Ela consiste em três componentes que fazem parte do denominado cenário para tomada de decisão, sendo eles: custo de oportunidade, risco de negócio e liquidez do negócio, mostrados na Figura 32 (PILÃO; HUMMEL, 2006).

Figura 32 – Composição da TMA



Fonte: Pilão; Hummel (2006)

Quanto à composição da TMA, o custo da oportunidade é o seu ponto de partida, pois representa a recompensa que receberíamos pelo nosso capital se não o tivéssemos aplicado a nenhuma das alternativas de ação analisadas. Consequentemente, o Risco de Negócio é o segundo componente do TMA, uma vez que o lucro deve cobrir o risco inerente à adoção de uma nova ação. Normalmente, mas não necessariamente, "quanto maior o risco, maior a recompensa" ou "o ganho é proporcional ao risco". O terceiro componente do TMA é a liquidez, que pode ser descrita como a facilidade, a velocidade com a qual conseguimos sair de uma posição no mercado nos movendo para assumir outra.

Segundo Blank e Tarquin (2008), a TMA também é chamada de taxa anual de rendimento mínimo para projetos; ou seja, para ser considerada financeiramente viável, a taxa de retorno esperada deve atingir ou exceder a TMA. A TMA não é calculada como a taxa de retorno. Ela é definida por gerentes (financeiros) e é usada como um critério, em relação ao qual a taxa de retorno da alternativa é comparada, para decidir se aceita ou rejeita o projeto de investimento.

2.7.5. Taxa Interna de Retorno (TIR)

Por definição, a TIR é a taxa de retorno de um projeto de investimento. O método da TIR não visa estimar a lucratividade absoluta a um determinado custo de capital (processo de atualização), como o VPL, mas, ao contrário, seu objetivo é encontrar a taxa intrínseca de rendimento (SAMANEZ, 2010). Em suma, a TIR é a taxa de juros que torna o VPL de um determinado investimento nulo (CAMARGO, 1998).

“Em outras palavras, a soma do fluxo de caixa positivo projetado e descontado pela TIR é exatamente igual ao valor do investimento” (ALBERGONI, p. 181, 2014)

A TIR é comparada com a TMA para concluir se aceita ou não a oferta. A TIR quando maior que a TMA, indica a atratividade da proposta. (SILVA et al., 2014).

Segundo Samanez (2002, p. 258), “matematicamente, a TIR é uma taxa hipotética de desconto que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de i^* que satisfaz a equação 5”:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + i^*)^t} = 0 \quad \text{equação (5)}$$

Mostrando que o projeto é economicamente viável se a taxa encontrada for maior que a TMA (SAMANEZ, 2002).

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

As metodologias utilizadas no desenvolvimento desta dissertação foram: referencial teórico, nacional e internacional; Estudo de caso, com coleta de dados da instituição (realizada em pesquisa de campo e entrevista com o atual Diretor da instituição); verificação do sistema atual de iluminação; definição do sistema de iluminação proposto; definição e aplicação dos indicadores de desempenho energético como ferramenta de acompanhamento das ações de eficiência energética; e avaliação econômica do sistema de iluminação proposto.

3.1. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para a avaliação no sistema de iluminação foi realizado o levantamento da quantidade, do tipo de lâmpadas e luminárias existentes em cada bloco escolhidos da instituição de ensino. Foram definidos quatro blocos para o estudo de caso (UE-1, UE-2, UE-3, e o bloco administrativo), sendo escolhidos com base no maior consumo energético por iluminação, onde as lâmpadas se mantem ligadas durante os períodos diurno e noturno.

As ações de eficiência energética em iluminação artificial aplicadas nesta dissertação são do Procedimento do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) (ANEEL, 2013), cuja uma das abrangências utilizadas, refere-se à substituição de equipamentos: lâmpadas, reatores e luminárias. Para isso, primeiro foi feito um levantamento do sistema atual e lançado ao projeto de cálculo onde é comparado o sistema atual com o sistema proposto, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Sistemas de iluminação

		SISTEMA ATUAL		
0		Sistema 1	Sistema 2...	Total
1	Tipo de lâmpada			
2	Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1		
3	Quantidade	qa_1		
4	Potência Instalada (kW)	Pa_1	$\frac{pa_1 \cdot qa_1}{1000}$	
5	Funcionamento (h/ano)	ha_1		
6	Energia Consumida (kWh/ano)	Ea_1	$Pa_1 \cdot ha_1$	$\sum Ea_i$

Continuação Tabela 7 – Sistemas de iluminação

SISTEMA PROPOSTO				
7		Sistema 1	Sistema 2...	Total
8	Tipo de lâmpada			
9	Potência (lâmpada + reator) (W)	pp_1		
10	Quantidade	qp_1		
11	Potência Instalada (kW)	Pp_1	$\frac{pp_1 \cdot qp_1}{1000}$	
12	Funcionamento (h/ano)	hp_1		
13	Energia Consumida (kWh/ano)	Ep_1	$Pp_1 \cdot hp_1$	$\sum Ep_i$
RESULTADOS ESPERADOS				
14		=	Sistema 1	Sistema 2... Total
15	Energia Economizada (kWh/ano)	EE_1	$Ea_1 - Ep_1$	$\sum EE_i$
16	Energia economizada em termos percentuais (%)	$EE_1 \%$	$\frac{EE_1}{Ea_1}$	$\frac{EE}{Ea}$

Fonte: Aneel (2013)

Onde,

0) Agrupar as lâmpadas em Sistemas que tenham o mesmo regime de funcionamento e sejam trocadas por um determinado tipo de lâmpada - usar Sistemas diferentes para troca diferentes.

1) Tipo de lâmpada (incandescente, fluorescente, etc.) e potência nominal do sistema atual

2) Incluir a potência média consumida pelos reatores por cada lâmpada; especificar se são reatores eletromagnéticos ou eletrônicos. Onde, pa_1 = Potência do sistema atual

3) Quantidade de lâmpadas do sistema atual (qa_1).

4) Potência total instalada do sistema atual (Pa_1)

5) Funcionamento médio anual (h/ano) do sistema atual (ha_1)

6) Energia Consumida (MWh/ano) do sistema atual (Ea_1)

7 a 13) – mesmas considerações acima. O funcionamento só será diferente se forem instalados dispositivos de controle adicionais. Obs: Troca-se o subscrito das unidades “a” (de sistema atual) por “p” (de sistema proposto)

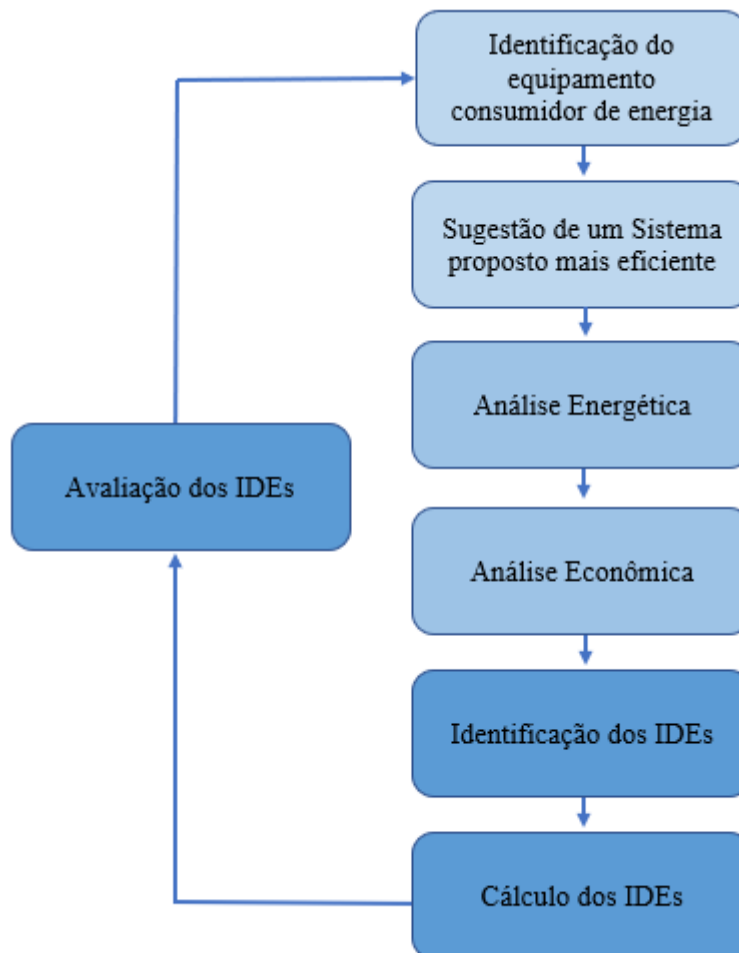
15) Energia economizada (kWh/ano) (EE)

16) Energia economizada em termos percentuais (EE %)

3.2. DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICOS

Com o objetivo de implementar um sistema de iluminação eficiente, melhorando o desempenho energético da Instituição estudada, e com isso reduzir os custos de energia elétrica, desenvolveu-se IDEs do sistema de iluminação atual, determinados como LBE para comparação e verificação com os mesmos IDEs do sistema proposto. Avaliando se as ações implementadas estão gerando resultados esperados em termos de melhoria do desempenho energético. O Fluxo das atividades utilizadas para o desempenho energético da Instituição está apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Fluxo das atividades utilizadas para o desempenho energético da Instituição



Fonte: Elaboração do autor baseado no sistema de Gestão de Energia da ABNT NBR 50001

O primeiro passo foi identificar os equipamentos consumidores de energia que são utilizados no sistema de iluminação atual das unidades da Instituição. Onde se fez um

levantamento da quantidade, do tipo e da potência das lâmpadas instaladas nos ambientes internos das unidades; e o funcionamento em horas por ano dos ambientes.

O próximo passo foi a sugestão de um sistema proposto mais eficiente, com o objetivo de reduzir o consumo energético das unidades.

Realizou-se então uma análise energética com os dois sistemas, o atual e o proposto, analisando os valores de consumo obtidos e identificando os maiores consumos energéticos entre as unidades e mostrando a diferença encontrada ao comparar um sistema com o outro.

Por meio da análise econômica foi possível determinar se o projeto de investir na nova tecnologia é viável ou inviável.

Logo em seguida identifica-se os indicadores de desempenho energético do sistema atual, tornando-os linha de base para comparação com os IDEs do sistema de iluminação proposto.

O cálculo e a avaliação dos IDEs mostram se os objetivos e metas foram alcançados, ajudando o gestor a identificar sempre sugestões para a melhoria contínua do desempenho energético da instituição.

A partir dos dados obtidos no levantamento do uso final de energia em iluminação, para cada unidade da Instituição de Ensino estudada, foram calculados alguns indicadores de desempenho energético. Os Indicadores foram montados com base nos trabalhos de Saidel et al (2005), Morales (2007), Pinzón et al (2014), Benavides (2014), Bortolin e Martins (2015).

3.2.1 Indicador por Usuário

O indicador por usuário (I_u) pode ser calculado dividindo o consumo de energia em iluminação por um determinado período, pelo número de usuários da unidade. Apresentado na Equação 6. Levando em conta a ocupação total, com os horários de funcionamento e o consumo total em determinado período, obtendo assim o consumo de energia em iluminação por usuário.

$$I_u = \frac{EC}{U_s} \quad \text{equação (6)}$$

Sendo,

EC = Energia consumida pela iluminação em kWh/ano.

Us = é número total ou grupo de usuários que utilizam a energia

Unidade da equação = kWh/ano / usuário

3.2.2 Indicador por Área Construída

Indicadores de energia para áreas construídas (I_a) é a relação entre a energia consumida pela iluminação e a área construída em m^2 apresentado na Equação 7. Ajudam a determinar padrões de consumo e dados de referência. Auxiliando na verificação, no desempenho e na eficiência do equipamento, comparando com outras unidades para verificar a eficiência e a economia potencial na utilização da energia elétrica.

$$I_a = \frac{EC}{A} \quad \text{equação (7)}$$

Sendo,

A = Área útil da unidade ou ambiente que utiliza a energia expresso em m^2

Unidade da equação = kWh/ano / m^2

3.2.3 Indicador Percentual de Consumo Total

O objetivo do Indicador Percentual de Consumo Total (IPCT) é indicar como cada bloco da instituição estudada corresponde ao consumo de iluminação total dos demais blocos. A Equação 8 apresenta esse indicador, com o intuito de apontar quais são os maiores consumidores, podendo assim estabelecer medidas energéticas com o intuito de incentivar a economia de energia.

$$IPCT = \frac{EC_u}{EC_t} \quad \text{equação (8)}$$

Onde,

EC_u = Energia consumida pela iluminação de uma determinada unidade da instituição dado em kWh/ano; e

EC_t = Total de energia consumida pela iluminação das unidades em estudo da instituição.

Unidade da equação = %

3.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a aprovação e implantação das medidas propostas, em grande parte, depende de sua viabilidade econômica. A avaliação deve levar em conta o custo inicial de investimento bem como as economias esperadas, considerando o tempo de vida útil das tecnologias investidas.

Para análise da viabilidade deste projeto utilizou-se os seguintes indicadores econômicos descritos e citados no tópico 2.7 do capítulo 2:

- Valor Presente Líquido (VPL): equação 3, pag. 57.
- Payback: equação 4, pág. 58.
- Taxa Interna de Retorno (TIR): equação 5, pág. 59.

O cálculo do VPL é feito atualizando todo o fluxo de caixa de um investimento para o valor de hoje, mostrando qual o montante atual do investimento e também sua rentabilidade. Para o cálculo utiliza-se de uma taxa de desconto conhecida como Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que neste projeto foi decidida com base nos índices de mercado (taxa Selic + a Taxa CDI).

Para o fluxo de caixa do projeto, precisou-se calcular primeiramente qual o custo médio do kWh que a instituição paga mensalmente. Esse valor foi calculado baseado na fatura de energia elétrica cedida pela instituição, onde o valor total da fatura de um mês foi dividido pela soma do consumo total de energia em kWh (HFP- horário fora de ponta- e HP- horário de ponta) resultando em um custo unitário médio mensal do kWh. Em seguida multiplicou-se o custo unitário médio mensal do kWh pela Energia Consumida em kWh dos sistemas de iluminação atual e proposto, onde encontrou-se a economia em R\$ / kWh/ano que será poupada ao se implantar o sistema proposto. O tempo de análise do projeto foi calculado com base no tempo de vida das lâmpadas.

O valor total do investimento foi os valores das lâmpadas que foram levantados a partir de uma busca por preços no mercado e o valor da mão de obra para substituição das lâmpadas que foi orçado com um prestador de serviços elétricos da cidade de Itajubá.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO

Se apresenta neste capítulo o caso de estudo na Instituição Privada de ensino Básico e Superior da cidade de Itajubá, localizada no Sul de Minas Gerais. Descrevendo suas características Físicas e o levantamento de dados do atual sistema de iluminação em suas unidades.

4.1. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas – FACESM, mantida pelo CENTRO REGIONAL DE CULTURA – CEREC, onde oferece 5 cursos de graduação: Administração, Ciências Contábeis, Ciências Econômicas, Recursos humanos e Gestão Financeira. Todos com 04 anos de duração.

A FACESM originou-se da Faculdade de Ciências Econômicas do Sul de Minas, criada em 25 de março de 1965, pela Sociedade Colégio de Itajubá para ministrar o Curso de Ciências Econômicas. Em 1971 fundou-se o CEREC, por um grupo de professores, a fim de assumir a gerência e a manutenção da Faculdade.

Cerca de mais de 2.300 economistas, contadores e administradores se formaram na FACESM. A entidade destaca-se também pela dedicação e esforços na execução de sua linha de pesquisa, que procura atender aos anseios e necessidade da sociedade.

Em agosto de 2015, vislumbrou-se a oportunidade de avançar com o objetivo educacional da instituição, estendendo sua atuação também para a Educação Básica. O Colégio Empreender iniciou suas atividades no dia 01 de janeiro de 2016, com reuniões pedagógicas e, com alunos, no dia 11 de fevereiro de 2016.

O CENTRO REGIONAL DE CULTURA - CEREC é uma associação, filantrópica sem fins lucrativos, pessoa jurídica de direito privado, criada em 15 de outubro de 1971. Possui uma infraestrutura de 40 mil m² de área; sendo 9.450 m² de área construída, um amplo espaço poliesportivo; ampla área verde, incluindo uma horta e pomar; biblioteca com extenso acervo físico; auditório, uma cantina ampla; laboratórios e salas de aula.

As instalações do CEREC, que abrigam a FACESM e o Colégio Empreender, são novas e bem cuidadas, contendo toda a infraestrutura de mobiliário e de equipamentos para atender a seus cursos. Está localizada na Av. Presidente Tancredo de Almeida Neves, 45, bairro Avenida, na cidade de Itajubá Minas Gerais.

O horário de abertura dos portões da Instituição é às 06h30 e seu fechamento às 23h, de segunda a sexta. Onde no período matutino e vespertino ocorrem as aulas do Colégio Empreender, precisamente das 7h às 12h20 e das 13h às 17h30. No período noturno as aulas são da FACESM das 19h às 22h40.

A FACESM conta com 43 colaboradores, e 298 alunos matriculados no ensino superior. Já o Colégio Empreender possui 65 colaboradores e 403 alunos matriculados desde o berçário até o pré-vestibular.

4.1.1. Localização e Distribuição das edificações da Instituição

Para o estudo e aplicação da proposta de melhoria no desempenho energético em iluminação, optou-se pela análise em 4 edificações do campus: Unidade Educacional 1 (UE-1), unidade educacional 2 (UE-2), unidade educacional 3 (UE-3) e Unidade administrativa (U-ADM). A distribuição das edificações da instituição encontra-se nas Figuras 34 e 35.

Figura 34 – Localização e distribuição das edificações na área de estudo



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 35 – Imagem aérea da instituição



Fonte: Imagem Google (2016)

4.2. AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO POR UNIDADE

Para realizar a avaliação do sistema de iluminação de cada unidade da instituição, foi feito um levantamento de dados, por meio de visitas técnicas ao campus, onde foram colhidas informações necessárias para o estudo, como, os tipos e quantidades de lâmpadas utilizadas em cada ambiente, a potência das lâmpadas e reatores, e o funcionamento em horas por anos.

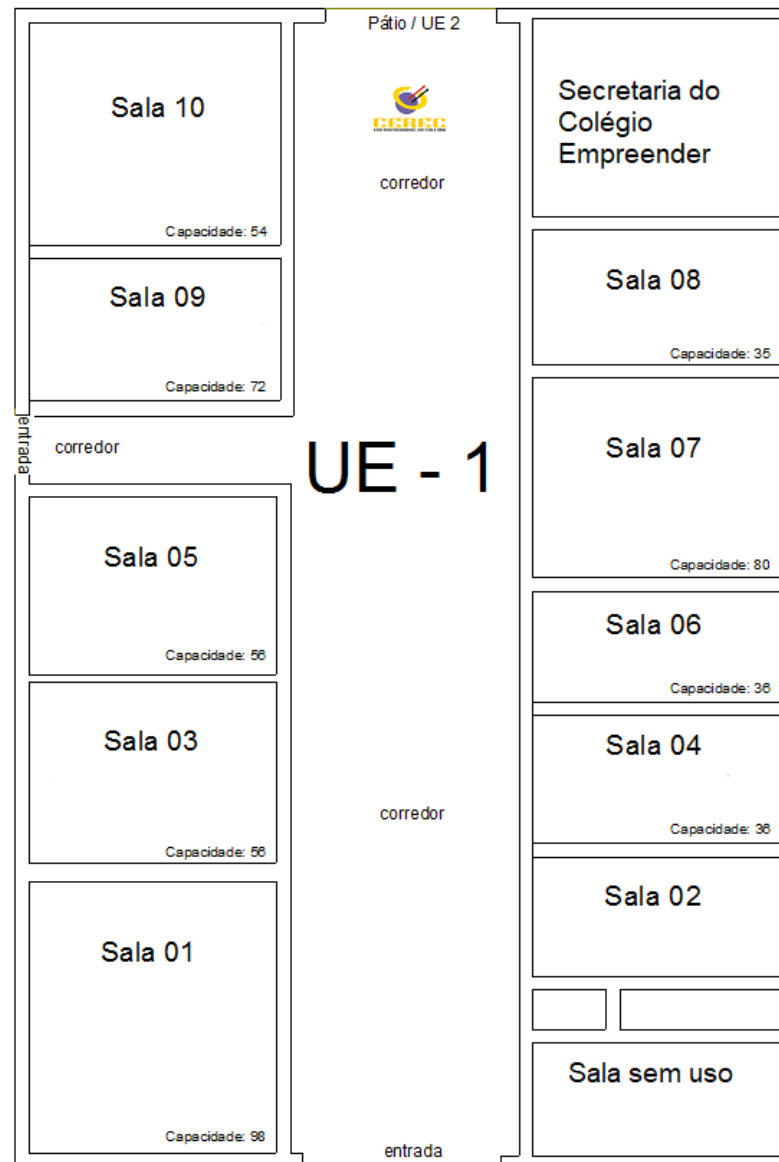
4.2.1. Unidade Educacional 1 (UE-1)

Esta unidade educacional é ocupada em todos os períodos de aula, sendo no matutino e vespertino pelo Colégio empreender e no período noturno pela FACESM.

- **Características Físicas**

A UE-1 consiste em um edifício com área total de 1.141,75 m², por onde estão distribuídas 12 salas de aula, um corredor central e um lateral, e a secretaria do Colégio Empreender. Conforme apresentado na Figura 36, a arquitetura da edificação apresenta uma forma retangular, possuindo tetos e paredes na cor branca.

Figura 36 – Mapa da UE-1



Fonte: Concedido pela FACESM (2019)

- **Detalhamento do Sistema de Iluminação atual**

O sistema de iluminação da UE-1 é composto da seguinte maneira:

- 2 salas de aulas possuem 9 luminárias de 3 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W cada, ou seja, 27 lâmpadas em cada sala.
- 5 salas de aula possuem em cada sala 9 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W. Totalizando 18 lâmpadas em cada sala.
- 3 salas de aula possuem 4 lâmpadas fluorescentes compactas de 45W.

- Na secretaria do Colégio Empreender são 10 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, mais 4 lâmpadas fluorescentes compactas de 45W. Um total de 20 lâmpadas tubulares e 4 lâmpadas compactas.
- No corredor são 7 luminárias de 1 lâmpada fluorescente tubular de 40 W, e 1 luminária de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, possuindo 9 lâmpadas no total.

As luminárias não possuem refletores, o que gera um desperdício do fluxo luminoso. Esta é a única unidade onde a iluminação é mantida ligada no período matutino, vespertino e noturno. Sendo utilizado pelo colégio empreendedor das 7h às 12h20 e das 13h às 17h, e no período noturno das 19h às 22h40 é utilizado pelas aulas da FACESM. Totalizando um período de 13h30 de utilização diária. Exemplos do sistema de iluminação são apresentados na Figura 37 e na Figura 38.

Figura 37– Foto do sistema de iluminação de lâmpadas fluorescentes tubular de uma das salas da UE-1



Figura 38 – Foto do sistema de iluminação com lâmpadas CFL de uma das salas da UE-1



4.2.2. Unidade Educacional 2 (UE-2)

A UE-2 é utilizada para o ensino infantil do Colégio Empreender, nos períodos Matutino das 7h às 12h20 e vespertino das 13h às 17h30.

- **Características Físicas**

A área total construída da UE-2 é de 607,33 m², contendo no piso inferior 9 salas (salas de aulas, sala multiuso para canto coral e violão, sala da psicóloga, brinquedoteca), corredor e banheiro. No piso superior contém 2 salas de aula, e uma sala de teatro.

- **Detalhamento do Sistema de Iluminação atual**

O sistema de iluminação da UE-2 é apresentado da seguinte forma:

- As 9 salas da unidade, juntas utilizam um total de 82 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W.
- A sala de teatro um total de 24 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W.
- Os corredores que interligam as salas e demais áreas da unidade utilizam 8 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W e 17 lâmpadas fluorescentes compactas de 45W.
- Nos banheiros são utilizadas 6 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W.

As luminárias desta unidade também não possuem refletores, A iluminação é mantida ligada no período matutino e vespertino. Sendo utilizada somente pelo colégio empreender no período das 7h às 12h e das 13h às 17h. Totalizando um período de utilização de aproximadamente 9 horas por dia, cinco vezes na semana.

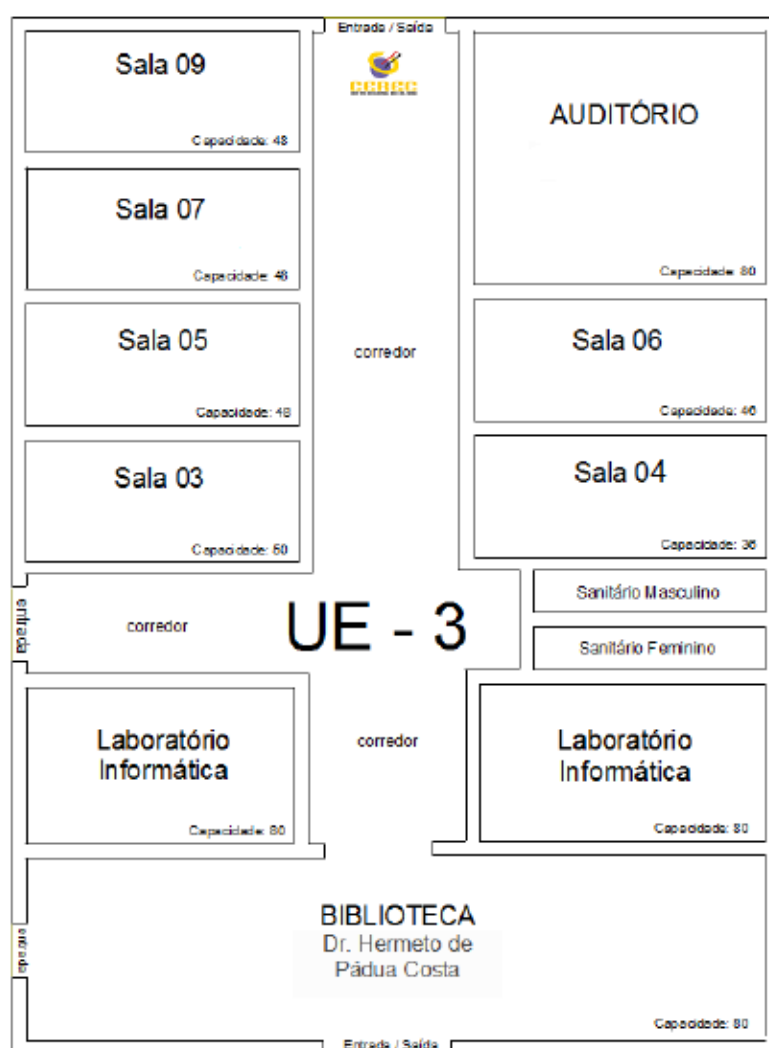
4.2.3. Unidade Educacional 3 (UE-3)

Nesta unidade a biblioteca e os laboratórios são utilizados em todos os períodos de atividade escolar. E as salas de aulas em um período.

- **Características Físicas**

A UE-3 possui uma área construída de 1.172,7 m², com 6 salas de aulas, um auditório, 2 laboratórios, banheiros, biblioteca, um corredor central e um lateral. A Figura 39 ilustra as distribuições do edifício.

Figura 39 – Mapa da UE-3



Fonte: Concedido pela FACESM (2019)

- **Detalhamento do Sistema de Iluminação atual**

O sistema de iluminação da UE-3 é composto por:

- Cada sala de aula possui 4 luminárias de 3 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, ou seja, 12 lâmpadas por sala, totalizando 72 lâmpadas nas 6 salas.

- No auditório são 6 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, e 12 lâmpadas decorativas incandescentes de 60 W.
- Cada laboratório de informática possui 4 luminárias de 3 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W. Nos dois laboratórios são utilizadas 24 lâmpadas.
- Nos sanitários Femininos e nos Masculino são utilizadas 3 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 40W. Sendo 6 lâmpadas em cada sanitário.
- A biblioteca é o ambiente que mais ocupa lâmpadas de toda a instituição, são 58 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, um total de 116 lâmpadas.
- Nos corredores são 6 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, um total de 12 lâmpadas.

As luminárias também não possuem refletores, gerando um grande desperdício do fluxo luminoso. Nesta unidade os laboratórios e a biblioteca utilizam da iluminação nos períodos matutino, vespertino e noturno. das 7h às 12h20, das 13h00 às 17h30, e das 19h00 às 22h40. Já as salas de aulas são utilizadas somente no intervalo de 5 horas por dia. Exemplos do sistema de iluminação da UE-3 são apresentados na Figura 40 e na Figura 41.

Figura 40– Fotos do sistema de iluminação atual da biblioteca



Figura 41 – Fotos do sistema de iluminação atual do corredor da UE-3



4.2.4. Unidade Administrativa (U- Administrativa)

Na unidade Administrativa o horário de Funcionamento é das 13h às 22h.

- **Características Físicas**

A Unidade administrativa tem o total de 640 m² de área construída, contendo um piso inferior e um superior. Na parte inferior contem 7 salas (direção, coordenação de cursos, financeiro, etc.), a secretaria da FACESM, a Tesouraria, a coordenação de informática, dois banheiros e um corredor. Já na parte superior encontrasse salas de trabalho, 2 salas de aulas, salas de trabalho, sala de reunião, banheiros e corredor.

- **Detalhamento do Sistema de Iluminação atual**

O sistema de iluminação da U- Administrativa é composto por:

- Na secretaria da FACESM são 5 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, total de 12 lâmpadas.

- Nas 7 salas de trabalho do piso inferior, totalizam 26 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W.
- A tesouraria contem 2 luminárias, uma com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W e a outra com 3 lâmpadas.
- Na coordenação de informática são 6 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, 3 lâmpadas em cada luminária.
- Nos sanitários do piso inferior e do piso superior são utilizadas 1 lâmpada fluorescente compacta de 45 W em cada banheiro, 4 no total.
- No piso superior são 17 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, e 4 lâmpadas fluorescentes compactas de 45 W.
- Em cada sala de aula tem 4 luminárias de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, totalizando 16 lâmpadas.
- Na sala de reunião tem 8 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W divididas em 4 luminárias.
- O corredor do piso superior tem no total 9 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W.

4.3 PARÂMETROS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL E PROPOSTO

A Tabela 8 apresenta os parâmetros do atual sistema de iluminação utilizado nas unidades da Instituição de Ensino.

Tabela 8 – Parâmetros do sistema de iluminação atual

Descrição da Lâmpada	Fluorescente Tubular	Fluorescente Compacta	Incandescente
Potência (W)	40	45	60
Fluxo Luminoso	2700	2800	800
Rendimento (lm/W)	70	63	13
Temperatura de cor	5000	6500	2700
IRC	70	80	100
Vida mediana (h)	7.500	10.000	700
Quantidade	614	62	12

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos catálogos de fabricantes.

A escolha da lâmpada tubular para substituir as fluorescentes tubulares no sistema de iluminação proposto, foi feita por meio de um levantamento de dados em alguns catálogos de

fabricantes de lâmpadas LED Tubular. Onde mostrou que a lâmpada LED de 18W T8, apresenta um baixo fluxo luminoso de 1350 lm e uma vida mediana de 20.000 h; A lâmpada T8 20W, apresenta um fluxo luminoso de 1850 lm, porem seu rendimento luminoso é de 92,5; A LED tube Glass 18W T8, tem a mesma eficiência luminosa da lâmpada escolhida para o estudo, a diferença está na vida mediana da lâmpada que é de 25.000h, já a escolhida tem 30.000 h. A lâmpada LEDtube 1200mm 18W T8 foi a escolhida, sua eficiência luminosa é de 102 lm/W.

Além disso, ela é adequada para substituição das lâmpadas fluorescentes T8 e T12 / T10. Oferece um efeito de iluminação natural para uso em aplicações de iluminação em geral, como em lojas, escritórios, Indústria, armazéns, espaços públicos, escolas, hospitais, estacionamentos. Possui uma economia de energia instantânea, além de seus benefícios como a redução dos gastos com eletricidade, vida útil mais longa que diminui a troca de lâmpadas, reduzindo assim os custos de manutenção, além de ser uma melhor opção para o meio ambiente, pois não contém mercúrio.

Para a substituição da lâmpada fluorescente compacta foram feitos levantamentos em alguns catálogos, onde obteve -se os seguintes resultados de lâmpadas equivalentes a CFL de 40/45 W: Lâmpada Led Globe 30W com eficiência 80 lm/W; Lâmpada SuperLED A95 25W, eficiência de 100 lm/W; e a lâmpada escolhida para o sistema proposto foi a Standard LEDBulb 23W, com eficiência de 130 lm/W.

Para a troca das lâmpadas incandescentes também foram estudadas as opções em catálogos de fabricantes. A lâmpada que teve maior rendimento luminoso foi a lâmpada SuperLED linha ouro 9W, com 95,5 lm/W, vida mediana de 25.000h.

A Tabela 9 apresenta os parâmetros do sistema de iluminação proposto para as unidades da Instituição.

Tabela 9 – Parâmetros do sistema de iluminação proposto

Descrição da Lâmpada	LED Tubular	LEDBulb	LED
Potência (W)	18	23	9
Fluxo Luminoso	1850	3000	860
Rendimento (lm/W)	102	130	95
Temperatura de cor	6500	6500	2700
IRC	82	80	> 80
Vida mediana (h)	30.000	25.000	25000

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em catálogos dos fabricantes

4.4. RESULTADOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

São apresentados neste tópico os resultados obtidos por meio do cálculo proposto para o sistema de iluminação atual e para o sistema proposto de cada unidade estudada. Apontando a partir da análise dos resultados a Economia Esperada do consumo de energia de cada unidade.

4.4.1 Unidade Educacional -1 (UE-1)

Analisando a proposta de substituição da iluminação para a UE-1, com a troca de 179 lâmpadas mais eficientes, sendo 155 lâmpadas LED T8 18W e 24 lâmpadas LED 23W com um tempo médio de uso de até 13,5 horas / dia e 22 dias / mês nas salas 4, 6 e 7; de até 9 horas / dia e 22 dias / mês nas salas 3, 5, 8 e 9 e até 4,5 horas / dia e 22 dias / mês na sala 10 onde ocorrem somente aulas no período noturno e a sala 1 é ocupada em ocasiões de monitorias com consumo de até 4 horas / dia e 8 dias / mês, o consumo total de energia da UE-1 com o sistema proposto seria de 5.642,86 kWh/ano. Trocando as lâmpadas convencionais por lâmpadas mais eficientes e com uma menor potência resultará em uma diferença significativa de 7.368,68 kWh/ano em relação ao sistema existente que consome 13.011,53 kWh/ano, uma economia de 56,63%.

A Tabela 10 apresenta a comparação entre o sistema atual, o sistema proposto e os resultados esperados com uma economia de energia significativa.

Tabela 10 – Sistemas de iluminação UE - 1

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL UE-1														
Espaço Físico	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5	Sala 6	Sala 7	Sala 8	Sala 9	Sala 10	Secretaria do C.E		corredor	Total UE-1
Tipo de lâmpada	T10	CFL	T10	CFL	T10	CFL	T10	CFL	T10	T10	CFL	T10	T10	
Potência W (lâmpada + reator)	43	45	43	45	43	45	43	45	43	43	45	43	43	
Quantidade de lâmpadas	18	4	18	6	18	6	18	4	27	27	4	20	9	179
Potência Instalada (kW)	0,774	0,18	0,774	0,27	0,774	0,27	0,774	0,18	1,161	1,161	0,18	0,86	0,387	
Funcionamento (h/ano)	288	0	1782	2673	1782	2673	2673	1782	1782	891	1980	1980	2673	
Energia Consumida (kWh/ano)	222,91	0,00	1379,27	721,71	1379,27	721,71	2068,90	320,76	2068,90	1034,45	356,40	1702,80	1034,45	13011,53
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO UE-1														
Tipo de lâmpada	LED T8	LED	LED T8	LED	LED T8	LED	LED T8	LED	LED T8	LED	LED	LED T8	LED T8	
Potência W (lâmpada + reator)	18	23	18	23	18	23	18	23	18	18	23	18	18	
Quantidade de lâmpadas	18	4	18	6	18	6	18	4	27	27	4	20	9	179
Potência Instalada (kW)	0,324	0,092	0,324	0,138	0,324	0,138	0,324	0,092	0,486	0,486	0,092	0,36	0,162	3,342
Funcionamento (h/ano)	288	0	1782	2673	1782	2673	2673	1782	1782	891	1980	1980	2673	
Energia Consumida (kWh/ano)	93,31	0,00	577,37	368,87	577,37	368,87	866,05	163,94	866,05	433,03	182,16	712,80	433,03	5642,86
RESULTADOS ESPERADOS														
Energia Economizada (kWh/ano)	129,60	0,00	801,90	352,84	801,90	352,84	1202,85	156,82	1202,85	601,43	174,24	990,00	601,43	7368,68
Energia economizada (%)	58,14%	-	58,14%	48,89%	58,14%	48,89%	58,14%	48,89%	58,14%	58,14%	48,89%	58,14%	58,14%	56,63%

Fonte: Elaboração do autor

4.4.2. Unidade Educacional -2 (UE-2)

Observa-se na Tabela 11 que a UE-2 possui um total de 5,925 kW de Potência Instalada sendo, 120 lâmpadas fluorescentes T10 de 40 W mais 3 W do reator que é necessário para o funcionamento de cada lâmpada, e 17 lâmpadas CFL de 45 W. O consumo total de energia em um ano é de 8.761,12 kWh/ano para o sistema fluorescente. Já o sistema proposto de lâmpadas LED T8 18W e LED de 23W apresenta uma redução para 3.793,55 kWh/ano, ou seja, 56,70% menor. A energia economizada é respectivamente 4.967,57 kWh/ano. Portanto, conclui-se que para a UE-2, o sistema proposto com lâmpadas LED apresenta o menor consumo.

Tabela 11 – Sistemas de iluminação UE - 2

SISTEMA ATUAL UE - 2						
Espaço Físico	9 Salas de aula piso inferior	Sala de Teatro piso superior	corredor	corredor	Banheiros	Total UE-2
Tipo de lâmpada	T10	T10	T-10	CFL	T-10	
Potência W	43	43	43	45	43	
Quantidade de lâmpadas	82	24	8	17	6	137
Potência Instalada (kW)	3,526	1,032	0,344	0,765	0,258	5,925
Funcionamento (h/ano)	1782	288	1782	1782	792	
Energia Consumida (kWh/ano)	6.283,33	297,22	613,01	1.363,23	204,34	8.761,12
SISTEMA PROPOSTO UE- 2						
Tipo de lâmpada	LED T8	LED T8	LED T8	LED	LED T8	Total UE-2
Potência W	18	18	18	23	18	
Quantidade de lâmpadas	82	24	8	17	6	137
Potência Instalada (kW)	1,476	0,432	0,144	0,391	0,108	2,551
Funcionamento (h/ano)	1782	288	1782	1782	792	
Energia Consumida (kWh/ano)	2.630,23	124,42	256,61	696,76	85,54	3.793,55
RESULTADOS ESPERADOS						
Energia Economizada	3.653,10	172,80	356,40	666,47	118,80	4.967,57
Energia economizada (%)	58,14%	58,14%	58,14%	48,89%	58,14%	56,70%

Fonte: Elaboração do autor

4.4.3. Unidade Educacional -3 (UE-3)

O consumo total de energia, para o sistema fluorescente, da UE-3 é de 21.379,24 kWh/ano, onde mais da metade corresponde a biblioteca, um total de 13.332,92 kWh/ano. A potência instalada total desta unidade é de 11,68 kW, sendo 4,98 kW da biblioteca. O auditório da Instituição, também localizado na UE-3, ainda possui em seu palco algumas lâmpadas Incandescentes de 60 W. O sistema proposto de lâmpadas LED apresentou um consumo de energia de 8.872,09 kWh/ano. Uma economia de energia de 12.507,15 kWh/ano 58,50% menor que o atual sistema de iluminação. Conclui-se que com a substituição das lâmpadas fluorescentes T10 pelas Led T8 de 18W, e as lâmpadas incandescentes pelas LED de 9W, o sistema proposto apresentará um menor consumo de energia. A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para esta unidade da Instituição.

Tabela 12 – Sistemas de iluminação UE - 3

SISTEMA ATUAL UE - 3								
Espaço Físico	6 Salas de aula	Auditório Plateia	Auditório Palco	Biblioteca	2 LABs	WC	corredor	Total
Tipo de lâmpada	T-10	T10	Incand	T10	T10	T10	T10	
Potência W	43	43	60	43	43	43	43	
Quantidade de lâmpadas	72	12	12	116	24	15	16	267
Potência Instalada (kW)	3,096	0,516	0,72	4,988	1,032	0,645	0,688	11,685
Funcionamento (h/ano)	990	400	400	2673	2673	990	1584	
Energia Consumida (kWh/ano)	3.065,04	206,40	288,00	13.332,92	2.758,54	638,55	1.089,79	21.379,24
SISTEMA PROPOSTO UE - 3								
Tipo de lâmpada	LED T8	LED T8	LED	LED T8	LED T8	LED T8	LED T8	
Potência W	18	18	9	18	18	18	18	
Quantidade de lâmpadas	72	12	12	116	24	15	16	267
Potência Instalada (kW)	1,296	0,216	0,108	2,088	0,432	0,27	0,288	4,698
Funcionamento (h/ano)	990	400	400	2673	2673	990	1584	
Energia Consumida (kWh/ano)	1.283,04	86,40	43,20	5.581,22	1.154,74	267,30	456,19	8.872,09
RESULTADOS ESPERADOS								
Energia Economizada (kWh/ano)	1.782,00	120,00	244,80	7.751,70	1.603,80	371,25	633,60	12.507,15
Energia economizada (%)	58,14%	58,14%	85,00%	58,14%	58,14%	58,14%	58,14%	58,50%

Fonte: Elaboração do autor

4.4.4. Unidade Administrativa (U-Administrativa)

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos no piso inferior e no piso superior da unidade administrativa da Instituição. O sistema de lâmpadas fluorescente T10 e CFL apresenta um consumo total de energia em um ano de 6.756,18 kWh/ano nos dois pisos, com uma potência instalada no piso superior de 2,44 kW e no piso inferior de 2,11 kW. Já com o sistema proposto de LED, o consumo total nos dois pisos seria de 2.987,52 kWh/ano com potência instalada 0,89 kW no piso inferior e 1,10 kW no piso superior. A energia economizada da unidade seria de 3.768,66 kWh/ano, resultando em uma diminuição de 55,78% do consumo de energia. No piso inferior da instituição seria uma economia no consumo de 2.308,68 kWh/ano, e no piso superior 1.459,98 kWh/ano.

Tabela 13 – Sistemas de iluminação U- Administrativa

SISTEMA ATUAL UNIDADE ADMINISTRATIVA (piso inferior)						
Espaço Físico	7 salas de Professores	Secretaria FACESM	Tesouraria	Coordenação de Informática	2 Banheiros	Total Unidade ADM
Tipo de lâmpada	T10	T10	T10	T10	CFL	
Potência W	43	43	43	43	45	
Quantidade de lâmpadas	26	10	5	6	2	49
Potência Instalada (kW)	1,118	0,43	0,215	0,258	0,09	2,111
Funcionamento (h/ano)	1760	2200	2200	2200	220	
Energia Consumida (kWh/ano)	1.967,68	946,00	473,00	567,60	19,80	3.974,08
SISTEMA PROPOSTO UNIDADE ADMINISTRATIVA (piso inferior)						
Tipo de lâmpada	LED T8	LED T8	LED T8	LED T8	LEDBulb	
Potência W	18	18	18	18	23	
Quantidade de lâmpadas	26	10	5	6	2	49
Potência Instalada (kW)	0,468	0,18	0,09	0,108	0,046	0,892
Funcionamento (h/ano)	1760	2200	2200	2200	220	
Energia Consumida (kWh/ano)	823,68	396,00	198,00	237,60	10,12	1.665,40
RESULTADOS ESPERADOS						
Energia Economizada	1.144,00	550,00	275,00	330,00	9,68	2.308,68
Energia economizada (%)	58,14%	58,14%	58,14%	58,14%	48,89%	58,09%

Continuação Tabela 13 – Sistemas de iluminação U- Administrativa

SISTEMA ATUAL UNIDADE ADMINISTRATIVA (piso superior)							
Espaço Físico	Salas administrativas		2 Salas de aula	corredor	Banheiros	Sala de reunião	Total Unidade ADM
Tipo de lâmpada	CFL	T10	T10	T10	CFL	T10	
Potência W	45	43	43	43	45	43	
Quantidade de lâmpadas	17	4	16	9	2	8	56
Potência Instalada (kW)	0,765	0,172	0,688	0,387	0,09	0,344	2,446
Funcionamento (h/ano)	2200	2200	360	1100	220	80	
Energia Consumida (kWh/ano)	1.683,00	378,40	247,68	425,70	19,80	27,52	2.782,10
SISTEMA PROPOSTO UNIDADE ADMINISTRATIVA (piso superior)							
Tipo de lâmpada	LEDBulb	LED T8	LED T8	LED T8	LEDBulb	LED T8	
Potência W	23	18	18	18	23	18	
Quantidade de lâmpadas	17	4	16	9	2	8	56
Potência Instalada (kW)	0,391	0,072	0,288	0,162	0,046	0,144	1,103
Funcionamento (h/ano)	2200	2200	360	1100	220	80	
Energia Consumida (kWh/ano)	860,20	158,40	103,68	178,20	10,12	11,52	1.322,12
RESULTADOS ESPERADOS							
Energia Economizada	822,80	220,00	144,00	247,50	9,68	16,00	1.459,98
Energia economizada (%)	48,89%	58,14%	58,14%	58,14%	48,89%	58,14%	52,48%

Fonte: Elaboração do autor

4.4.5. Resultado Geral do Sistema de Iluminação

A Tabela 14 apresenta os resultados do sistema de iluminação geral das unidades estudada da Instituição, onde o consumo total de energia utilizado pelo sistema de iluminação é de 49.908,08 kWh/ano e do sistema proposto é de 21.296,02 kWh/ano. A UE-3 é a unidade

que mais consome energia em relação a iluminação, com o sistema proposto a energia economizada nesta unidade seria de 58,50%. Já a UE-1 onde a maioria das salas de aula são utilizadas em todos os períodos do dia a energia economizada seria de 56,63%.

O Consumo de energia total da Instituição no período de julho de 2018 a junho de 2019 foi de 88.478 kWh/ano, conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42- Histórico do Consumo de Energia total da Instituição

ENERGIA (kWh)		
Mês/Ano	HP	HFP
junho/19	1.558	6.068
maio/19	1.804	6.478
abril/19	1.804	7.380
março/19	1.394	5.740
fevereiro/19	1.148	5.002
janeiro/19	1.148	4.100
dezembro/18	1.968	6.560
novembro/18	1.804	7.134
outubro/18	1.886	6.806
setembro/18	1.394	5.330
agosto/18	1.148	4.182
julho/18	984	5.658
Total	88.478	

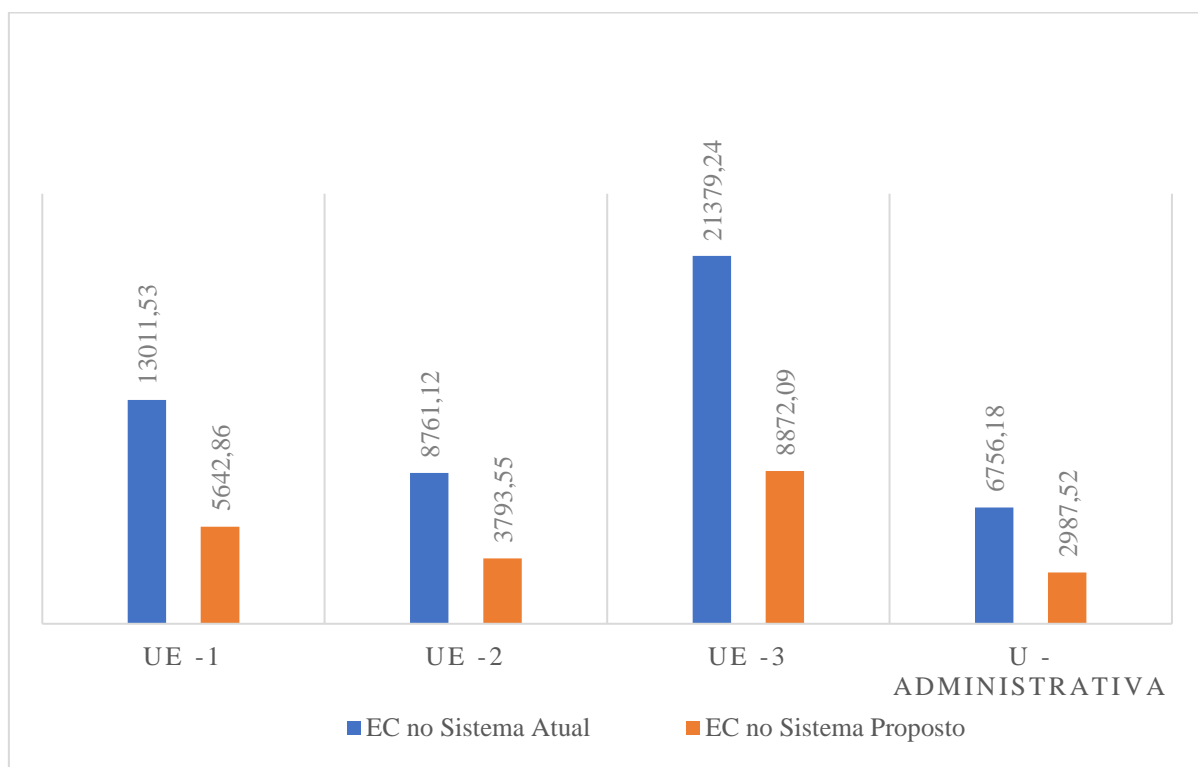
Fonte: Cedida pela Instituição

Pode-se observar que no sistema atual, o consumo de energia é alto comparado ao sistema proposto, e ao se implementar a gestão energética além de propor um uso mais eficiente de energia nas unidades, também resultará em uma grande economia de energia correspondente a 28.612,06 kWh/ano na Instituição. A comparação entre os sistemas de iluminação também está ilustrada na Figura 43.

Tabela 14 – Sistemas de iluminação Geral

Unidades da Instituição	Energia Consumida sistema atual kWh/ano	Energia Consumida sistema proposto kWh/ano	Energia Economizada kWh/ano	EE (%)
UE -1	13.011,53	5.642,86	7.368,68	56,63%
UE -2	8.761,12	3.793,55	4.967,57	56,70%
UE -3	21.379,24	8.872,09	12.507,15	58,50%
U - Administrativa	6.756,18	2.987,52	3.768,66	55,78%
TOTAL	49.908,08	21.296,02	28.612,06	57,33%

Fonte: Elaboração do autor

Figura 43 – Comparação geral entre o sistema de iluminação atual e o proposto em kWh/ano

Fonte: Elaboração do autor

4.5. RESULTADOS DOS INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICOS

De forma a medir, monitorizar e avaliar o desempenho energético da Instituição de Ensino, e quantificar a energia economizada com o sistema proposto de iluminação, foram estabelecidos um conjunto de IDEs. Onde os IDEs do sistema de iluminação atual apresenta seus valores de referência para comparação com os IDEs do sistema proposto.

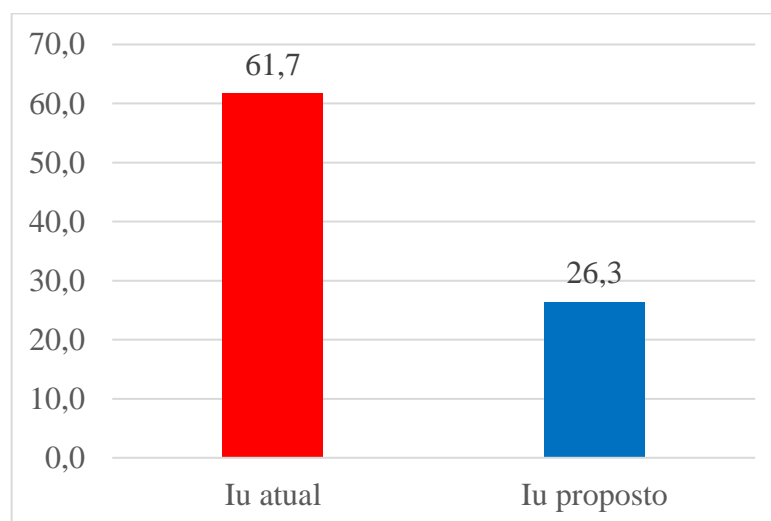
4.5.1. Indicador por usuário geral

A Instituição possui um total de 701 alunos matriculados e 108 funcionários, sendo 809 usuários no geral, conforme está apresentado juntamente com os indicadores por usuário na Tabela 15. Os alunos representam 86,65% do total de usuários da Instituição. O Iu da FACESM mostrou uma diminuição entre os Iu de 83,91 kWh/ano do sistema atual para o proposto, já o Iu do Colégio Empreender apresenta um consumo menor de 61,14 kWh/ano. O Iu total apresenta no sistema atual um consumo de 61,69 kWh/ano / Usuário, no sistema proposto esse índice seria de 26,32 kWh/ano / Usuário, que representa uma diminuição de 42,67% no consumo de energia por usuário, apresentado na Figura 44.

Tabela 15 – Indicador por usuário

USUÁRIOS		Iu Atual (kWh/ano / Usuário)	Iu Proposto (kWh/ano / Usuário)
FACESM	341	146,36	62,45
Colégio Empreender	468	106,64	45,50
Total de Usuários	809	61,7	26,32

Fonte: Elaboração do autor

Figura 44 – Indicador por usuário do sistema atual e do sistema proposto

Fonte: Elaboração do autor

4.5.2. Indicador por área construída em m² total das unidades estudadas

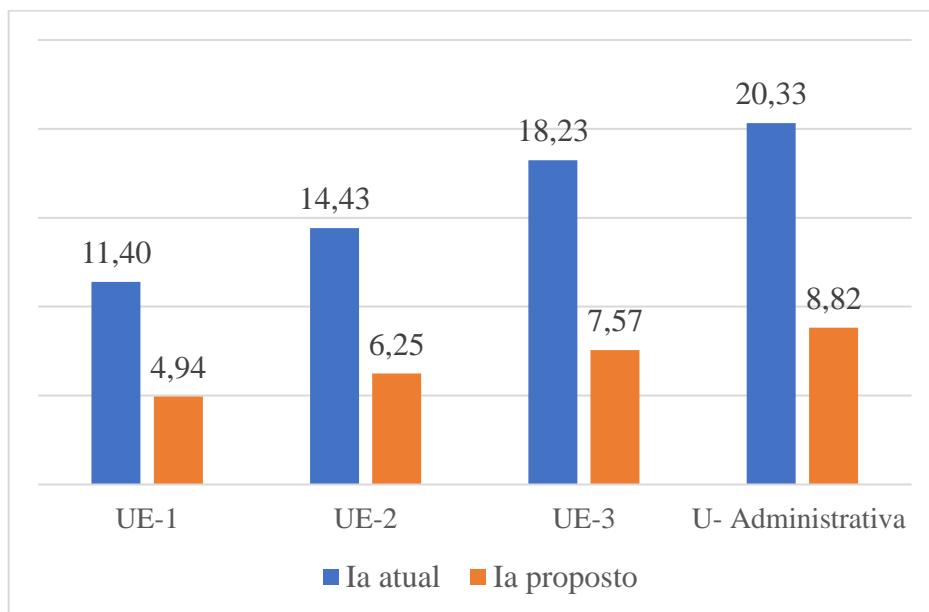
Ao analisar os indicadores por área construída apresentados na Tabela 16, percebe-se uma variação de 8,03 kWh/ano / m² entre os indicadores do sistema atual para o sistema proposto, mostrando que ao ser implantado o novo sistema de iluminação resultaria em uma diminuição total de 57,33% do consumo em kWh/ano / m², cuja a área útil total é de 3.561,78 m². A UE-3 maior unidade de área construída entre as unidades estudadas, apresentou uma variação entre os I_a do sistema atual para o proposto de 10,67 kWh/ano / m², mostrando um resultado positivo caso seja implantado o novo sistema de iluminação.

A Figura 45 ilustra a comparação entre os indicadores por unidades e por sistemas de iluminação, mostrando que em todas as unidades os resultados mostram um menor consumo de energia por área construída com o novo sistema de iluminação.

Tabela 16 – Indicador por área construída das unidades estudadas

Unidades estudadas	m ² total	Ia atual (kWh/ano / m ²)	Ia proposto (kWh/ano / m ²)
UE-1	1.141	11,40	4,94
UE-2	607	14,43	6,25
UE-3	1172	18,23	7,57
U- Administrativa	640	20,33	8,82
TOTAL	3.561	14,01	5,98

Fonte: Elaboração do autor

Figura 45 – Indicador por área construída das unidades estudadas do sistema proposto e do sistema atual

Fonte: Elaboração do autor

A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos na biblioteca e nos laboratórios que ficam na UE-3, sendo a biblioteca a maior consumidora de energia por sua área construída de 473,88 m², teria uma diminuição de 16,33 kWh/ano / m².

Tabela 17 – Indicador por área construída de ambientes significativos da UE-3

Unidades estudadas	m ² total	Ia atual (kWh/ano / m ²)	Ia proposto (kWh/ano / m ²)
Biblioteca	473	28,14	11,78
Laboratório 1	65	21,10	8,83
Laboratório 2	57	23,81	9,97

Fonte: Elaboração do autor

4.5.3. Indicador Percentual de Consumo Total

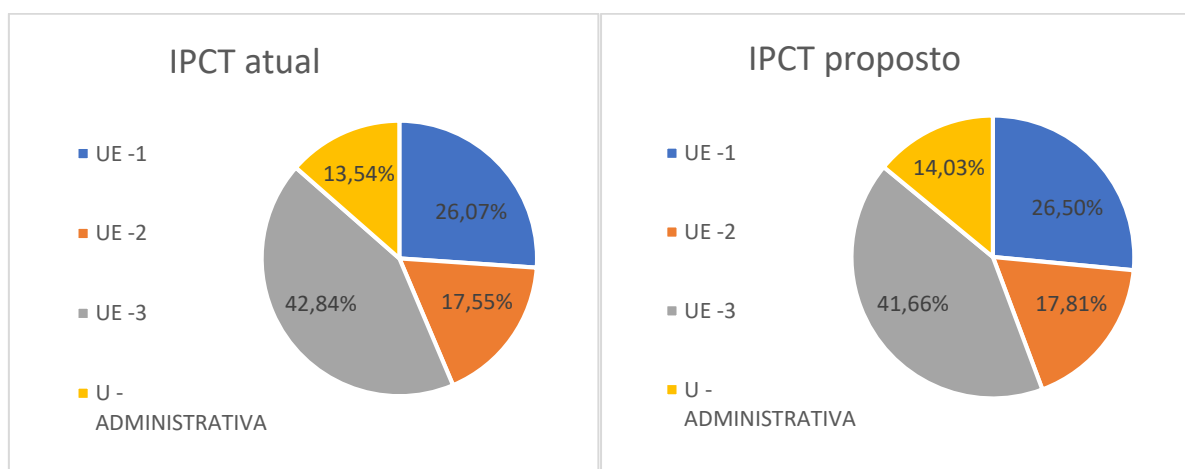
O IPCT trouxe fatos relevantes para a gestão energética na Instituição, por meio dele identifica-se que a UE-3 apresenta o maior consumo entre as unidades estudadas da Instituição, representando aproximadamente 42,84% do total do consumo do sistema atual de iluminação, conforme apresentado na Tabela 18 e ilustrado na Figura 46. Com o sistema proposto esse valor diminuiria para 41,66%. E a U-Administrativa apresenta o menor consumo comparado com as demais unidades.

Tabela 18 – Indicador Percentual de Consumo Total

Unidades estudadas	EC sistema atual (kWh/ano)	EC sistema proposto (kWh/ano)	IPCT atual (%)	IPCT proposto (%)
UE -1	13.011,53	5.642,86	26,07%	26,50%
UE -2	8.761,12	3.793,55	17,55%	17,81%
UE -3	21.379,24	8.872,09	42,84%	41,66%
U - ADMINISTRATIVA	6.756,18	2.987,52	13,54%	14,03%
TOTAL	49.908,07	21.296,02	-	-

Fonte: Elaboração do autor

Figura 46 - Indicador Percentual de Consumo Total do sistema atual e do sistema proposto



Fonte: Elaboração do autor

4.5.4. Indicadores de Desempenho Energético na UE-1

A UE-1 foi escolhida para se fazer uma análise detalhada, devido ser a única unidade da instituição a ser ocupada nos três períodos de aula, sendo no matutino e vespertino pelo Colégio Empreender e no período noturno pela FACESM. Os resultados por sala dos Indicadores de usuários (alunos) e os indicadores de área construída estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Indicadores de Desempenho Energético por alunos e área construída da UE-1

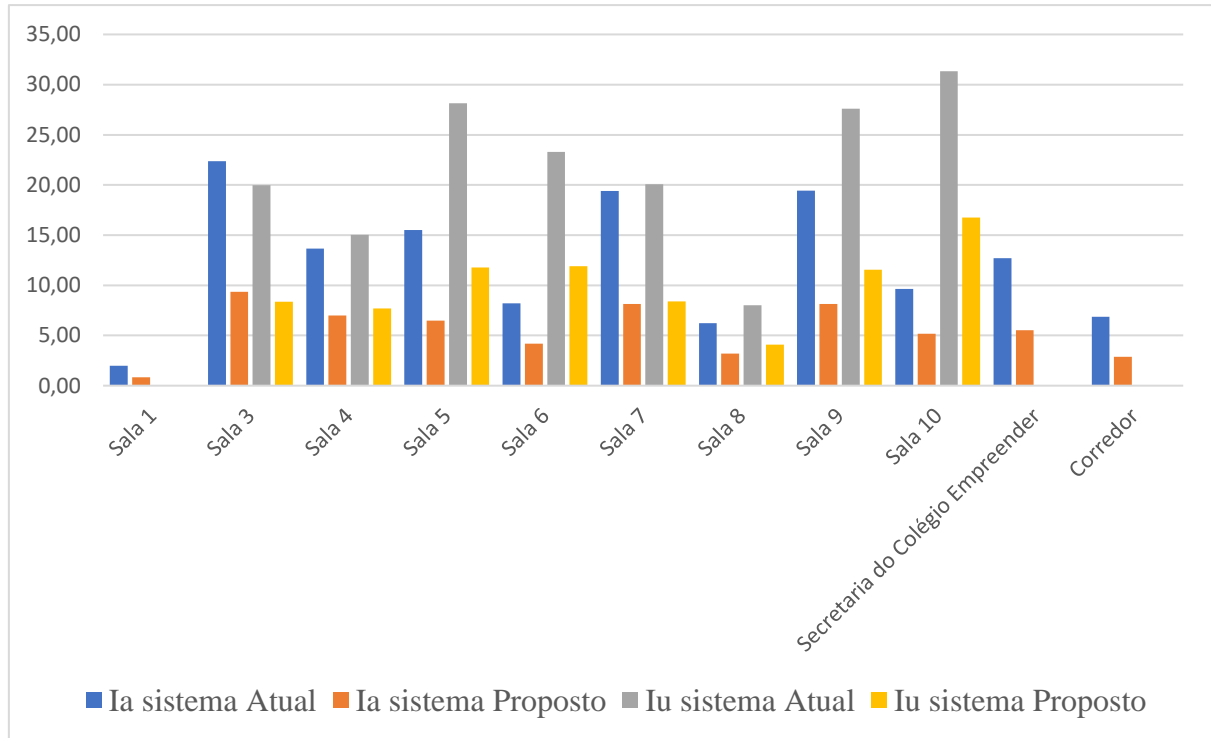
LOCAL UE-1	m ² total	nº alunos	Ia Atual (kWh/ano / m ²)	Ia Proposto (kWh/ano / m ²)	Iu Atual (kWh/ano / Us)	Iu Proposto (kWh/ano / Us)
Sala 1	113	-	1,97	0,82	-	-
Sala 3	61	69	22,38	9,37	19,99	8,37
Sala 4	52	48	13,66	6,98	15,04	7,68
Sala 5	88	49	15,51	6,49	28,15	11,78
Sala 6	88	31	8,19	4,19	23,28	11,90
Sala 7	106	103	19,42	8,13	20,09	8,41
Sala 8	51	40	6,23	3,19	8,02	4,10
Sala 9	106	75	19,45	8,14	27,59	11,55
Sala 10	107	33	9,64	5,16	31,35	16,77
Secretaria do Colégio Empreender	162	-	12,69	5,52	-	-
Corredor	150	-	6,86	2,87	-	-

Fonte: Elaboração do autor

A análise demonstra que a sala 3 possui os maiores indicadores comparada as demais salas. Com o sistema proposto o consumo de energia por alunos que utilizam esta sala durante os períodos de aula seria de 8,37 kWh/ano / Us, ou seja, uma redução de 11,62 kWh/ano / Us entre o sistema atual e o proposto. A sala 1 é a maior sala com 113,22 m² de área construída, porém é utilizada somente para monitorias ocasionais. A sala 7 com 106,56 m² é utilizada por 103 alunos por dia, o que corresponde um consumo de 20,09 kWh/ano / Us com o sistema de iluminação atual, que diminuiria para 8,41 kWh/ano / Us com o sistema proposto. Em relação ao consumo por área construída da secretaria do Colégio Empreender que apresenta um consumo de 12,69 kWh/ano /m² apresentaria uma diminuição de 7,17 kWh/ano / m² com o

sistema de iluminação proposto. A relação dos indicadores por ambiente da UE-1 pode ser observada na Figura 47.

Figura 47 – Indicadores de Desempenho Energético da UE-1 (kWh/ano)



Fonte: Elaboração do autor

4.6. RESULTADO DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Utilizando os métodos descritos na metodologia 3.3, foi realizada uma análise econômica para determinar se a substituição do sistema atual de lâmpadas fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas e algumas incandescentes por lâmpadas LED seria economicamente viável.

Para esta análise considerou-se:

- O total de lâmpadas de cada unidade da Instituição abordada neste trabalho, apresentada detalhadamente nos resultados do sistema de iluminação 4.4;
- O tempo de análise de 15 anos, conforme a média dos resultados obtidos pela equação 9 (SANTOS, 2018).

$$Vida \ Útil_{Lâmpadas} = \frac{Vida \ útil \ da \ lâmpada \ em \ (horas)}{Tempo \ de \ utilização \ da \ lâmpada \ (\frac{horas}{ano})} \quad (9)$$

Considerando o tempo médio de utilização informado nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 do sistema de iluminação de cada unidade, têm-se:

- a) LED T8 18 W = 16 anos
- b) LED 23 W = 14 anos
- c) LED 9 W = 62,5

- A taxa de desconto (TMA) de 12% referente a taxa Selic + a Taxa CDI (B³; BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019);
- O custo unitário da energia elétrica utilizado foi de R\$ 0,99 / kWh (Custo Médio Mensal de Energia Elétrica da Instituição).
- Custos referentes às lâmpadas para execução do projeto de substituição das lâmpadas convencionais do sistema atual por lâmpadas mais eficientes que estão apresentados na Tabela 20. Os valores das lâmpadas foram levantados a partir de uma busca por preços no mercado e o valor da mão de obra para substituição das lâmpadas foi orçado com um prestador de serviços elétricos da cidade de Itajubá.

Tabela 20 – Valores das lâmpadas para o sistema de iluminação proposto

INVESTIMENTO EM LÂMPADAS				
TIPO	VIDA MEDIANA (h)	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
LED T8 - 18 W	30000	614	26,90	16.516,60
LED - 23 W	25000	62	78,50	4.867,00
LED - 9 W	25000	12	7,90	94,80
FRETE Transportadora				399,34
Mão de Obra				6.880,00
Valor Total do Investimento	-	-	-	28.757,74

Fonte: Elaboração do autor

A Tabela 21 apresenta o custo da Energia Consumida pelos sistemas atual e proposto, bem como a economia em R\$ / kWh/ano ao se implantar o sistema proposto.

Para o cálculo da viabilidade econômica do projeto considera-se que a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas de LED gera uma economia de energia de 28.612,06 kWh/ano, e respectivamente economiza-se R\$ 28.299,50 kWh/ano.

Tabela 21 – Determinação da Economia em R\$/ kWh/ano

Local	EC sistema atual kWh/ano	EC sistema proposto kWh/ano	EE kWh/ano	Custo Energia Sistema atual R\$/ kWh/ano	Custo Energia Sistema proposto R\$/ kWh/ano	Economia R\$/ano
UE -1	13.011,53	5.642,86	7.368,68	R\$12.869,39	R\$5.581,22	R\$7.288,18
UE -2	8.761,12	3.793,55	4.967,57	R\$8.665,41	R\$3.752,11	R\$4.913,30
UE -3	21.379,24	8.872,09	12.507,15	R\$21.145,69	R\$8.775,17	R\$12.370,52
U - ADM	6.756,18	2.987,52	3.768,66	R\$6.682,37	R\$2.954,88	R\$3.727,49
Total	49.908,07	21.296,02	28.612,06	R\$49.362,86	R\$21.063,38	R\$28.299,50

Fonte: Elaboração do autor

Com os dados da Tabela 22 calculou-se o VPL, a TIR e o Payback do projeto, cujo os resultados do Fluxo de caixa do projeto proposto são apresentados na Tabela 23 e os resultados dos indicadores econômicos na Tabela 24.

Tabela 22 – Dados de Entrada para o cálculo dos Indicadores Econômico

ITEM	VALOR	UNIDADE
TMA	12,00%	%
CUSTO EVITADO - ECONOMIA	R\$ 28.299,50	R\$/ano
INVESTIMENTO	-R\$ 28.757,74	R\$

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 23 – Fluxo de caixa Anualizado

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo Caixa Acumulado	Fluxo Caixa Descontado	Fluxo Caixa Desc. Acumulado
2019	0	-R\$ 28.757,74	-R\$ 28.757,74	-R\$ 28.757,74
2020	1	R\$ 28.299,50	-R\$ 458,24	-R\$ 3.490,33
2021	2	R\$ 28.299,50	R\$ 27.841,25	R\$ 19.069,85
2022	3	R\$ 28.299,50	R\$ 56.140,75	R\$ 39.212,87
2023	4	R\$ 28.299,50	R\$ 84.440,24	R\$ 57.197,71
2024	5	R\$ 28.299,50	R\$ 112.739,74	R\$ 73.255,61
2025	6	R\$ 28.299,50	R\$ 141.039,23	R\$ 87.593,01
2026	7	R\$ 28.299,50	R\$ 169.338,73	R\$ 100.394,27
2027	8	R\$ 28.299,50	R\$ 197.638,22	R\$ 111.823,96
2028	9	R\$ 28.299,50	R\$ 225.937,72	R\$ 122.029,04
2029	10	R\$ 28.299,50	R\$ 254.237,21	R\$ 131.140,72
2030	11	R\$ 28.299,50	R\$ 282.536,71	R\$ 139.276,15
2031	12	R\$ 28.299,50	R\$ 310.836,20	R\$ 146.539,92
2032	13	R\$ 28.299,50	R\$ 339.135,70	R\$ 153.025,44
2033	14	R\$ 28.299,50	R\$ 367.435,20	R\$ 158.816,08
2034	15	R\$ 28.299,50	R\$ 395.734,69	R\$ 163.986,29

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 24 – Resultados dos Indicadores Econômicos

VPL	TIR	Payback
R\$ 163.986,29	98%	1,14

Fonte: Elaboração do autor

Conforme apresentado na Figura 48, considerando um horizonte de análise de 15 anos, uma taxa mínima de atratividade de 12% ao ano, um investimento total de R\$ 28.757,74 e um custo evitado no pagamento da fatura de energia elétrica de R\$ 28.299,50 por ano, o tempo de retorno do investimento encontrado foi de 1,14 anos, ou seja, aproximadamente 1 ano e 51 dias, o valor presente líquido foi de R\$ 163.986,29 e uma taxa interna de retorno de 98%. Baseado nos resultados obtidos conclui-se que o projeto é economicamente viável, pois o VPL é positivo e a TIR é maior do que a TMA.

Figura 48 – Representação dos Resultados Econômicos do Investimento no Projeto

Fonte: Elaboração do autor

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

O objetivo principal desta dissertação foi analisar a proposta de substituição do sistema de iluminação da Instituição de Ensino FACESM e Colégio Empreender, com a finalidade de promover a melhoria da Gestão Energética da mesma. A partir da análise efetuada foi possível avaliar o sistema de iluminação atual das principais unidades da Instituição, sugerindo a aplicabilidade de se implementar um SGE, por meio da proposta de substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

Com o intuito de acompanhar as ações de eficiência energética no melhoramento do desempenho energético da Instituição, e com isso reduzir os custos de energia elétrica, desenvolveu-se IDEs do sistema de iluminação atual, determinados como LBE para comparação e verificação com os mesmos IDEs do sistema proposto. Com base nos resultados obtidos no estudo de caso, foi possível identificar uma melhoria em todos os IDE de todas as unidades analisadas, caso a substituição do sistema de iluminação aconteça. O Iu apresentou 26,32 kWh/ano / Usuário com o sistema de iluminação proposto, uma diminuição de 42,67% comparado ao sistema atual. O Ia do sistema de iluminação proposto apresenta um consumo de 5,98 kWh/ano / m², uma diminuição no consumo de 8,03 kWh/ano / m² referente ao sistema atual, ou seja, 57,33% menor. Por meio do IPCT identificou-se que a UE-3 apresenta o maior consumo entre as unidades estudadas da Instituição, representando aproximadamente 42,84% do total do consumo do sistema atual de iluminação, com o sistema proposto esse valor diminuiria para 41,66%. Já U-Administrativa apresenta o menor consumo comparado com as demais unidades. Após analisar os resultados pode-se concluir que os IDEs apresentaram diminuição significativas referente ao sistema atual.

No geral, os dados analisados, relativos ao sistema de iluminação atual e proposto, indicam uma melhoria do desempenho energético das instalações, cumprindo-se assim um dos objetivos do SGE. Em relação à gestão de energia da instituição, os resultados obtidos ao se comparar os IDEs, foi positivo, mostrando uma diminuição significativa. Neste contexto, cabe ao gestor da Instituição medir e verificar os IDEs prevendo a continuação dos trabalhos de melhorias contínuas. e a concretização de outras medidas de eficiência energética, que seja economicamente viável.

Considerando o potencial ainda existente, em questão da melhoria do desempenho energético, sugere-se a Instituição os seguintes objetivos e metas:

(a) Conscientização de alunos e funcionários quanto à importância do SGE para a Instituição e assim para todos;

(b) Melhoria dos indicadores de desempenho energético das instalações face aos valores de referência, igual ou superior aos obtidos caso haja a troca dos sistemas de iluminação;

(c) Instalação de sensores de presença nos corredores e banheiros, com o intuito de reduzir o consumo energético das unidades.

(d) Substituição das luminárias do sistema de iluminação atual por luminárias eficientes.

A avaliação econômica mostra que o investimento na aquisição de lâmpadas de LED é viável, principalmente pela eficiência energética e durabilidade da tecnologia LED. Com a realização do investimento é possível reduzir de R\$ 49.362,86 para R\$ 21.063,38 anualmente o custo de energia final da Instituição, o que corresponde a uma economia de 57,33%. O prazo de retorno do investimento se daria em 1,14 ano, ou seja, aproximadamente 1 ano e 51 dias, com um valor presente líquido de R\$ R\$ 163.986,29 e a taxa interna de retorno de 98%.

Além disso, com a troca do sistema de lâmpadas convencionais por lâmpadas LED gera benefícios também ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de energia, as lâmpadas LED são recicláveis, não possuem mercúrio como as lâmpadas fluorescentes, apresentam baixa manutenção, possuem uma maior durabilidade e uma alta eficiência luminosa. Um ponto importante ao se adquirir as lâmpadas é a verificação se a mesma contém o Selo Procel, que garante que as lâmpadas LED tenham a vida útil declarada pelo fabricante.

Uma vez que um projeto é validado e seu retorno financeiro foi viável, é importante modelar possíveis projetos futuros. Como proposta para a Instituição de Ensino FACESM / Colégio Empreender, sugere-se um estudo quanto ao consumo de água, com objetivo à conservação e uso racional da água potável, focando na redução do consumo, sendo necessário, portanto, colocar em prática programas que estimulem o consumo consciente, e contribua a novos hábitos de uso voltados à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ALBERGONI, Leide. **Matemática Financeira** [recurso eletrônico]. Curitiba: Universidade Positivo, 2014. 196 p.

AMAN, M.m. et al. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. **Energy Policy**, [s.l.], v. 52, p.482-500, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.068>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512008506#bib70>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE)**. Brasília, 2013. 193 p.

ARAUJO, L. Preza. **Tipos e características de lâmpadas: Sistemas de iluminação**. 2005. Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/tipos_caracteristicas_das_lampadas.pdf>. Acesso em 19 de fev. de 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO - 50001**: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 8995-1:2013**: Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

B3- BRASIL BOLSA BALCÃO. **Taxa CDI junho de 2019**. Disponível em: <http://www.b3.com.br/pt_br/>. Acesso em jun. de 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. 2019. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em jun. de 2019.

BORTONI, E. C. **Conservação da energia, Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**, Itajubá 2006; 3ª Edição, Pag. 195 -209.

BREALEY, Richard A. et al. **Princípios de Finanças Corporativas** [recurso eletrônico] / tradução: Celso Roberto Paschoa; revisão técnica: João Carlos Douat. – 10 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BARANIUK, James Alexandre. **Conceitos de Iluminação**. 2016. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/~james/Laboratorio%20V/arquivos/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BEDIN, Juliano. **Reatores eletrônicos Dimerizáveis para Lâmpadas Fluorescentes com Elevado Fator de Potência**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91076/251941.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

BENAVIDES, José Rafael Rodriguez. **A auditoria energética como ferramenta para o aproveitamento do potencial de conservação da energia: o caso das edificações do setor educacional**. 2014. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-06082014-183347/publico/JRRB2014.pdf>>. Acesso em 20 de abr. 2019.

BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. **Engenharia Econômica**. 6. ed. São Paulo: Mcgraw - Hill, 2008. 756 p. Tradução de: José Carlos Barbosa dos Santos.

BORTOLIN, Taison Anderson; MARTINS, Geomar Machado. **Eficiência energética em iluminação: estudo de caso de uma edificação de um Campus Universitário da Serra Gaúcha**. 43 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Educação A Distancia, Universidade Federal de Santa Maria, Camargo - RS, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1314/Bortolin_Taison_Anderson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 maio 2019.

CARLI, Raffaele; DOTOLI, Mariagrazia; PELLEGRINO, Roberta. A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. **Computers & Operations Research**, [s.l.], v. 96, p.223-235, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.016>.

CAMARGO, Ivan. Noções básicas de engenharia econômica aplicações ao setor elétrico. Brasília: Finatec, 1998.

CARTILHA PROCEL EDIFICA _R3 (Rio de Janeiro). **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro: [s.e], 2013. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios** – parte 1: método prescritivo. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.7-26, jun. 2010. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/11790/8471>>. Acesso em: 20 out. 2018.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações**. 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID={B6F7573B-CB26-4363-9E8F-64F8B72018C1}&ServiceInstUID={46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1}>>. Acesso em jun. de 2019.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Guia para efficientização energética nas edificações públicas** Versão 1.0 outubro 2014 / Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL; coordenador Ministério de Minas e Energia - MME — Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 229 p.

CONPET, Programa nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural. Ação Local: Benefício Global. 2012. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>. Acesso em outubro de 2018.

CUSA, Yamilet González. **Eficiência Energética em empresa do Setor de Ferroligas**. 2018. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador - Ba, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/28197/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Final%20-%20YAMILET.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

DIAKAKI, Christina; GRIGOROUDIS, Evangelos; KOLOKOTSA, Dionyssia. Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 9, p.1747-1754, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.03.002>.

DIAS, António de Alvarenga Vieira. Apud, IOS - International Organisation for Standardisation, 2012. **Aplicação da ISO 50001 a uma indústria de produtos químicos com vista à implementação de Planos de Racionalização de Energia**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2016. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545311/Dissertacao_Aplicacao%20da%20ISO%2050001%20a%20uma%20industria%20de%20produtos%20quimicos%20com%20vista%20a%20implementacao%20de%20Planos%20de%20Racionalizacao%20de%20Energia.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2019.

DIMOUDI, A.; KOSTARELA, P.. Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.289-296, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.025>.

DINARDI, Phellipe Tocchetto; TORNE, Israel Gondres. Analysing of energy efficiency in a school buildings: Case study. **2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos (sbse)**, [s.l.], p.1-6, maio 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/sbse.2018.8395568>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8395568&tag=1>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

DJURETIC, Andrej; KOSTIC, Míomir. Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting. **Energy**, [s.l.], v. 157, p.367-378, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.179>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218310235#bib4>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

DOULOS, L.t. et al. Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 194, p.201-217, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033>.

ELETROBRAS PROCEL. **Iluminação eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros / organizadores: Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos e Marcos Alexandre Couto Limberger.** –Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2013. 266p.

EMPALUX. **Informações Luminotécnicas: Eficiência Luminosa.** 2019. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/?a1=1>>. Acesso em jun. de 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas).** 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

_____. **Caderno de Demanda de Eletricidade.** 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf>>. Acesso em 30 de jul. de 2019.

_____. **Fontes de Energia.** 2019. Disponível em: < <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>>. Acesso em 30 de jun. 2019.

_____. **Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (nacional) 1995 - 2018.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

_____. Nota técnica DEA 13-15. **Demanda de Energia 2050.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. Nota técnica DEA 16/12. **Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021).** Rio de Janeiro 2012.

_____. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** / Ministério de Minas e Energia. Brasília: 2011.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME: EPE, 2007.

FERNANDES, Rúben Filipe de Carvalho. **Eficiência Energética de Edifícios versus Qualidade em Iluminação.** 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de

Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [s.c], 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59150/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

FOSSA, Alberto José; SGARBI, Felipe de Albuquerque. **GUIA PARA APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR ISO 50001 GESTÃO DE ENERGIA**. [s.l]: International Copper Association Brazil, 2016. 84 p. Disponível em: <http://www.abrinstal.org.br/docs/guia_gestao_de_energia.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FOSSA, Alberto. Análise estratégica sobre a ABNT NBR ISO 50001 e as oportunidades para o mercado de eficiência energética Parte 2. **O Setor Elétrico**, [s.l], Cap VII, p.52-58, mar. 2015. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/ed-114_Fasciculo_Cap-VII-Qualidade-nas-instalacoes-BT.pdf>. Acesso em 20 abr. de 2019.

FREITAS, Paula Campos Fadul de. **Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas**. Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2009.

GÓRECKI, Krzysztof; PTAK, Przemysław. Modelling LED lamps in SPICE with thermal phenomena taken into account. **Microelectronics Reliability**, [s.l.], v. 79, p.440-447, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2017.03.024>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271417300756#bb0075>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

GOLDMAN, Pedrinho. **Viabilidade de Empreendimentos imobiliários: modelagem técnica, orçamento e risco de incorporação**. São Paulo:Pini 2015. 330 p.

GUERRINI, Délio Pereira. **Eletricidade para a engenharia**. Barueri, Sp: Manole Ltda, 2003. 147 p.

HADDAD, Jamil. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.1-8, jan. 2005. Disponível em: <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/170/153>>. Acesso em: 21 agosto 2018.

INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2010. <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em out. de 2018.

IEA, *International Energy Agency*. **World Energy Balances: Overview (2018 edition)**. 2019. Disponível em: < <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>>. Acesso em: 12 de jun. de 2019

IPIRANGA, Sydney. **Recuperação de Créditos e Redução de Custos de Energia com Eficiência Energética**. São Paulo: 14º Cobee - Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2017. 42 slides, color. Disponível em: <http://www.cobee.com.br/wp-content/uploads/2017/10/COBEE_2017_310817_Sydney_Ipiranga_CDG.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

ITAIM, Iluminação. **Catalogo geral de produtos**. 2008. 211 p. Disponível em: <http://www.itaimiluminacao.com.br/downloads/itaim_catalogo_2008.pdf>. Acesso em: 25 de mar. 2019.

KANNEGANTI, Harish et al. Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. **Sustainable Energy Technologies And Assessments**, [s.l.], v. 23, p.121-135, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138817304745>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

KUMAR, Amit et al. LED lamps waste in Canada: Generation and characterization. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 146, p.329-336, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.006>.

LORENTZ, Savio Vargas. **Avaliação técnico-econômica de projetos de eficiência energética em mineração utilizando a teoria das opções reais**. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais - Ufmg, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-972JG8/disserta_o_coment_rios_banca__vers_o_final__18set2012.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MANGIAPELO, Leonardo Bruno Santos. **Avaliação da eficiência energética em sistemas de iluminação predial: Estudo de casos em dois hipermercados na cidade de Campo Grande – MS**. 2012. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258777>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

MARTÍNEZ, Daniel M.; EBENHACK, Ben W.; WAGNER, Travis P.. Residential and commercial sector energy efficiency. **Energy Efficiency**, [s.l.], p.227-269, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-812111-5.00008-1>.

MARQUES, Miltons C. Silva; HADDAD, Jamil; GUARDIA, Eduardo Crestana. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. FUPAI, 2007. 1 ed. Itajubá.

MCKANE, Aimee et al. Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. **Energy Policy**, [s.l.], v. 107, p.278-288, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.049>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517302744#bib2>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência energética: guia para etiquetagem de edifícios: volume 2**. Brasília: MMA, 2015. 70 p. disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/clima/category/109-energia.html?download=1170:guia-pr%C3%A1tico-sobre-etiquetagem-para-efici%C3%A2ncia-energ%C3%A9tica-de-edifica%C3%A7%C3%B5es-vol-02>>. Acesso em 10 de out. de 2018.

_____. **Guia prático de eficiência energética: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem**: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93 p. Disponível em: <<http://cpsustentaveis.planejamento.gov.br/assets/conteudo/uploads/guia-pratico-de-eficiencia-energetica.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão: Classificação por prioridade de atuação na Universidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, 2007. 101 p.

NEVES, G. D.; SCARAZZATO, P. S. **Estudo comparativo entre duas lâmpadas de descarga de baixa pressão**: análise de viabilidade econômica. Paranoá, Brasília, no 12, p. 95-104, 2014.

NEVES, Nuno Miguel Lopes da Cruz. **Projeto de Iluminação de Edifícios Escolares**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instalações e Equipamentos em Edifícios, Ipc-instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2013. Disponível em: <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Teses/Tese_Mest_Nuno-Neves.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

NUSS, Claudio Andre. **Sistemas de controle solar e ações de retrofitting**. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Ufrgs, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/182817>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

OECD/IEA. *International Energy Agency. Energy efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040*. 2018. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2369?fileName=Market_Report_Series_Energy_Efficiency_2018.pdf>. Acesso em 20 de maio. de 2019.

OLIVEIRA, Ana Filipa Remoaldo. **MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ESCOLA DE HOTELARIA E TURISMO DO PORTO**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [s.c], 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/80689/2/36693.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 2005. 28 p. Disponível em: <<https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

PASSOS, Ângelo António Fernandes. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS E INSTALAÇÕES ESCOLARES**. 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [s.l], 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79559/2/35748.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

PBE EDIFICA. **Manual Gestor Público**. 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Gestor_Publico_20140613_1.pdf>. Acesso em: 28 out. 2018.

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria no 372, 2010**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em out. de 2018.

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria no 372, de junho de 2016**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/manual_rtqc2016.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria no 372, abril de 2017**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCap%20a.pdf>. Acesso em janeiro de 2019.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 3, p.394-398, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>>. Acesso em: 22 set. 2018.

PILÃO, Nivaldo Elias; HUMMEL, Paulo Roberto Vampré. **Matemática Financeira e Engenharia Econômica**. São Paulo: Pioneira Thomson, 2006. 273 p.

PEE, PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ANEEL. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1ª edição. Campinas - SP: Elektro; Universidade Federal de Itajubá; Excen; Fupai. 2012. 315p.

PINZON C., Jaime D. et al. Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete-Universidad Distrital Francisco José de Caldas. **Rev. esc.adm.neg.** Bogotá, n. 77, p. 186-200, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602014000200010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 25 de maio 2019.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues. A gestão de energia deve estar além da conta mensal de eletricidade. **Revista AdNormas**, [s.l], v 1, n. 20, set. 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/18/a-gestao-de-energia-deve-estar-alem-da-conta-mensal-de-eletricidade/>>.

PROCEL. **Relatório de Resultados do Procel 2015: ano base 2014**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf?1>. Acesso em 28 de out. de 2019.

_____. **Manual de Iluminação**, 2011. 54 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO++PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154>. Acesso em 26 de fev. de 2019.

_____. **Manual de Iluminação**, 2002. 36 p. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf>. Acesso em 20 de mar. de 2019.

PROCEL INFO. **Centro brasileiro de informação de eficiência energética**. 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA%7D>>. Acesso em 20 de mar. 2019

_____. **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**. 2019. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PUCCINI, Abelardo de Lima. **Matemática financeira: objetiva e aplicada**. 9.ed. - São Paulo: Elsevier, 2011.

PUCCINI, Ernesto Coutinho **Matemática financeira e análise de investimentos** 3. ed. rev. atual. – Florianópolis : Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília] : CAPES : UAB, 2016. 202p.

REIS, Lineu Belico dos; SILVEIRA, Semida. **Energia Elétrica para o desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 288 p.

REIS, Tiago. **Brasil dá adeus à lâmpada incandescente**. Reportagem para Procel Info. 2016. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/Clipping_ProcelInfo_2016-07-01.pdf>. Acesso em 20 de fev. de 2019.

RIASCOS, L. A. M.; PALMIERE, S. E.. Energy Efficiency and Fire Prevention Integration in Green Buildings. **Ieee Latin America Transactions**, S.l, v. 13, n. 8, p.2608-2615, ago. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7332139&tag=1>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

REZENDE, Débora; LISITA, Orlando. Fundamentos para projetos luminotécnicos comerciais: enfoque em livrarias. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.1-21, 29 ago. 2014. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v9i1.25841>. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007389.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

ROBERTO, Thais Jeniffer; SCHULTZ, Edson Luiz. **Estudo comparativo de Sistemas de iluminação Pública: Lâmpadas LED, Lâmpadas de indução e Lâmpadas a vapor de sódio**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420. 2017. Disponível em: < <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/268/149>>. Acesso em: 20 de mar. 2019.

RODRIGUES, Cristiana; BENINCÁ, Letiane; Araújo, Edson de. **Eficiência Energética nas Edificações: Programa Brasileiro de Etiquetagem - Procel Edifica**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5. Passo Fundo/RS. 2016. p. 1 - 6. Disponível em: <https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_36.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

ROMÉRO, Marcelo A; REIS, Lineu B. **Eficiência Energética em edifícios**. São Paulo: Editora Manole Ltda. 195 p.

ROSITO, Luciano Haas. **Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil**, 2009. Disponível em:< https://www.fne.org.br/upload/documentos/projetos/iluminacao-publica/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf>. Aceso em 20 de fev. de 2019.

SAIDEL, M. A.; FAVATO L. B.; MORALES C. **Indicadores energéticos e ambientais: Ferramenta importante na gestão da energia elétrica**. Departamento de Energia e Automação elétricas, USP, São Paulo, 2005.

SALOMÃO, Thais Mazziotti. **Eficiência Energética: Projetos Luminotécnicos em plantas industriais**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-30112010-150117/publico/Dissertacao_Thais_Maziotti_Salomao.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2019.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Matemática Financeira: aplicações à análise de investimentos**. 5 ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2010, 304 p.

_____. **Matemática Financeira: aplicações à análise de investimentos**. 3 ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2002, 364 p

SANTOS, Daiane Babireski dos. **Uma Análise Comparativa da Eficiência Energética de Lâmpadas LED E Fluorescentes aplicadas a ambientes internos**. 2014. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/291.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

SANTOS, Rodolfo Esmarady Rocha dos. **A contribuição da conservação de energia elétrica em instalações residenciais e seu impacto no planejamento da expansão da geração futura, com base na análise do Programa de Eficiência Energética - PEE desenvolvidas pelas concessionárias de energia elétrica no Brasil**. 2018. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá - Sp, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/157063/santos_rer_dr_guara.pdf?sequence=9&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Plano energético do Rio Grande do Sul 2016/2025**. Porto Alegre: [s.e], 2016. 513 p. Disponível em: <<https://minasenergia.rs.gov.br/plano-energetico>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SILVA, Cíntia Gonçalves Mendes da. **Diagnóstico sobre utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) promotoras da eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-30042008-163006/fr.php>>. Acesso em: 25 mar. 2019

SILVA, Diogo Aparecido Lopes et al. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 38, n. 1, p.185-193, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622014000100018>.

TOLEDO JUNIOR, Itys Fides Bueno de. **Estudos de Viabilidade Econômica**. 5. ed. Mogi das Cruzes - Sp: Assessoria Escola, 1988. 166 p.

VLACHOGIANNI, Thomais; VALAVANIDIS, Athanasios. *Energy and Environmental Impacto n the Biosphere Energy Flow, Storage and Conversion in Human Civilization*. **American Journal of Educational Research**. Vol. 1, edição 3. 2013. Páginas 68-78. DOI: 10.12691/education-1-3-2. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/education/1/3/2/index.html>>. Acesso em 20 agosto 2018.

XAVIER, Paulo André Carvalho. **Avaliação das características Elétricas de Reatores Eletrônicos utilizados em Lâmpadas Fluorescentes Tubulares**. 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília/df, 2005. Disponível em: <http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/Dissertacao_PauloAndre.pdf>. Acesso em jan. de 2019.

WASCHEVICZ, Juliana Damasio. **Análise da eficiência energética da envoltória e de diferentes tipos de sistemas de condicionamentos de ar em edificações vertical comercial em Porto Alegre/RS**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Mecânica, Unisinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/5984/Juliana+Damasio+Waschevicz_.pdf;jsessionid=9BB5D675CBCFBF09F83AB63B12175A72?sequence=1>. Acesso em: 10 nov. 2018.

YAMACHITA, Roberto Akira; HADDAD, Jamil; DIAS, Marcos Vinícius Xavier. Iluminação. In: FUPAI. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá: Fupai, 2006. Cap. 7. p. 213-246.

Catálogos de Fabricantes:

GE. **Catalogo de Produtos 2013**. Disponível em: <<http://www.eiblda.pt/media/docs/GE%20PL2013.pdf>>. Acesso em maio de 2019.

KIAN. **Catalogo de Produtos 2019**. Disponível em: <<http://www.kian.com.br/phocadownload/catalogo-produtos-kian.pdf>>. Acesso em maio de 2019.

LORENZENTTI. **Catalogo de iluminação**. 2017. Disponível em: <http://www.lorenzetti.com.br/images/uploads/produtos/-8586916220914148029_catalogo_iluminacao_nov_17_.pdf>. Acesso em maio de 2019. Acesso em maio de 2019.

SYLVANIA. **Soluções em Iluminação.** 2010. Disponível em: <http://www.metaeletrica.com.br/pdfs/Iluminacao_e_LED/Catalogo_SYLVANIA.pdf>. Acesso em maio de 2019.

OSRAM. **Catalogo de Produtos 2019.** Disponível em: <https://www.osram.com.br/ecat/L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_3122071/PP_LATAM_BR_eCat/>. Acesso em maio de 2019.

_____. **Catalogo de Produtos 2013.** Disponível em: <<http://www.alceletrica.com.br/pdf/Osram%20catlogo-geral-2013---lmpadas-fluorescentes-tubulares-e-circulares.pdf>>. Acesso em maio de 2019.

OUROLUX. **Super Led: Alta Potência.** 2019. Disponível em: <http://www.Ourolux.com.br/Adm/userfiles/20190221124145ALTA_POTENCIA-17w-30w_pdf>. Acesso em maio de 2019.

PHILIPS Lighting. **Standard LED bulbs.** Nov. 2018. Disponível em: <http://www.assents.lighting.philips.com/content/PhilipsLighting/fp929001863392-pss-pt_br>. Acesso em maio de 2019.

_____. **Essential LED tubes T8.** 2019. Disponível em: <https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001194572-pss-pt_br>. Acesso em maio de 2019.

PHILIPS. **Lâmpadas Elétricas (Catálogos).** Disponível em: <<https://docplayer.com.br/4492854-Philips-lampadas-eletricas-catalogos.html>>. Acesso em maio de 2019.