



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTOS DE ENGENHARIA – CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS DUARTE DE ALMEIDA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À INSTITUIÇÃO RELIGIOSA NO
MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

CARAÚBAS-RN

2019

LUCAS DUARTE DE ALMEIDA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À INSTITUIÇÃO RELIGIOSA NO
MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Msc. Daniel Carlos De Carvalho Crisóstomo.

CARAÚBAS-RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

A447e Almeida, Lucas Duarte de.
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À INSTITUIÇÃO
RELIGIOSA NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN / Lucas
Duarte de Almeida. - 2019.
90 f. : il.

Orientador: Daniel Carlos De Carvalho
Crisóstomo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2019.

1. Eficiência Energética. 2. Qualidade de
Energia. 3. PBE. I. Crisóstomo, Daniel Carlos De
Carvalho , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

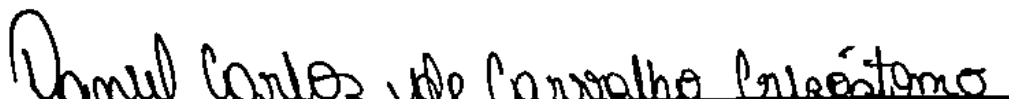
LUCAS DUARTE DE ALMEIDA

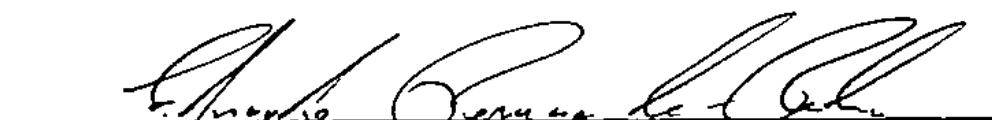
**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À INSTITUIÇÃO RELIGIOSA NO
MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

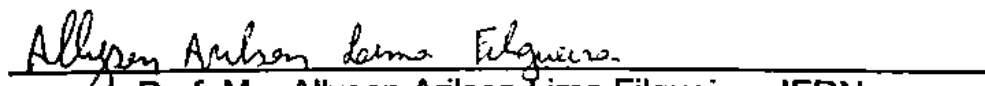
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Aprovada em: 11/03/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo – UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Ednardo Pereira da Rocha – UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Me. Allyson Arilson Lima Filgueira - IFRN
Segundo Membro

A **Sofia** e **Camila**, minhas princesas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todos que contribuíram para a realização deste trabalho, tenha sido de forma direta ou não, agradeço especialmente a alguns destes.

Em primeiro lugar agradeço a toda minha família, pelo apoio e compreensão durante esta jornada conhecida como graduação, agradeço em especial a minha mãe, Jacira Duarte, ao meu pai, Regivaldo Almeida, a minha tia, Maria da Conceição, ao meu padrinho, Aécio Roque.

Agradeço a minha esposa Thaysa Mota, por todo o carinho, compreensão e principalmente apoio durante toda a trajetória feita ao longo da graduação.

Ao meu orientador Prof. Me. Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo, por ter aceitado o papel fundamental de orientador deste trabalho, mostrando sempre presente e disponível nos momentos que foram necessários.

A todos os meus professores durante esta graduação, pelo conhecimento que me foi compartilhado ao longo dos últimos anos, em especial aos professores, Ednardo Pereira da Rocha, Idalmir de Souza Queiroz Júnior, Issac Barros Tavares da Silva, Francisco De Assis Brito Filho e as professoras, Melinda Cesianara Silva da Cruz e Tânia Luna Laura

Aos meus colegas de curso e amigos, Alcidemar Galdino, Flaviano Guerra, Gesi Gomes, João Udenilson, Max Alexandre, Pedro Bruno, Gleidson Leite, Jakson Silva, Ícaro André, Thiago Pompilio e todos os outros companheiros de jornada que de alguma forma estiveram comigo nos estudos, trabalhos, ou mesmo em simples conversas, pessoas estas que tornaram o curso mais leve e agradável, e que a amizade construída será levada para a vida.

Aos amigos, Rafael Alex, Erika Karla, Guilherme Kesselring, Ivana Crisóstomo e Leonardo Garcia, que sempre me apoiaram e estiveram disponíveis para ajudar-me nos momentos difíceis da graduação.

“A menos que tenha perseverança para alcançar, não vale a pena trabalhar.”

Walter C Dornez – Hellsing Ultimate.

RESUMO

O presente trabalho consiste em propor medidas a serem adotadas para o melhoramento do nível da eficiência energética e da qualidade energia elétrica no prédio da Instituição Religiosa Igreja Matriz de São José situada no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, com o objetivo principal de redução de custo financeiros e ambientais. Primeiramente foram realizadas medições dos níveis de iluminância, tamanho de ambientes e índices de qualidade de energia, bem como o levantamento de dados relacionados a carga instalada e perfil de utilização destas dentro da Instituição. Assim durante a realização do trabalho constatou-se que alguns sistemas não se apresentam dentro das padronizações normativas, o que motivou a elaboração de medidas de correção para estes sistemas. Diante da posse dos dados obtidos através das medições estes foram analisados através de softwares: de projeto luminotécnico, com a finalidade de correção dos sistemas de iluminação; planilhas eletrônicas, para análises de custo benefício relacionadas as mudanças propostas; de análise de dados gráficos, para a visualização gráfica dos índices de qualidade de energia elétrica. Com relação aos indicadores de qualidade energia notou-se que a Instituição apresenta problemas pontuais que podem ser corrigidos de forma a se instalar um filtro harmônico ou mesmo um banco de capacitores, porém necessita-se de medições mais amplas para a determinação correta desta correção. Por fim, também se realizou a classificação dos sistemas quanto ao seu nível de eficiência energética utilizando-se o método disposto no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).

Palavras chave: Eficiência Energética, Qualidade de Energia, PBE.

ABSTRACT

The main purpose of this paper consists in proposing actions to be adopted to improve the level of energy efficiency and the quality of electric power in the building of the Religious Institution Igreja Matriz de São José located in the county of Mossoró, Rio Grande do Norte, with the main objective of reducing financial and environmental costs. First, measurements of illuminance's levels, build areas and indexes of energy quality were performed, as well as the data acquisition related to the installed load and the Institution's consume profile. Thus during the work was realized that some systems do not conform to norms and standards, which motivated the elaboration of corrective projects for these systems. By possession of the data obtained through the measurements, these were analyzed through softwares: of lighting design, with the purpose of correction of the lighting systems; spreadsheets, for cost-benefit analyzes related to the proposed changes; and graphical data analysis, for the graphical visualization of the electric power quality's indexes. About the energy quality indicators, it was noticed that the Institution presents specific problems that can be corrected in order to install a harmonic filter or even a bank of capacitors, but more extensive measurements are needed for the correct determination of this correction. Finally, the systems were classified according to their level of energy efficiency using the method established in the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Commercial Buildings, Services and Public Buildings (RTQ-C).

Keywords: Energy efficiency, power quality, PBE.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Iluminância	24
Equação 2 - Eficiência Luminosa	24
Equação 3 - Fator Local	25
Equação 4 - Fluxo Total	27
Equação 5 - Número de Luminárias	27
Equação 6 - Razão de Cavidades do Ambiente	35
Equação 7 - Coeficiente de Performance	36
Equação 8 - Equivalente numérico	42
Equação 9 - Fator de Desequilíbrio de Tensão	48
Equação 10 - Coeficiente β	48
Equação 11 - Valor Presente Líquido	54
Equação 12 - <i>Payback</i> Simples	55
Equação 13 - <i>Payback</i> Descontado	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo programas de eficiência energética no Brasil	20
Figura 2 - Iluminância de uma fonte de luz	23
Figura 3 - Cavidades do recinto.....	25
Figura 4 - Fator de utilização obtido em catálogo de fabricante	26
Figura 5 - Fatores de manutenção.....	27
Figura 6 - Especificações técnicas relativas a uma lâmpada fluorescente tubular	27
Figura 7 - Lâmpadas incandescentes	28
Figura 8 - Lâmpadas de descarga	29
Figura 9 - Lâmpadas LED	29
Figura 10 - Características gerais das lâmpadas I.....	29
Figura 11 - Características gerais das lâmpadas II	30
Figura 12 - Classificação das luminárias quanto a radiação do fluxo luminoso	30
Figura 13 - Classificação das luminárias	31
Figura 14 - Representação da depreciação do fluxo luminoso do sistema.....	32
Figura 15 - Curva típica de mortalidade de lâmpadas	32
Figura 16 - Exemplo de limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício	34
Figura 17 - Exemplo de limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício	34
Figura 18 - Esquema do sistema de refrigeração com os equipamentos básicos	38
Figura 19 - Melhorias em sistemas de climatização relativas à estrutura	40
Figura 20 - Melhorias em sistemas de climatização relativas ao sistema	41
Figura 21 - Melhorias em sistemas de climatização relativas a regulação e controle.....	41
Figura 22 - Equivalentes numéricos para os níveis de classificação de eficiência energética utilizados nos programas PBE e PROCEL	42
Figura 23 - Espessura mínima de isolamento de tubulações para sistemas de refrigeração	42
Figura 24 - Principais arranjos de instalação de ventiladores axiais	44
Figura 25 - Formas de pás do ventilador radial	45
Figura 26 - Implicações de alguns distúrbios na QEE	50
Figura 27 - Etapas de um diagnóstico energético.....	52
Figura 28 - Modelo de sistema de gestão de energia seguindo a ISO 50001	53

Figura 29 - Exemplo de fluxo de caixa.....	54
Figura 30 - Planta baixa da Instituição	56
Figura 31 - Luxímetro digital Minipa MLM-1011	57
Figura 32 - Analisador de energia elétrica politerm TES-3600.....	59
Figura 33 - Esquema de ligação do medidor de energia TS-3600.....	59
Figura 34 - QDFL cozinha.....	61
Figura 35 - QDFL auditório	61
Figura 36 - QGDFL	62
Figura 37 - QDFL templo	62
Figura 38 – Detalhes QDFL templo (a) etiqueta identificação dos circuitos (b) DPS (c) DDR	63
Figura 39 - QGD da Instituição	63
Figura 40 - Lâmpada escolhida para novo projeto luminotécnico	65
Figura 41 - Representação 3D dos ambientes sob estudo	65
Figura 42 - Representação de cores falsas em 3D da secretaria durante o dia	66
Figura 43 - Representação de cores falsas em 3D da secretaria durante a noite	67
Figura 44 - Representação de cores falsas em 3D da sala do dízimo durante o dia	67
Figura 45 - Representação de cores falsas em 3D da sala do dízimo durante a noite	68
Figura 46 - Disposição das luminárias: secretaria e sala do dízimo	68
Figura 47 - Medições ponto-a-ponto da secretaria e da sala do dízimo	69
Figura 48 - Representação de cores falsas em 3D da Sala do padre durante o dia.....	69
Figura 49 - Representação de cores falsas em 3D da sala do padre durante a noite	70
Figura 50 - Disposição das luminárias: sala do padre	70
Figura 51 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre	71
Figura 52 - Representação de cores falsas em 3D da sala de reunião durante o dia	71
Figura 53 - Representação de cores falsas em 3D da sala de reunião durante a noite	72
Figura 54 - Disposição das luminárias: sala de reunião	72
Figura 55 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre	73
Figura 56 - Representação de cores falsas em 3D do auditório durante o dia.....	73
Figura 57 - Representação de cores falsas em 3D do auditório durante a noite.....	74
Figura 58 - Disposição das luminárias: auditório	74
Figura 59 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre	74
Figura 60 - Níveis de DPIL para igreja de acordo com o RTQ-C.....	79
Figura 61 - Isolação térmica do sistema de climatização	80

Figura 62 - Conexão do Analisador de energia ao QGD.....	80
Figura 63 - Comportamento das tensões ao longo das medições	81
Figura 64 - Comportamento das correntes ao longo das medições	82
Figura 65 - Detalhe Corrente Ib.....	82
Figura 66 - Comportamento do fator de potência ao longo das medições	83
Figura 67 - Comportamento das potências ao longo das medições.....	84
Figura 68 - Comportamento da frequência ao longo das medições	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da carga térmica de um ambiente.....	37
Tabela 2 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220)	48
Tabela 3 - Faixas de variações máximas de frequência.....	49
Tabela 4 - Iluminância: comparação entre valores medidos e valores referência	64
Tabela 5 - Lâmpadas utilizadas em cada ambiente	64
Tabela 6 - Proposta de substituição de lâmpadas	75
Tabela 7 - Proposta de substituição de lâmpadas	76
Tabela 8 - Equipamentos do sistema de refrigeração	76
Tabela 9 - Equipamentos para substituição dos atuais	76
Tabela 10 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de refrigeração.	77
Tabela 11 - Equipamentos do sistema de ventilação	77
Tabela 12 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de ventilação.....	78
Tabela 13 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de ventilação.....	78
Tabela 14 - Cálculo da potência limite	79

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	18
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	19
3.1.1.	Eficiência Energética no Brasil	19
3.2.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	22
3.2.1.	Sistemas de Iluminação.....	22
3.2.1.1.	Objetivos do sistema de iluminação	23
3.2.1.2.	Luminotécnica: Norma e definições.....	23
3.2.1.3.	Métodos de cálculo luminotécnico	24
3.2.1.4.	Lâmpadas e luminárias	28
3.2.1.5.	Manutenção	31
3.2.1.6.	Eficiência em sistemas de iluminação	33
3.2.2.	Sistemas de Climatização.....	35
3.2.2.1.	Objetivos do sistema de climatização	35
3.2.2.2.	Norma e definições.....	35
3.2.2.3.	Métodos de dimensionamento.....	37
3.2.2.4.	Ar condicionados.....	38
3.2.2.5.	Manutenção	39
3.2.2.6.	Eficiência em sistemas de climatização	39
3.2.3.	Sistemas de Ventilação	43
3.2.3.1.	Objetivos	43
3.2.3.2.	Norma e Definições.....	43
3.2.3.3.	Ventiladores.....	44
3.2.3.4.	Eficiência energética em sistema de ventilação.	45
3.3.	QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE).....	46
3.3.1.	Estabilidade de tensão.....	48
3.3.2.	Fator de Potência.....	49
3.3.3.	Estabilidade de Frequência	49
3.3.4.	Melhoramento da QEE	49

3.4.	SISTEMA DE GESTÃO ENERGÉTICA.....	51
3.4.1.	ABNT NBR ISO 50001:2018	52
3.5.	ANÁLISE ECONÔMICA.....	53
4.	METODOLOGIA	56
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	56
4.2.	ANÁLISES <i>IN LOCO</i>	57
4.3.	PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	57
4.4.	ESTIMATIVA DE CONSUMO NO USO FINAL.....	58
4.5.	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS	58
4.6.	ÍNDICES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE).....	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1.	RESULTADOS DAS VISITAS.....	61
5.2.	ANÁLISE DO PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	64
5.3.	ANÁLISE DA ESTIMATIVA DO CONSUMO NO USO FINAL	75
5.3.1.	Sistemas de Iluminação.....	75
5.3.2.	Sistemas de Climatização e Refrigeradores	76
5.3.3.	Sistemas de Ventilação	77
5.4.	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO.....	78
5.4.1.	Sistemas de Iluminação.....	78
5.4.2.	Sistemas de Climatização.....	79
5.5.	ANÁLISE DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)..	80
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
6.1.	CONCLUSÕES.....	86
	REFERÊNCIAS	88

1. INTRODUÇÃO

O constante aumento da população mundial acarreta numa crescente demanda por energia elétrica, o que implica no aumento tanto dos custos de investimentos quanto nos custos ambientais. Desta maneira o consumo eficiente de energia possui, cada vez mais, papel de destaque para minimização dos impactos anteriormente citados, sendo ainda um método rápido, limpo e eficaz no combate ao desperdício energético (JEGUNDO, 2012).

Castro (2015) define eficiência energética como uma atividade técnico-econômica que possui como finalidade a otimização na utilização da matéria prima fornecida pela natureza. Assim este assunto carrega fatores importantes economicamente, ambientalmente e também socialmente para um país.

De acordo com Vale (2016), devido a crescente conscientização acerca do assunto “Eficiência Energética”, normas e padronizações tornam-se ferramentas imprescindíveis no gerenciamento do consumo energético, pois para unidades consumidoras um custo que deve ser bem utilizado é o consumo de energia elétrica. Assim a eficiência energética deve ser promovida de forma a utilizar-se conceitos da engenharia, administração e economia em conjunto. Onde a variedade de sistemas provoca uma gama de metodologias a serem analisadas para obtenção de um melhor desempenho energético.

O Brasil tem enfrentado recentes crises hídricas, o que tem forte influência sobre a produção da energia elétrica, visto que sua matriz energética é predominante hidráulica. Devido à escassez de recursos hídricos, cada vez mais termelétricas vem sendo acionadas para suprir a demanda, o que encarece o custo da energia gerada, aumentando assim o custo para o consumidor final (CASTRO, 2015).

De forma geral consumidores finais de energia elétrica apresentam falhas em suas instalações no tocante a eficiência e qualidade de energia, o que acarreta perdas e dispêndio financeiro desnecessário. Medidas para obtenção de uma melhor eficiência no consumo, que vão de um simples monitoramento das cargas, à correção de fator de potência da instalação, necessitam de um estudo prévio da atual situação da unidade para possíveis melhorias ou mesmo a implementação de um Sistema de Gestão Energética.

Tendo em vista os problemas explicitados anteriormente, juntamente com a crise econômica enfrentada pela sociedade brasileira, torna-se imprescindível a maior redução possível nos gastos, porém sem comprometer qualidade, conforto e segurança aos usuários. Essa redução poderá ser efetuada através de estudos nas unidades consumidoras, para análises e propostas de mudanças a fim de um consumo eficiente, acarretando assim economia de gastos.

Metodologias de eficiência energética, além de trazer redução nos custos ao consumidor, possuem também como resultado o alívio da rede elétrica da concessionária, visto que medidas como: correção de fator de potência, reduz o fluxo de reativo nas linhas; diminuição na demanda contratada, reduz a potência obrigatória disponível ao consumidor; entre outros fatores.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem seus objetivos divididos em duas partes, sendo um objetivo geral, e cinco objetivos específicos, sendo estes pré-estabelecidos com a finalidade de alcançar o objetivo geral.

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o consumo e qualidade de energia das instalações elétricas da Igreja Matriz de São José, em Mossoró, propondo melhorias que resultem na redução dos custos e perdas, ou seja, uma maior eficiência energética.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento das cargas elétricas da Instituição;
- Identificar perfil de utilização do sistema elétrico;
- Identificar os principais locais de perdas e desperdícios;
- Realizar novo projeto luminotécnico utilizando DIALux para principais ambientes;
- Propor medidas de consumo eficiente a serem tomadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo a seguir constrói os fundamentos teóricos necessários a compreensão e desenvolvimento do trabalho a ser executado. Inicialmente são introduzidos os conceitos e definições básicas acerca do assunto Eficiência Energética, bem como um breve histórico dos programas voltados ao tema abordado e os fatores que possuem maior influência sobre este. Definições sobre qualidade de energia são também apresentados e seus métodos de análise.

3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Maheswaran et. al. (2012) o termo “Eficiência Energética” faz referência ao desempenho de sistemas energéticos como por exemplo iluminação, aquecimento, acionamento de motores, entre outros, podendo esta ser medida pela razão entre a quantidade de energia obtida pela quantidade de energia utilizada (por exemplo lumens por watts).

Ainda de acordo com Maheswaran et. al. (2012), uma maior eficiência pode ser obtida basicamente através de três metodologias sendo estas: manutenção, troca e melhoramento de equipamentos já instalados, a fim de diminuir-se o consumo de energia aumentando assim a produtividade e o retorno econômico.

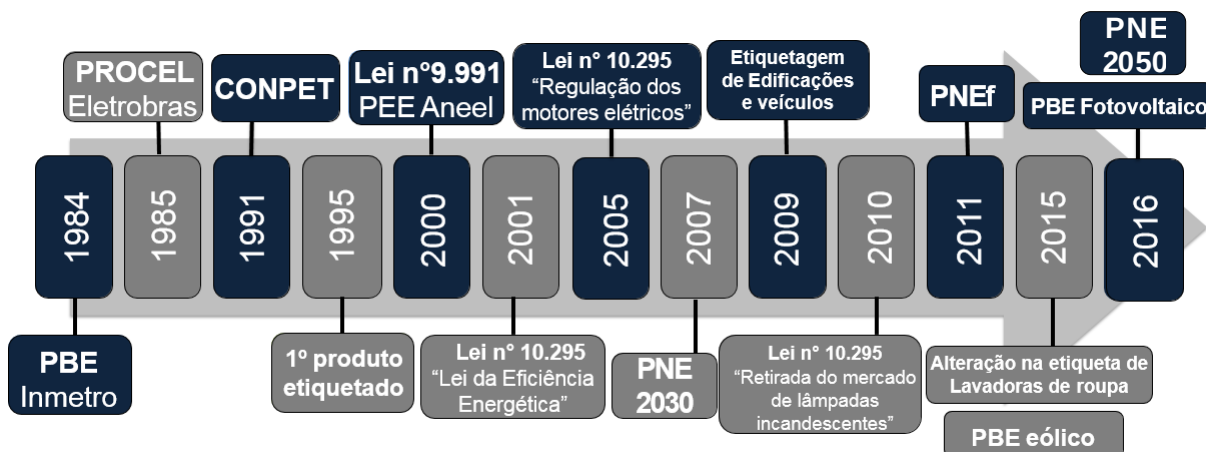
A abordagem ao tema tomou ênfase principalmente após a década de 70, devido ao colapso do petróleo ter causado uma crise no suprimento de energia. Desta maneira metodologias de gerenciamento e utilização dos recursos passaram a ser amplamente utilizadas por países desenvolvidos, inclusive estes organizaram-se em torno de projetos para um consumo mais eficiente, e procura por fontes alternativas ao petróleo e seus derivados (CASTRO, 2015).

3.1.1. Eficiência Energética no Brasil

No Brasil a questão começou a receber atenção em 1981, com o primeiro programa voltado ao consumo energético no país, o CONSERVE, que possuía como foco o setor industrial. A partir de então outros programas, leis e normas foram criados, até que em 2001, a Lei nº 10.295/2001 foi promulgada, conhecida como Lei da Eficiência Energética, esta é o marco regulatório da eficiência energética no país, tratando sobre a política nacional de conservação e uso racional da energia, alocando de forma correta e sustentável os recursos energéticos (ANEEL, 2013).

Tendo em vista os programas e planos voltados a eficiência energética no Brasil, a Figura 1 ilustra uma linha do tempo com os acontecimentos de maior destaque no cenário nacional. Pode-se perceber ainda na Figura 1 que os programas voltados a eficiência energética cresceram de forma gradativa com o tempo.

Figura 1- Linha do tempo programas de eficiência energética no Brasil



Fonte: Adaptado de Guerra, 2017.

Assim analisando-se a Figura 1 tem-se:

- 1984 – Criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE): De responsabilidade do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), realiza a classificação dos produtos por níveis de eficiência sendo nível A o mais eficiente, e o nível C ou nível G o menos eficiente (depende do produto), onde tal classificação é divulgada através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que classifica os produtos em faixas coloridas. (ANEEL, 2013);
- 1985 – Criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL): Publicado pela Eletrobrás, o programa possui um selo de fácil reconhecimento a nível nacional, sendo este afixado em eletrodomésticos novos bem como impresso na ENCE dos produtos de eficiência nível A a fim de indicar ao consumidor os produtos que possuem melhor eficiência dentro de sua categoria (ANEEL, 2013). O programa é dividido em nove subprogramas com a finalidade executar diferentes projetos de eficiência energética em diferentes áreas públicas e privadas (GUERRA, 2017);
- 1991 – Criação do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET): Criado pelo Governo Federal com o objetivo de incentivar o uso eficiente de recursos advindos de fontes não renováveis,

aplicados a diversos setores com foco nos setores residencial, industrial e de transportes (CONPET, 2012). O selo do CONPET assim como o selo PROCEL está estampado na ENCE dos equipamentos que possuem o menor consumo de combustíveis (GUERRA, 2017).

- 1995 – Primeiro produto etiquetado pelo PBE, em um refrigerador (GUERRA, 2017);
- 2000 – Promulgação da Lei nº9.991/2000: Esta lei regulamenta a obrigatoriedade dos já existentes Programas de Eficiência Energética das Distribuidoras de Energia (PEE), fixando em no mínimo 0,5% da Receita Líquida Operacional (ROL) o valor aplicado pelas distribuidoras em ações que fomentem a redução do consumo e combate ao desperdício de energia elétrica (ANEEL, 2013).
- 2001 – Lei nº 10.295/2001 foi promulgada, conhecida como Lei da Eficiência Energética, como falado anteriormente esta lei representa o marco regulatório da Eficiência Energética no Brasil, concedendo ao poder executivo determinar níveis mínimos de eficiência energética e máximos de consumo energético de máquinas e equipamentos. Através do decreto nº 4.059/2001 foi criado o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) para pôr em prática a Lei da Eficiência Energética (GUERRA, 2017);
- 2005 – O CGIEE determina os níveis mínimos de rendimento nominal a serem atendidos pelos motores de indução trifásica (GUERRA, 2017);
- 2007 – Baseando-se na perspectiva de longo prazo (horizonte de 2030) o Ministério de Minas e Energia (MME) e a Empresa Pesquisa Energética (EPE) publicaram o Plano Nacional de Energia (PNE 2030) que compreende análises e pesquisas realizadas no sentido de fornecer subsídios à formulação de uma estratégia para a expansão da oferta de energia, com uso integrado e sustentável dos meios disponíveis, tendo em vista o atendimento a diferentes cenários conforme o aumento da demanda (EPE, 2019);
- 2009 – PBE foi estendido a veículos e edificações, onde para veículos são considerados a eficiência no consumo, emissão de gases poluentes e autonomia na cidade e estrada, e para as edificações são consideradas a eficiência dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, e também a envoltória da edificação (GUERRA, 2017);
- 2010 – O CGIEE determina a retirada de lâmpadas incandescentes do mercado (GUERRA, 2017);

- 2011 – Publicação do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf): Visando a eficiência do PNE 2030, o PNEf, que tem como objetivo auxiliar aos tomadores de decisão a chegar aos objetivos impostos com o PNE 2030 (GUERRA, 2017);
- 2015 – Alteração na ENCE das lavadoras, onde além da eficiência energética a eficiência na lavagem, centrifugação e consumo de água também passaram a ser considerados (GUERRA, 2017);
- 2015 – Regulamentada a adesão voluntária da certificação, atendendo as normas IEC 61400-11 e ABNT NBR IEC 6140 (PROCEL INFO, 2017);
- 2016 – Tendo em vista os acontecimentos nacionais e mundiais voltados ao setor energético o MME/EPE publicaram seu segundo estudo a longo prazo o PNE 2050, que possui os mesmos objetivos do PNE 2030, porém com respostas aos eventos ocorridos desde 2006 e visando um horizonte de 2050 (EPE, 2019);
- 2016 – Aperfeiçoamento do PBE voltado a painéis fotovoltaicos e adesão de mais laboratório para certificação e etiquetagem dos painéis (PROCEL INFO, 2017).

3.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Castro (2015) afirma que edificações podem ser mais eficientes que outras quando estas propiciam as mesmas condições ambientais, porém com menor custo energético. Tal custo reduzido é conseguido com a diminuição do consumo nos sistemas de uso final, tais como iluminação, refrigeração, aquecimento, bombeamento de água, entre outros.

3.2.1. Sistemas de Iluminação

O padrão IEEE 739-1995 (IEEE, 1996), define que o sistema de iluminação é a derivação de um circuito elétrico composto por lâmpada, reator, luminária, proteção, dispositivos de controle bem como todo o ambiente a ser iluminado.

Apesar dos sistemas de iluminação não possuírem os maiores consumos dentre os sistemas de uso final, estes são muito importantes devido a estarem presentes na quase totalidade da vida moderna. Sendo assim ao dimensionar-se um sistema de iluminação eficiente não deve ser considerado apenas os fatores econômicos, mas também o perfil de utilização do ambiente, considerando muitos fatores não elétricos (IEEE, 1996).

Desta maneira podem ser elencadas fatores importantes para o entendimento do sistema bem como seu uso eficiente.

3.2.1.1. Objetivos do sistema de iluminação

O objetivo de maior importância para o sistema de iluminação é promover boas condições de visão associadas a visibilidade, segurança e orientação dentro do ambiente. Tarefas secundárias podem ser citadas como ambientação utilizando a luz como principal instrumento (HOLANDA, 2017).

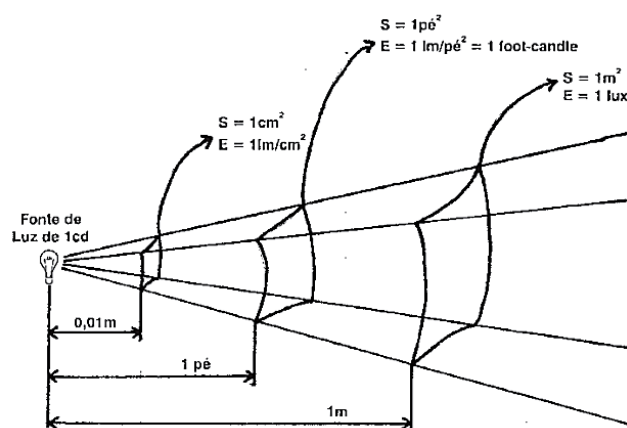
3.2.1.2. Luminotécnica: Norma e definições

Em 2013 foi publicada a norma ABNT ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho, esta determina os níveis mínimos de iluminância para cada ambiente de trabalho bem como para realização de tarefas desempenhadas de maneira eficiente, segura e confortável visualmente, além dos os fatores que devem ser considerados para dimensionamento de sistemas de iluminação (ABNT, 2013). Porém esta norma não determina método de dimensionamento a ser utilizado.

Algumas definições a respeito da luz devem ser de conhecimento para o dimensionamento e melhoramento do sistema:

- **Fluxo Luminoso (ϕ):** Potência total de uma fonte de luz capaz de estimular a retina no sentido a produzir sensação de luminosidade, dada em lúmens [lm] (HOLANDA, 2017).
- **Iluminância (E):** Fluxo luminoso total incidente na área de uma superfície, ou ainda, a densidade superficial de fluxo luminoso recebida por uma superfície, sendo dada em lux [lx] (MARQUES et al., 2007). A Figura 2 ilustra a representação da iluminância de uma fonte de luz bem como a Equação (1) seu método de cálculo.

Figura 2 - Iluminância de uma fonte de luz



Fonte: Marques et al., 2007.

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{d\phi}{dS} \text{ [lx]} \quad (1)$$

- **Temperatura de cor:** Parâmetro utilizado para diferenciar a sensação da tonalidade de cor das fontes de luz, medida em Kelvin [K], pode ser classificado como quente (temperatura abaixo de 3000K), neutra (temperatura entre 3000K e 4000K) ou fria (temperatura acima de 4000K), indicados para ambientes íntimos e aconchegantes, ambientes neutros, e ambientes formais, respectivamente (HOLANDA, 2017).
- **Índice de Reprodução de Cores (IRC):** Número de 0 a 100 que quantifica a qualidade da reprodução de cores de uma fonte de luz quando comparada a uma fonte padrão de mesma temperatura de cor, onde quanto mais próxima de 100 melhor a qualidade (MARQUES et al., 2007).
- **Eficiência Luminosa (η_w):** É a relação entre o fluxo luminoso (E) e a potência (P) da lâmpada sob análise, representando o rendimento da lâmpada, é dado por lumens por watt [lm/w] (MARQUES et al., 2007). Onde a Equação (2) representa matematicamente esta relação.

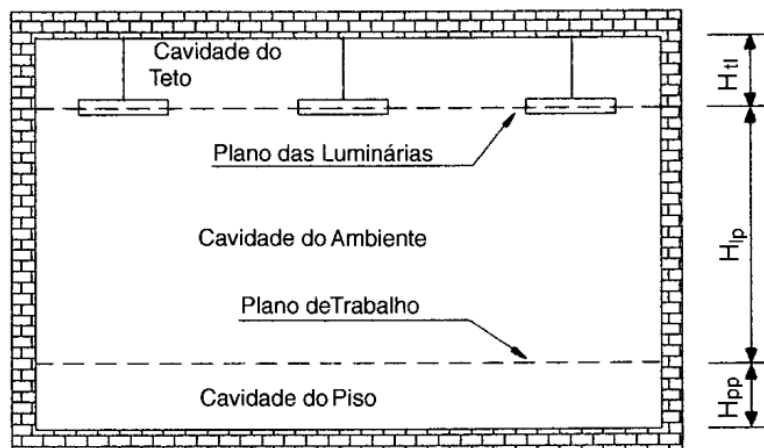
$$\eta_w = \frac{\phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

3.2.1.3. Métodos de cálculo luminotécnico

Para o dimensionamento de projetos de sistemas de iluminação existem diversos métodos que podem ser utilizados (IEEE, 1996), dentre os quais destacam três:

- Método dos Lúmens:** Segundo Fiorini (2006), este é o método mais utilizado pelos projetistas, neste método a quantidade de lâmpadas e luminárias é determinado pelo nível de iluminância do recinto levando em consideração as características do ambiente (dimensões e tipo) bem como as características dos equipamentos a serem utilizados.
- Método das cavidades zonais:** Assim como o método dos lúmens este método baseia-se nos níveis de iluminância do recinto para determinação da quantidade de lâmpadas e luminárias, porém além de dimensões e tipo de ambiente são também levadas em consideração as características de cavidades. Este método é amplamente difundido, porém como oferece um certo nível de complexidade de cálculos e alto padrão técnico ele é indicado para ambientes que possuem grandes portes de cavidades (FIORINI, 2006). A Figura 3 ilustra o conceito de cavidades de um ambiente, como os espaços vazios que causam perdas nos níveis de iluminação;

Figura 3 - Cavidades do recinto



Fonte: Mamede Filho, 1997 *apud* Fiorini, 2006.

- iii. Método ponto a ponto: Fiorini (2006) explica que este método é utilizado para determinação da iluminância em pontos determinados do ambiente, sendo de grande valia para aferição de distribuição luminosa visto que de acordo com a norma ABNT ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013), nos pontos de trabalho a iluminância não deve ser inferior a 70% da iluminância média. Ao mesmo tempo este método é utilizado para dimensionamento da iluminação suplementar (HOLANDA, 2017).

Como exposto o método dos lúmens é o mais amplamente utilizado assim torna-se interessante descrevê-lo, de acordo com Macintyre (2000) *apud* Vale (2016) para utilização deste método são necessários os seguintes valores:

- **Escolha do nível de iluminamento (E_m):** A norma ABNT ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013) determina os valores a serem utilizados para o nível de iluminância de acordo com o ambiente e tarefa visual a ser desempenhado, dado em lux por metro quadrado [lx/m^2].
- **Determinação do fator do local (K):** Este fator é calculado através das dimensões do recinto, onde a Equação (3) é utilizada para determinar o valor de K .

$$K = \frac{C \cdot L}{(C+L) \cdot A} \quad (3)$$

Onde: C = comprimento do local [m];

L = largura do local [m];

A = pé direito útil [m].

- **Escolha das lâmpadas e das luminárias:** Para Santos et al. (2006), na escolha das lâmpadas e luminárias, devem ser considerados os fatores de adequada iluminação com

relação ao plano de trabalho, o custo, manutenção, estética, índice de reprodução de cores (IRC), aparência visual e a sua funcionalidade.

- **Determinação do fator de utilização (F_U):** De acordo com Marques et al. (2007), é a razão do fluxo luminoso útil incidente sobre o plano de trabalho. Para determinação do F_U são necessários os valores de refletância do teto, paredes, piso ou plano de trabalho, bem como do fator do local (K). Os valores de refletância são dados de acordo com a cor da superfície e obedecem aos seguintes valores:

- Superfície escura com 10% de reflexão (1);
- Superfície média com 30% de reflexão (3);
- Superfície clara com 50% de reflexão (5);
- Superfície branca com 70% de reflexão (7).

Então monta-se um código de três algarismos e encontra-se nas tabelas fornecidas pelos fabricantes o valor do F_U , onde o primeiro algarismo corresponde ao índice de reflexão do teto; o segundo algarismo corresponde ao índice de reflexão das paredes; e o terceiro algarismo corresponde ao índice de reflexão do piso (MARQUES et al., 2007). A Figura 4 ilustra um exemplo de tabelas fornecidas pelo fabricante para determinação do F_U .

Figura 4 - Fator de utilização obtido em catálogo de fabricante

Modelo Embutir (2x16W/32W)									Modelo Embutir (2x16W/32W)								
K	773	751	573	531	353	331	131	000	K	773	751	573	531	353	331	131	000
0,60	0,53	0,40	0,51	0,34	0,40	0,34	0,34	0,30	0,60	0,43	0,33	0,41	0,29	0,33	0,29	0,29	0,25
0,80	0,61	0,48	0,57	0,42	0,48	0,41	0,41	0,36	0,80	0,50	0,39	0,48	0,35	0,39	0,35	0,35	0,31
1,00	0,67	0,54	0,63	0,48	0,53	0,47	0,46	0,42	1,00	0,54	0,45	0,52	0,40	0,45	0,39	0,39	0,36
1,25	0,73	0,59	0,69	0,53	0,59	0,52	0,51	0,48	1,25	0,60	0,48	0,56	0,45	0,49	0,44	0,43	0,41
1,50	0,77	0,63	0,72	0,57	0,63	0,57	0,56	0,51	1,50	0,63	0,51	0,59	0,48	0,52	0,47	0,47	0,44
2,00	0,83	0,69	0,78	0,63	0,69	0,63	0,62	0,58	2,00	0,67	0,56	0,63	0,52	0,57	0,51	0,51	0,48

Fonte: Marques et al., 2007.

- **Determinação do fator de manutenção (F_m):** Ou fator de perdas luminosas determina as perdas de iluminação da luminárias e lâmpadas devido ao acúmulo de sujeira e depreciação (HOLANDA, 2017). Tal fator poder ser determinado através da tabela Ilustrada pela Figura 5.

Figura 5 - Fatores de manutenção

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

Fonte: Marques et al., 2007.

- **Determinação do fluxo total (ϕ_T):** Para determinação do fluxo total necessário a um determinado ambiente utiliza-se a Equação (4).

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{F_U \cdot F_m} \quad (4)$$

Onde: S = área do ambiente [m²]

- **Cálculo do número de luminárias (N):** Para determinação do número de luminárias a serem dispostas no ambiente a Equação 5 é utilizada, esta representa a razão entre o fluxo total (ϕ_T) e o fluxo individual (ϕ_l) de cada luminária.

$$N = \frac{\phi_T}{\phi_l} \quad (5)$$

O fluxo individual da luminária é encontrado em tabelas fornecidas pelo fabricante, A Figura 6 ilustra um exemplo de tabela com as especificações técnicas de lâmpadas fluorescentes.

Figura 6 - Especificações técnicas relativas a uma lâmpada fluorescente tubular

Potência (W)	Fluxo Lumínoso (lm)	Diâmetro (mm)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Vida Média-na (hora)
14	1.350	16	4.000	85	20.000
16	1.070	25	4.100	66	12.000
20	1.060	38	5.520	70	12.000
28	2.900	16	4.000	85	20.000
32	2.950	25	4.100	80	20.000
40	2.700	38	5.250	70	12.000

Fonte: Marques et al., 2007.

- **Distribuição das luminárias:** Por fim, Holanda (2017) recomenda que o espaçamento entre luminárias seja o dobro do espaçamento entre as luminárias e a parede.

Uma outra forma de dimensionamento de projetos de iluminação é a utilização de *softwares* específicos para esta finalidade. Normalmente estes utilizam o método das cavidades zonais e método ponto a ponto para o cálculo do dimensionamento luminotécnico (FIORINI, 2006). Holanda (2017) sugere a utilização de softwares para o dimensionamento de sistemas de iluminação dentre eles o DiaLux destaca-se por apresentar maior facilidade aprendizado e ambiente mais amigável, bem como por possui diversos módulos de diversas fabricantes de luminárias e permitir executar o dimensionamento de forma integrada visualizando o edifício em questão como uma unidade só.

3.2.1.4. Lâmpadas e luminárias

Para IEEE (1996), uma lâmpada pode ser caracterizada de diversas formas quanto ao fluxo emitido, vida útil, manutenção, cor, potência, etc. Comumente estas são classificados pelo seu tipo de emissão de luz: incandescente, descarga e LED (*Light Emitter Diode*) (HOLANDA, 2017).

As lâmpadas incandescentes são compostas normalmente por um filamento de tungstênio dentro de um bulbo de vidro, seu princípio de funcionamento baseia-se no efeito Joule, onde ao ser percorrido por uma corrente elétrica o filamento eleva sua temperatura e passar a emitir luz visível, por este motivo apresentam altas perdas na forma de calor (FIORINI, 2006). A Figura 7 ilustra um modelo de lâmpada incandescente.

Figura 7 - Lâmpadas incandescentes



Fonte: Adaptado de OSRAM (s.d.)

As lâmpadas de descarga são compostas por um tubo de descarga, com eletrodos em suas extremidades e uma mistura de gases em seu interior, seu funcionamento acontece em decorrência da aplicação de uma diferença de potencial entre seus eletrodos, assim uma corrente elétrica é gerada ionizando os gases em seu interior fazendo-os emitir luz visível. Podendo ser

subdivididas em fluorescente, vapor de sódio, vapor de mercúrio, entre outras (FIORINI, 2006). A Figura 8 ilustra algum dos tipos de lâmpadas de descarga.

Figura 8 - Lâmpadas de descarga



Fonte: Adaptado de OSRAM (s.d.)

As lâmpadas LED são feitas de material semicondutor, que ao serem submetidos a uma tensão elétrica convertem a corrente elétrica que passa por eles em luz visível, sendo a luz emitida de apenas um comprimento de onda, ou seja, luz monocromática, na qual sua cor depende do elemento utilizado na dopagem do semicondutor (HOLANDA, 2017). A Figura 9 ilustra alguns modelos de lâmpadas LED.

Figura 9 - Lâmpadas LED



Fonte: Adaptado de OSRAM (s.d.)

A Figura 10 e A Figura 11 ilustram o comparativo entre alguns tipos de lâmpadas.

Figura 10 - Características gerais das lâmpadas I

Tipo	Características gerais
Incandescente Comum	- Excelente reprodução de cores - Baixa eficiência luminosa - Vida mediana: 1.000 horas - Não exige equipamentos auxiliares - Grande variedade de formas
Fluorescente	- Excelente a moderada reprodução de cores, dependendo do tipo - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 7.500 a 20.000 horas - Exige equipamentos auxiliares: reator e starter (partida convencional) ou só reator (partida rápida) - Forma tubular em vários tamanhos
Fluorescente Compacta	- Boa reprodução de cores - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 3.000 a 12.000 horas - Exige equipamentos auxiliares (reator) - Pequenas dimensões

Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

Figura 11 - Características gerais das lâmpadas II

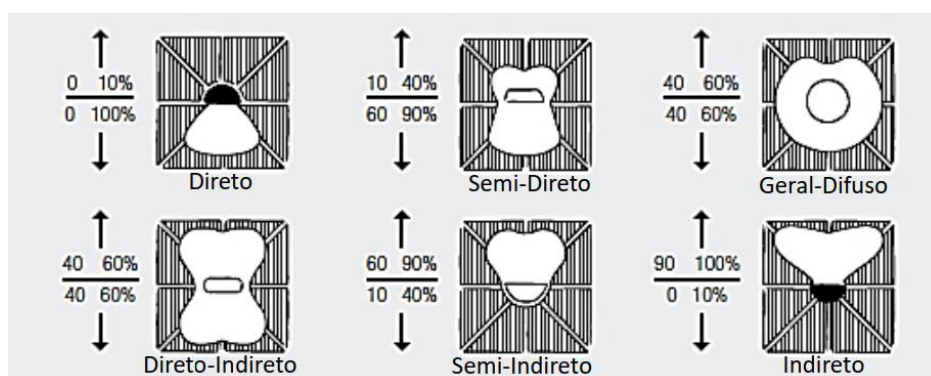
Tipo	Características gerais
Vapor de mercúrio	- Moderada reprodução de cores - Vida mediana: 12.000 a 24.000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor metálico	- Boa reprodução de cores - Vida mediana: 3.000 a 20.000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor de sódio alta pressão	- Pobre reprodução de cores - Alta eficiência luminosa - Vida mediana: 12.000 a 55.000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor)
LED	- Alta reprodução de cores - Alta eficiência luminosa - Vida mediana: 25.000 a 100.000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (drive)

Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

O padrão IEEE standard 739-1995 (IEEE, 1996) define como a principal função da luminária sustentar a lâmpada bem como seu circuito elétrico e acessórios, quando necessários, e em seguida direcionar o foco de luz a superfície alvo. Esta mesma norma afirma que a eficiência da luminária é definida pela razão entre a quantidade de luz emitida pela luminária e a quantidade de luz emitida pelas lâmpadas, ou seja, a quantidade de luz que consegue sobrepor-se as perdas.

De acordo com Holanda (2017), as luminárias podem ser classificadas quanto a direção do fluxo luminoso, de forma que a Figura 12 ilustra os tipos de luminárias perante tal classificação. Na Figura 12 os valores percentuais indicam a porcentagem do fluxo luminoso emitido na direção apontada pela seta (para cima ou para baixo), por exemplo, a luminária de fluxo semidireto possui entre 10-40% do fluxo para cima e 60-90% do fluxo para baixo.

Figura 12 - Classificação das luminárias quanto a radiação do fluxo luminoso



Fonte: Holanda, 2017.

Já Marques et al. (2007) clássica as luminárias de acordo com as características físicas e resume em uma tabela as informações gerais sobre cada tipo, a Figura 13 ilustra tal tabela.

Figura 13 - Classificação das luminárias

Tipo	Características Gerais
Embutidas	- Normalmente usadas com lâmpadas incandescentes comuns - Apresentam baixo rendimento - Normalmente apresentam problemas de superaquecimento - Difícil manutenção
Fechadas (lâmpadas fluorescentes)	- São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático, etc.) - Rendimento moderado, dependendo do tipo de elemento de controle da luz - Difícil manutenção - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto e, em alguns casos, podem ser embutidas - Os que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento.
Abertas	- Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz - Apresentam rendimentos superiores aos das luminárias fechadas - Fácil manutenção - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto ou suspensas
Spots	- São utilizadas com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas - Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso - Fácil manutenção - Podem ser fixados sobre as superfícies ou embutidos
Projetores	- Encontrados em vários tamanhos - Apresentam bom rendimento luminoso - São fixados sobre as superfícies ou suspensos - Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns até lâmpadas a vapor de sódio - Fácil manutenção, dependendo das condições do local.

Fonte: Marques et al., 2007.

3.2.1.5. Manutenção

A norma IEEE standard 739-1995 (IEEE, 1996) afirma que a manutenção correta dos sistemas de iluminação mantém seu desempenho a níveis de projeto, promove a segurança, e quando prevista no estágio de projeto ajuda a redução do consumo energético bem como no desperdício financeiro.

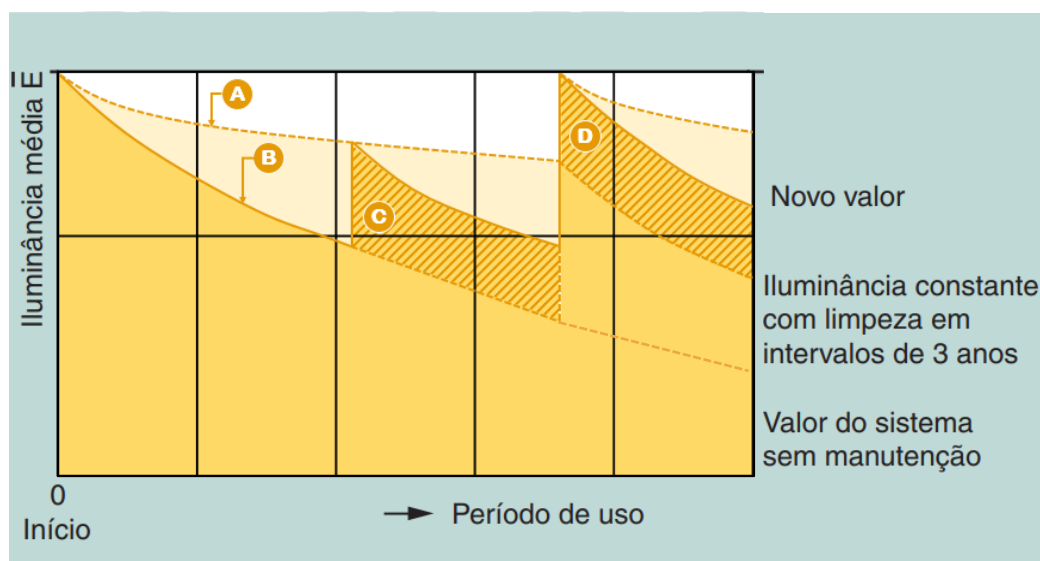
A manutenção inclui a troca de lâmpadas queimadas bem como seus acessórios que apresentem defeitos, apresentando assim vantagens elétricas, financeiras e visuais. De maneira geral sistemas de iluminação devem ser limpos no mínimo uma vez ao ano (IEEE, 1996).

Tendo em vista o explicitado dois fatores relacionados a manutenção devem ser destacados:

- **Depreciação do fluxo Luminoso:** Previsto na norma NBR 8995-2013 (ABNT, 2013) a

depreciação do fluxo luminoso é definida como a redução da iluminância do sistema ao longo do tempo, causada pela perda de fluxo luminoso da lâmpada devido ao envelhecimento e agravado pelo acúmulo de sujeira nesta. A Figura 14 representa depreciação do fluxo de um sistema conforme o tempo de uso deste onde as curvas A e B representam a perda gradativa devido ao envelhecimento da lâmpada e ao acúmulo de sujeira, respectivamente, e as áreas C e D representam o ganho devido a limpeza e troca, respectivamente.

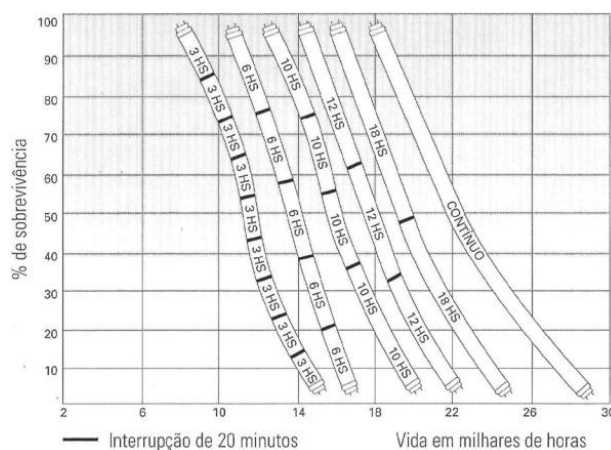
Figura 14 - Representação da depreciação do fluxo luminoso do sistema



Fonte: Adaptado de Marques et al. (2007) e ABNT (2013).

- **Mortalidade de lâmpadas:** de acordo com Marques et al. (2007) representa o número de horas de funcionamento que a lâmpada possui antes de apresentar algum defeito, ou seja, a vida útil da lâmpada, onde este valor é influenciado pela quantidade de vezes que esta é acionada em um dia. A Figura 15 ilustra a curva típica de mortalidade de lâmpadas com vida útil nominal de 12 000 horas em função do ciclo de funcionamento diário.

Figura 15 - Curva típica de mortalidade de lâmpadas



Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

3.2.1.6. Eficiência em sistemas de iluminação

Para Castro (2015) a eficiência em sistemas de iluminação está ligada diretamente a eficiência dos equipamentos escolhidos para o sistema bem como a maneira que o usuário utiliza o sistema e o mantém, estes podem ainda ser melhorados com a utilização e tecnologias próprias para áreas específicas como por exemplo sensores de presença em áreas pouco movimentadas, entre outras medidas tais como:

- Utilizar-se reatores eletrônicos em detrimento aos reatores eletromagnéticos;
- Em locais com garagem, escadas e corredores, avaliar a possibilidade de instalar sensores de presença, visto que estes comumente possuem pouca movimentação;
- Escolha de lâmpadas com maior nível de eficiência, possuidoras do selo PROCEL, e adequadas ao uso da tarefa visual;
- Aproveitar sempre que possível a contribuição da luz natural através de telhas translúcidas, janelas amplas, tetos e paredes em cores claras;
- Aplicar a divisão nos circuitos de iluminação utilizando mais de um interruptor, a fim de utilizar-se parcialmente o sistema sem prejuízo ao conforto visual;
- Sempre que possível utilizar-se de cores claras no teto e paredes;
- Efetuar as manutenções e limpezas periodicamente.

De acordo com PROCEL (2016) o nível de eficiência de um sistema de iluminação pode ser avaliado através da Densidade de Potência Instalada (DPI) [W/m^2], no qual existem dois métodos para calcular o nível de eficiência do sistema, sendo estes:

- **Método da Área do edifício:** este método é aplicado apenas a edifícios que possuam no máximo três atividades ou que sua atividade principal ocupe mais de 30% da área total da edificação (PROCEL, 2016).
 - Primeiramente encontra-se a DPI limite (DPI_L), na tabela fornecida pelo manual para aplicação do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas), referente a atividade exercida para o nível de eficiência desejado. A Figura 16 ilustra um exemplo de DPI_L encontrado na tabela do manual para aplicação do RTQ-C (PROCEL, 2016);

Figura 16 - Exemplo de limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0

Fonte: Adaptado de PROCEL, 2016.

- Então multiplica-se a DPI_L pela área total da edificação, encontrando-se assim a potência limite máxima que pode ter instalada (PROCEL, 2016);
- Compara-se a potência instalada com a potência máxima calculada no passo anterior, caso esta seja menor é definido o nível de eficiência do sistema de iluminação; porém caso esta seja maior deve-se repetir os passos anteriores baixando-se o nível desejado de eficiência até que a potência instalada seja menor que a potência máxima calculada (PROCEL, 2016).
- **Método das atividades do edifício:** este método é aplicável aos edifícios que não podem ser utilizados o primeiro método, porém os passos são bem semelhantes diferenciando-se apenas que para este método cada ambiente é analisado individualmente, e por fim a potência calculada de cada um dos ambientes é somada a fim de se encontrar a potência máxima limite do edifício então esta é comparada com a potência instalada igualmente ao método anterior (PROCEL, 2016).

A Figura 17 ilustra um exemplo de como selecionar a DPI_L pelo método das atividades do edifício, nota-se que para este método são necessários os valores de índice de ambiente (K) e a Razão de Cavidades do Ambiente (RCR), sendo este segundo possível ser calculado pela Equação (6).

Figura 17 - Exemplo de limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício

Ambientes/Atividades	Limite do Ambiente		DPI_L Nível A (W/m^2)	DPI_L Nível B (W/m^2)	DPI_L Nível C (W/m^2)	DPI_L Nível D (W/m^2)
	K	RCR				
Armazém, Atacado						
Material pequeno/leve	0,80	6	10,20	12,24	14,28	16,32
Material médio/volumoso	1,20	4	5,00	6,00	7,0	8,00
Átiro - por metro de altura						
até 12,20 m de altura	-		0,30 ¹	0,36 ²	0,42 ²	0,48 ²
acima de 12,20 m de altura	-		0,20 ²	0,24 ²	0,28 ²	0,32 ²

Fonte: Adaptado de PROCEL, 2016

$$RCR = \frac{2,5 \cdot H_p \cdot P}{S} \quad (6)$$

Onde: H_p = altura da parede [m]

P = perímetro do ambiente [m]

S = área do ambiente [m²]

Vale salientar que estes são os métodos utilizados pelo PBE Edifica para etiquetagem e certificação das edificações, e estão dispostos detalhadamente no manual para aplicação do RTQ-C.

3.2.2. Sistemas de Climatização

Os sistemas de climatização são compostos por elementos elétricos (motores de potência, equipamentos de manobra e regulação) e mecânicos (ventiladores, bombas, tubulações, etc.), assim antes de realizar-se modificações no sistema todos os elementos devem ser analisados com o intuito de garantir o melhoramento do sistema e não o aumento de consumo (MARQUES et al., 2007).

De acordo com Viana (2007) *apud* Vale (2016), os sistemas de climatização geralmente são os responsáveis pelo maior consumo de uma edificação, chegando a representar até 60% da fatura de energia elétrica da instalação. Assim devido ao seu alto custo operacional estes sistemas devem receber grande atenção visando a redução do consumo energético.

3.2.2.1. Objetivos do sistema de climatização

De acordo com Marques et al. (2007), o sistema de climatização possui como principais finalidades o controle de temperatura e umidade de um ambiente, visando as condições de conforto de seus ocupantes. Delimitando ainda a pureza e movimentação do ar deste ambiente, pois ao contrário dos sistemas de ventilação, estes não dependem das condições climáticas exteriores (SANTOS et al. 2006)

3.2.2.2. Norma e definições

Em 2008 foi publicada a norma ABNT ISO/CIE 16401-1: 2008 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, dividida em três partes, esta determina: todos os parâmetros técnicos para instalação de um sistema de climatização, como cálculo de carga

térmica, dimensionamento de tubulações, etc.; todas as questões de conforto térmico e os critérios para qualidade do ar, de acordo com as determinações do ministério da saúde e da Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (ABNT, 2008)

Assim como para os sistemas de iluminação alguns conceitos básicos são relevantes quando se trata de sistemas de climatização, sendo estes:

- **Temperatura:** De acordo com PROCEL (2002) *apud* Póvoa (2014), a temperatura é uma propriedade fundamental da matéria, que representa o nível energético de um corpo, assim, quanto mais alta a temperatura maior o nível energético do corpo, sendo sua unidade de medida no sistema internacional (SI) o grau Celsius [°C];
- **Calor:** É o termo que designa a quantidade de energia térmica transferida em um processo, podendo ser classificado como calor sensível, que é aquele que ao ser adicionado ou removido de um corpo altera a temperatura deste, porém não altera seu estado físico; e calor latente, que é o calor responsável pela mudança de estado de um corpo, sem alterar sua temperatura (PÓVOA, 2014);
- **Fluido refrigerante:** São fluidos que vaporizam quando submetidos a baixas temperaturas, por exemplo o gás *Freon 22* vaporiza a 0°C quando recebe calor submetido a uma pressão de 4kgf/cm². Desta maneira é possível utilizar tal fluido para remover calor de corpos com maior temperatura (PÓVOA, 2014).
- **Coeficiente de Performance (COP):** O COP é um importante parâmetro na análise da eficiência energética de um equipamento de refrigeração, este é dado pela razão entre a capacidade frigorífica do ciclo ($\dot{Q}_o$) e a potência teórica do compressor ($\dot{W}_c$), ou seja, a capacidade de retirar calor e a potência consumida, sendo dado pela Equação (7) (SANTOS et al., 2006);

$$COP = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_c} \quad (7)$$

- **Transmissão térmica:** A troca de calor entres fluidos pode se dar de diversas maneiras, ocorrendo de forma isolada ou combinada (MARQUES et al., 2007). Assim a transmissão térmica pode ocorrer por:
 - Radiação: Ocorre mediante ondas eletromagnéticas, irradiadas pelos corpos, não necessitando um meio contínuo para ocorrer (PÓVOA, 2014);
 - Convecção: Ocorre entre fluidos que estão no mesmo estado físico, ou mesmo internamente a um único fluido, de maneira natural, por diferença de densidade;

ou de maneira forçada por um agente externo (ex: ventilador); através de uma ação de mistura (correntes de convecção) (PÓVOA, 2014);

- **Condução:** Ocorre através do contato, onde as moléculas transferem energia entre si. Dentro do fluido ocorre juntamente com a convecção (PÓVOA, 2014).

3.2.2.3. Métodos de dimensionamento

De forma geral em projetos de sistemas de climatização possuem como principal parâmetro a carga térmica do ambiente, e exceto para sistemas simples, este cálculo é bastante complexo e inviável sem o auxílio de programas de computador, o método de cálculo utilizado por tais programas é determinado pela norma ABNT ISO/CIE 16401-1: 2008 (ABNT, 2008).

De acordo com Póvoa (2014), o método simplificado, porém válido pode ser utilizado para o dimensionamento da carga térmica de um ambiente simples, seguindo-se três passos, sendo estes:

- **1º Passo:** Primeiramente determina-se se o ambiente recebe insolação direta ou não, então para cada m² de área somam-se 800 Btu/h ou 600 Btu/h ao valor da carga térmica do ambiente, para insolação direta ou não respectivamente (PÓVOA, 2014);
- **2º Passo:** Determina-se quantas pessoas utilizam efetivamente o ambiente sob estudo, então adicionam-se 600 Btu/h ao valor da carga térmica do ambiente, para cada usuário (PÓVOA, 2014);
- **3º Passo:** Por fim determina-se quantos equipamentos eletrônicos que emitem calor são utilizados dentro do ambiente, então adiciona-se o valor da carga térmica destes ao valor da carga térmica do ambiente, caso o valor da carga térmica exata do equipamento seja desconhecida, adicionam-se 600 Btu/h para cada equipamento (PÓVOA, 2014).

A Tabela 1 ilustra um exemplo de dimensionamento de um ar condicionado de 18.000 Btu/h.

Tabela 1 - Cálculo da carga térmica de um ambiente

Variável	Quantidade	Carga Térmica Unitária [Btu/h]	Total [Btu/h]
Área do ambiente sem insolação direta (m ²)	20	600	12.000
Pessoas no ambiente	4	600	2.400
Equipamentos eletrônicos	4	600	2.400
Total			16.800
Valor comercial			18.000

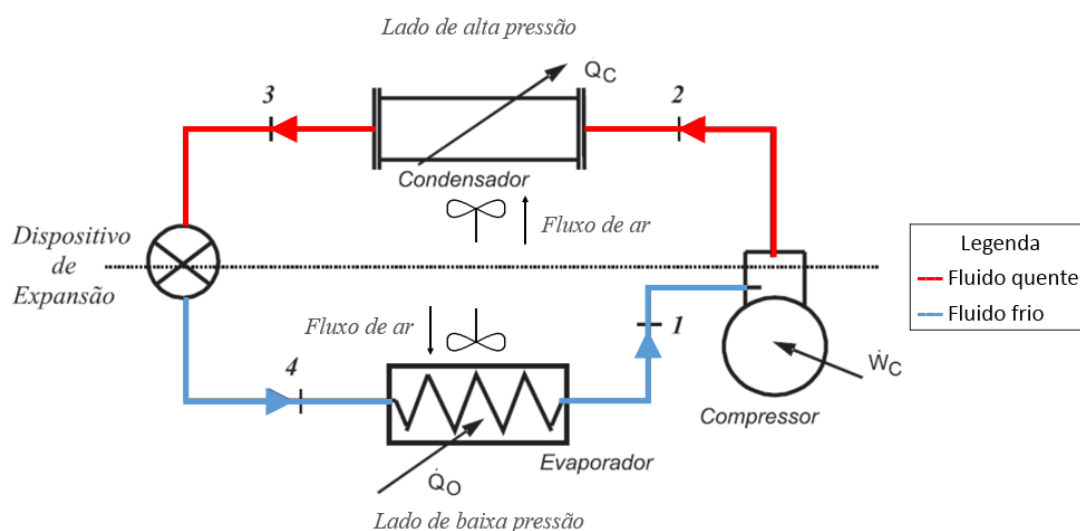
Fonte: Adaptado de Póvoa, 2014.

3.2.2.4. Ar condicionados

Para Santos et al. (2006), os sistemas de ar condicionado podem ser classificados de diversas maneiras, quanto ao fluido (s) utilizado (s), quanto ao método de remoção de calor, etc. Porém o funcionamento destes seguem os princípios de refrigeração por compressão de vapor ou refrigeração por absorção de calor, sendo o primeiro o mais utilizado.

O ciclo simples de compressão de vapor, como qualquer ciclo, é uma série de processos onde os estados inicial e final são iguais. Assim o ciclo simples de compressão de vapor, é o ciclo utilizado em equipamentos básicos de refrigeração, em que fluido refrigerante é vaporizado e retira calor do ambiente. Este é composto por quatro processos que são ilustrados na Figura 18 (SANTOS et al., 2006).

Figura 18 - Esquema do sistema de refrigeração com os equipamentos básicos



Fonte: Adaptado de Santos et al., 2006.

Os quatros processos do ciclo simples de compressão por vapor, são representados na Figura 18, de forma que:

- Em $1 \Rightarrow 2$, o fluido no estado gasoso entra no compressor e é comprimido ($\dot{W}_c$) até atingir a pressão de condensação, e neste estado está superaquecido (SANTOS et al., 2006);
- Em $2 \Rightarrow 3$, no condensador o fluido troca calor com o ambiente ($\dot{Q}_c$) e reduz sua temperatura sendo condensado, passando para o estado líquido (SANTOS et al., 2006);
- Em $3 \Rightarrow 4$, o fluido passa por um dispositivo de expansão, sendo vaporizado e baixando ainda mais sua temperatura devido a este processo de expansão retirar energia do própria sistema para ocorrer (SANTOS et al., 2006);

- Em $4 \Rightarrow 1$, no evaporador o fluido troca calor com o ambiente ($\dot{Q}_o$) novamente, porém desta vez aumentado sua temperatura, resfriando o ambiente (SANTOS et al., 2006).

3.2.2.5. Manutenção

De acordo com ABNT (2008), a manutenção em sistemas de climatização deve ocorrer periodicamente não somente com o intuito de manter os componentes elétricos e mecânicos em boas condições de funcionamento, mas também um objetivo de igual importância é a manutenção da qualidade do ar. Além disto, estas manutenções devem ser cuidadosamente planejadas e executadas por profissionais capacitados, visto que uma manutenção inadequada resulta em uma má qualidade do ar.

ABNT (2008) afirma ainda que a periodicidade das manutenções deve levar em conta as condições de operação e de conservação do equipamento, e o nível de importância e risco operacional aos quais está submetido.

3.2.2.6. Eficiência em sistemas de climatização

De acordo com CPFL (s.d.) *apud* Castro (2015) os consumos de energia elétrica por sistemas de climatização representam uma alta parcela no consumo das unidades. Sendo assim a escolha de um aparelho com alta eficiência resulta positivamente na conta final, juntamente com as seguintes medidas (CASTRO, 2015):

- Manter-se janelas e portas fechadas em ambientes que a climatização estiverem ligadas;
- Utilizar-se a regulagem do termostato para uma temperatura ambiente de forma a atender as condições de conforto no caso de equipamentos com controle digital;
- Utilizar aparelhos de climatização que possuam o selo PROCEL;
- Efetuar a instalação dos equipamentos que locais adequados, sem obstrução de sua entrada/saída de ar;
- Obedecer às instruções do fabricante quanto as dimensões de instalação do equipamento;
- Efetuar manutenção periódica dos filtros, pois o acúmulo de sujeira nestes componentes resultam em uma menor eficiência e bem como prejudicam a qualidade do ar no ambiente;

- Proteger a parte do equipamento responsável pela condensação (parte externa do aparelho janela ou a unidade condensadora do Split) da incidência do sol, sem bloquear as grades de ventilação.

Para Marques et al. (2007), além das medidas básicas elencadas anteriormente por Castro (2015), melhorias para economia de energia em um sistema de climatização podem ser agrupadas em três categorias:

- **Melhorias relativas à estrutura:** A estrutura é formada pelos elementos que compõem os edifícios e locais servidos pelos sistemas de condicionamento de ar, assim as medidas para redução do consumo podem ser subdivididas de acordo com a maneira de troca de calor (MARQUES et al., 2007), como ilustra a Figura 19.

Figura 19- Melhorias em sistemas de climatização relativas à estrutura

Melhorias Relativas à Estrutura	
Transmissão térmica	- Aplicar isolamento nos telhados, forros falsos e paredes. Esta medida reduz o consumo de energia, porém necessita de uma análise econômica detalhada. - Sempre que possível, ventilar os espaços vazios embaixo dos telhados. - Instalar vidros duplos em lugar de vidros simples.
Insolação	- Utilizar, se possível, de telhados e paredes de cor clara. - Instalar vidros reflexivos ou películas plásticas nas janelas de vidro. É importante avaliar o efeito desta medida sobre a iluminação natural; deve-se chegar a um ponto ótimo entre o consumo de energia para climatização e para iluminação. - Instalar persianas exteriores ou brises, nas janelas dos ambientes climatizados. Para este item também vale a afirmação anterior. - Revestir com material opaco, as janelas que não estejam contribuindo efetivamente para a iluminação natural
Infiltração de ar e umidade	- Verificar a vedação de portas e janelas, e se possível, instalar juntas de vedação. - Substituir vidros quebrados e corrigir imperfeições nas vedações dos mesmos (reaplicar a massa de vedação/sustentação, caso necessário). - No caso de portas com duas folhas, reduzir ao máximo possível as frestas entre as folhas
Geração interna	- Manter os níveis de iluminação do ambiente dentro do mínimo recomendado por norma

Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

- **Melhorias relativas ao sistema:** Como explicitado anteriormente os sistemas de condicionamento de ar são compostos por equipamentos elétricos e mecânicos, sendo que estes componentes passam por três etapas ao longo de sua vida útil: projeto, operação e manutenção, sendo estas as classes que podem influenciar na melhoria do consumo dos sistemas (MARQUES et al., 2007). Assim a Figura 20 ilustra tais melhorias possíveis.

Figura 20- Melhorias em sistemas de climatização relativas ao sistema

Melhorias Relativas ao Sistema	
Projeto do sistema	- Estabelecer um zoneamento correto da edificação, utilizando sistemas distintos para as zonas perimetrais (muito afetadas pelas variações climáticas) e para as zonas interiores (mais afetadas pelas cargas de geração interna, notadamente iluminação e ocupação). - Diminuir a vazão de ar exterior de renovação até o valor mínimo permissível para satisfazer os critérios de ventilação. - Considerar a utilização de resfriamento evaporativo do ar para a climatização de ambientes que o permitam. - Desligar os ventiladores de extração de zonas não ocupadas e manter a vazão destes ventiladores dentro dos valores estabelecidos em projeto (valor mínimo). - Utilizar motores elétricos de potência adequada. Motores elétricos superdimensionados trabalham com rendimento baixo. - Adequar a classe dos filtros de ar às exigências da instalação. Normalmente, filtros mais finos (classes maiores) provocam maior perda de carga, requerendo mais energia do ventilador. - Analisar a possibilidade de aumentar a área dos filtros de ar para diminuir sua perda de carga. - Ajustar o diâmetro dos rotores das bombas para compatibilizar seu funcionamento com as necessidades dos circuitos
Operação do sistema	- Estudar e otimizar o horário de partida e parada dos sistemas de climatização. - Desligar todos os sistemas quando não vão realmente ser utilizados. - Fechar as tomadas de ar exterior quando os sistemas não forem utilizados. - Quando o comissionamento da instalação, ou mesmo em intervalos regulares, determinar o valor das infiltrações de ar externo. Estas podem constituir uma porcentagem importante da vazão mínima de ar de renovação, podendo-se então diminuir a vazão introduzida mecanicamente.
Manutenção do sistema	- Minimizar as fugas de ar dos dutos. - Verificar os registros ("dampers") para garantir que sejam mínimos os vazamentos quando estiverem completamente fechados. - Isolar tubulações e dutos que passam por espaços não condicionados e/ou não ocupados. - Reparar todos os isolamentos em mau estado de conservação. - Manter limpos os filtros das tubulações. - Identificar e reparar todas as fugas de fluidos existentes. - Estabelecer um programa cuidadoso de manutenção dos filtros de ar de modo que estes estejam sempre em ótimas condições. - Manter o superaquecimento do fluido refrigerante dentro dos valores especificados. - Manter limpos os evaporadores, serpentinas de água e condensadores.

Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

- **Melhorias relativas a regulação e controle:** Algumas melhorias podem ainda ser efetuadas no controle e regulação do sistema, sendo estas ilustradas pela Figura 21.

Figura 21- Melhorias em sistemas de climatização relativas a regulação e controle

Melhorias Relativas a Regulação e Controle
- Proteger os termostatos e outros sensores para evitar sua manipulação por pessoas não autorizadas; - Instalar os termostatos longe dos locais que sofrem grande influência de focos de calor ou frio; - Sempre que possível, instalar controles de temperatura ambiente em cada um dos locais climatizados; - Manter os sensores limpos; - Avaliar a possibilidade de instalação de termostatos de controle flutuante, permitindo que a temperatura ambiente flutue entre margens relativamente amplas

Fonte: Adaptado de Marques et al., 2007.

De acordo com PROCEL (2016) o nível de eficiência de um sistema de climatização é dado pela classificação ENCE dos seus equipamentos, ponderado por um equivalente numérico quando a instalação possui mais de um equipamento, dado pela Equação (8).

$$\text{EqNumCA} = \sum_{n=1}^x \text{EqNumCA}_n \cdot \frac{\text{Pap}_n}{P_t} \quad (8)$$

Onde: EqNumCA_n = é o equivalente numérico individual de cada aparelho;

Pap_n = potência individual de cada aparelho;

P_t = potência total do sistema.

Assim de acordo com a Figura 22 são obtidos os equivalentes numéricos individuais, bem como dada a classificação da eficiência de acordo com o equivalente numérico resultante da Equação (8).

Figura 22- Equivalentes numéricos para os níveis de classificação de eficiência energética utilizados nos programas PBE e PROCEL

Classificação	Equiv. Númer.
A	≥4,5 a 5
B	≥3,5 a <4,5
C	≥2,5 a <3,5
D	≥1,5 a <2,5
E	<1,5

Fonte: Adaptado de PROCEL, 2016.

Para equipamentos de eficiência nível A acrescenta-se a classificação ENCE o cumprimento dos pré-requisitos dispostos no RTQ-C, para que seja alcançado o nível pretendido. Em tratando-se de aparelhos de refrigeração tal pré-requisito resume-se ao nível mínimo de isolamento térmico das tubulações (PROCEL, 2016). A Figura 23 determina os níveis mínimos utilizados para a avaliação de pré-requisito definido.

Figura 23 - Espessura mínima de isolamento de tubulações para sistemas de refrigeração

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	< 25	25 a <40	40 a <100	100 a <200	≥ 200
4 < T < 16	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4,0

Fonte: PROCEL, 2016.

Vale salientar que estes são os métodos utilizados pelo PBE Edifica para etiquetagem e certificação das edificações, e estão dispostos detalhadamente no manual para aplicação do RTQ-C.

3.2.3. Sistemas de Ventilação

De acordo com Loureiro (2018), ventiladores são máquinas que produzem fluxo de gases à alta vazão e baixa pressão, possuindo uma vasta gama de aplicabilidades residenciais, comerciais e industriais. Tal diferença de pressão deve ser inferior a 2 Kgf/cm^3 (MARQUES, 2007).

3.2.3.1. Objetivos

Embora a utilização de qualquer gás possa ser feita por sistemas de ventilação, na prática a utilização do próprio ar é a mais difundida, seja na forma natural quando o principal objetivo do sistema é climatização e ventilação, seja na mistura com outros gases quando a finalidade do sistema é a exaustão de fornos e outros (LOUREIRO, 2018).

3.2.3.2. Norma e Definições

Em 2010 foi publicada a NBR NM 60335-1:2010 Segurança de aparelhos eletrodomésticos e similares Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2019), esta juntamente com a Portaria do Inmetro n.º 20/2012 (Requisitos de Avaliação da Conformidade para Ventiladores de mesa, parede, pedestal e circuladores de ar ou aparelhos comercializados para este fim) definem métodos de avaliação de eficiência e normatização destes aparelhos (NORMAS BRASIL, 2012).

Em sistemas de ventilação tem-se algumas definições básicas, assim como nos outros sistemas apresentados anteriormente, assim estas são:

- **Máquinas de fluxo:** São máquinas que o escoamento flui continuamente, podendo ser classificadas em (MARQUES et al., 2007):
 - Motoras: transformam energia do tipo: $E_{\text{pressão}} \leftrightarrow E_{\text{mecânica}} \leftrightarrow E_{\text{cinética}}$. Exemplos são: turbinas a gás, turbinas hidráulicas, entre outros;

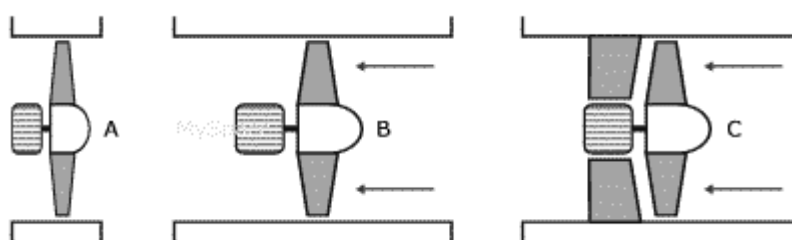
- Geradoras: transformam energia do tipo: $E_{\text{mecânica}} \leftrightarrow E_{\text{cinética}} \leftrightarrow E_{\text{pressão}}$.
Exemplos são: compressores, ventiladores, bombas de fluxo, entre outros.
- **Vazão:** É o volume de ar ventilado em um segundo, medido em m^3/s , onde a vazão nominal de um aparelho é aquela em que este opera no seu ponto de máximo rendimento (MARQUES, 2007);
- **Pressão:** É a força exercida em um fluido em todas as direções, podendo ser:
 - Pressão estática: pressão monométrica em um determinado ponto do escoamento;
 - Pressão dinâmica: pressão devido a velocidade média de escoamento em um determinado ponto;
 - Pressão total: somatório das pressões estática e dinâmica.

3.2.3.3. Ventiladores

Loureiro (2018) e Marques et al. (2007) dividem os tipos de ventiladores de acordo com a forma do rotor utilizado. Sendo os principais:

- **Axial:** Este é o grupo ao qual pertencem os ventiladores comuns (residenciais), nestes equipamentos uma hélice é acoplada a o eixo de um motor coma finalidade de produzir o fluxo. Podem ser construídos em três arranjos diferentes. O arranjo A é indicado para sistemas que não utilizam dutos, em geral instalados em paredes para fins de exaustão ou ventilação; no arranjo B o equipamento é instalado dentro de um duto permitindo conexões de dutos adjacentes para composição do sistema; e no arranjo C são instalada aletas fixas posteriormente ao equipamento, com a finalidade de direcionar o movimento espiralado do ar na saída da hélice para um movimento retilíneo ao longo do duto. Isso melhora o rendimento (LOUREIRO, 2018). A Figura 24, exemplifica os três arranjos descritos.

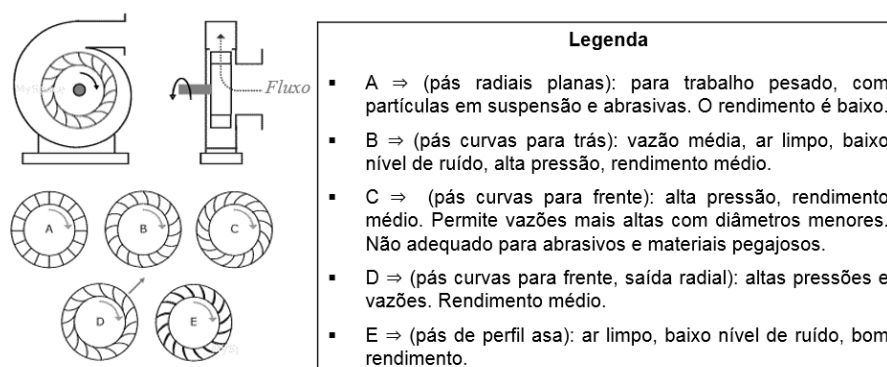
Figura 24 - Principais arranjos de instalação de ventiladores axiais



Fonte: Loureiro, 2018.

- **Radial:** Neste tipo de ventilador, pás são distribuídas ao longo do rotor de forma radial, o que torna sua aparência parecida com a de um cilindro, desta maneira o fluxo é radial do centro para fora do conjunto. O rotor gira dentro de uma carenagem especial que direciona o fluxo para uma única saída. O formato das pás se dá de acordo com a tarefa a ser executada, a Figura 25, ilustra o modelo radial bem como algumas formas usuais dos rotores (LOUREIRO, 2018).

Figura 25 - Formas de pás do ventilador radial



Fonte: Adaptado de Loureiro, 2018.

3.2.3.4. Eficiência energética em sistema de ventilação.

Para Marques et al. (2007) tratando-se da seleção adequado dos ventiladores, escolher o de melhor rendimento é o passo mais importante para a redução no consumo de energia. Porém sem a correta instalação, operação e manutenção do sistema não é possível obter a redução desejada, mesmo com um equipamento de alto rendimento.

Para Loureiro (2018), a grande dificuldade no projeto de sistemas de ventilação é a previsão exata das perdas. Assim este destaca algumas ações que aplicadas corretamente são potenciais de economia. Estas medidas são apresentadas começando pela de maior potencial e mais fácil instalação, sendo estas consideradas segundo quatro categorias:

- **Projeto do sistema de ventilação:** Na redução das perdas em um serviço, deve-se projetar todo o sistema incluindo posicionamento dos dutos, mudança de posição e tamanho de sua secção transversal;
- **Escolha do melhor ventilador:** Deve-se levar em consideração não somente a potência nominal requerida pelo sistema, mas também a amplitude da variação da potência durante o funcionamento do sistema;

- **Escolha do tipo de regulação do ponto de serviço:** Escolher adequados sistemas de controle, incluindo o estrangulamento, a velocidade variável, a geometria variável, etc;
- **Rendimento do ventilador:** Diferentes tipos de ventiladores têm rendimentos máximos diferentes, sendo que os ventiladores axiais com lâminas aerodinâmicas apresentam os valores de rendimento superiores.

Em seguida Loureiro (2018), introduz algumas medidas relevantes ao considerar-se o melhoramento de um sistema, elencando algumas medidas a serem tomadas, sendo estas:

- **Período de funcionamento:** Obter-se os dados da necessidade de ventilação ao longo do ano, assim pode minimizar-se o tempo de uso dos sistemas, sem perda do conforto do usuário;
- **Motor:** Selecionar o tipo e dimensões do motor corretamente. Uma margem de segurança elevada resultaria num motor com potência elevada, o que se traduziria em perdas mais elevadas;
- **Transmissão:** Evitar ao máximo a utilização de sistemas de transmissão entre motor e rotor, o acoplamento direto é sempre o mais eficiente;

Vale salientar ainda que é necessária uma avaliação do sistema e das necessidades da empresa a fim de saber-se quais medidas são rentáveis ou não (LOUREIRO, 2018).

3.3. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)

No passado o tema de qualidade de energia elétrica (QEE) não possuía destaque principalmente devido ao fato de que a maioria dos consumidores não necessitarem uma de um fornecimento de energia de alta qualidade, visto que seus equipamentos e processos não possuíam uma alta sensibilidade aos distúrbios da rede. Porém atualmente o estudo da QEE surge como um fator relevante visto que os equipamentos de uso final possuem um certo nível de sensibilidade as variações e distúrbios da rede, podendo ocasionar assim falhas e perdas técnicas e econômicas (SANTOS et al., 2006).

Santos et al. (2006) define a QEE como a qualidade do serviço de energia elétrica medido no ponto de entrega, onde as variações na tensão originadas pelo sistema da concessionária, particularmente desligamentos, flutuações de tensões, surtos e harmônicos (estes relativos ao cliente) são os parâmetros que definem uma boa ou má qualidade de energia. Porém ao analisar-se pela ótica do cliente uma boa qualidade na energia elétrica é aquela que

garante o funcionamento correto dos equipamentos e processos, sem acarretar em prejuízos ao meio ambiente e ao bem-estar das pessoas (BRONZEADO, 1997 *apud* SANTOS et al., 2006).

A ANEEL por meio do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) – Módulo 08: Qualidade de Energia Elétrica, conceitua e determina os limites e valores de referência dos indicadores que devem ser considerados para a avaliação da QEE de uma instalação, além disto este também determina a metodologia que deve ser adotada para medição destes indicadores (ANEEL, 2018).

Para ANEEL (2018), os indicadores de QEE podem ser divididos em dois grupos:

- **Fenômenos da qualidade em regime permanente:**

- Tensão em regime permanente: Define o nível de tensão elétrica constante em regime permanente (ANEEL, 2018);
- Fator de potência: É o valor responsável por quantificar a eficiência com que o sistema transforma energia consumida em energia útil (CASTRO, 2015);
- Harmônicos: Define-se como distorções harmônicas os fenômenos de distúrbio na rede elétrica que causam deformações nas formas de onda das tensões e correntes, relacionada a onda senoidal na sua frequência fundamental (ANEEL, 2018);
- Desequilíbrio de tensão: É o fenômeno que define as diferenças nas amplitudes entre as tensões de fase de um sistema trifásico como também sua defasagem elétrica que possui como padrão 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema (ANEEL, 2018);
- Flutuação de tensão: Este fenômeno caracteriza as variações aleatórias, repetitivas ou esporádicas do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea (ANEEL, 2018);
- Variação de frequência: Define os limites que a frequência do sistema pode operar (ANEEL, 2018).

- **Fenômenos da qualidade em regime transitório:**

- Variações de tensão de curta duração – VTCD: São desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos (ANEEL, 2018);

Assim podem destacar algumas características referentes a estes indicadores que tornar-se-ão pertinentes a este trabalho.

3.3.1. Estabilidade de tensão

Os fenômenos relacionados a estabilidade de tensão da rede envolvem tanto os níveis de tensão quanto suas flutuações e desequilíbrios. A seguir são listados os fenômenos relevantes bem como seus valores de referência e valores limites de operação.

- **Tensão em regime permanente:** Como visto anteriormente este define o nível de tensão elétrica constante em regime permanente. Onde os valores de tensões medidos na instalação devem ser comparados com os valores de referência, podendo então ser classificados como: adequados, precários ou críticos (ANEEL, 2018).

Os valores limites para cada valor de referência são dispostos no ANEXO I: Faixas de Classificação de Tensões – Tensões de Regime Permanente, do Módulo 08 do PRODIST (ANEEL, 2018), assim para sistemas atendidos em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220), a Tabela 2 determina os valores limites para cada faixa de classificação da tensão em regime permanente.

Tabela 2 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399)/(202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 < TL < 350 \text{ ou } 399 < TL < 403) /$ $(191 < TL < 202 \text{ ou } 231 < TL < 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Fonte: ANEEL, 2018.

- **Desequilíbrio de tensão:** Como visto anteriormente este fator define as diferenças de módulo e fase entre as tensões de linha do sistema, baseado no Fator de Desequilíbrio de Tensão (FD), onde este pode ser dado em função das componentes de sequência negativa e positiva do sistema, ou em função dos valores de magnitude eficazes, possuindo limite máximo de medição de 3% da tensão nominal para sistemas alimentados e com tensão igual ou inferior a 1kV. Podendo ser calculado auxílio da Equação (9) e da Equação (10) (ANEEL, 2018).

$$FD\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (10)$$

3.3.2. Fator de Potência

Como explicitado anteriormente o fator de potência de uma instalação define a eficiência em que a energia elétrica é transformada em trabalho (CASTRO, 2015). Para sistemas de distribuição atendidos em média e alta tensão a medição deste parâmetro é obrigatória e permanente e deve ser mantido o histórico de medições durante cinco anos, já para consumidores do grupo B alimentados em baixa tensão, esta medição é individual e facultativa (ANEEL, 2018).

O PRODIST – Módulo 08, ainda define que para consumidores atendidos em uma tensão menor que 230kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou entre 1,00 e 0,92 capacitivo, ou seja, no mínimo 92% da energia consumida devem ser utilizadas para realizar trabalho, de acordo com regulamentação vigente (ANEEL, 2018).

3.3.3. Estabilidade de Frequência

A frequência elétrica de um sistema é um dos parâmetros mais importantes a serem avaliados, visto que pequenas variações de frequência podem acarretar em amplas variações em capacitâncias e indutâncias. Assim o PRODIST – Módulo 08 determina os limites de tensão aceitáveis e seus respectivos máximos tempos de ocorrência (ANEEL, 2018). Assim a Tabela 3 determina tais valores.

Tabela 3 - Faixas de variações máximas de frequência

Faixa de variação de frequência (Hz)	Tempo máximo de duração (s)
$59,9 \leq f \leq 60,1$	indefinidamente
$62 \leq f$	30
$f \leq 58,5 / 63,5 \leq f$	10
$f \leq 57,5$	5
$f \leq 56,5 / 66 \leq f$	nunca

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2018.

3.3.4. Melhoramento da QEE

Como disposto anteriormente, diversos fenômenos podem influenciar na QEE, assim Santos et al. (2007), agrupa alguns distúrbios na qualidade de energia relacionando-os com suas

causas e consequências, apresentando ainda medidas de mitigação/eliminação destes. Tal estudo pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26 - Implicações de alguns distúrbios na QEE

Distúrbios	Causas	Consequências	Dispositivos de condicionamento ⁽¹⁾
Transitórios Impulsivos	- Descargas atmosféricas; - Manobra de carga.	- Distúrbios em dispositivos eletrônicos.	- Para-raios; - Filtros; - Transformador de isolamento.
Transitórios oscilatórios	- Descargas atmosféricas - Manobras de linha, cabo, capacitor, transformador, carga.	- Distúrbios em dispositivos eletrônicos.	- Para-raios; - Filtros; - Transformador de isolamento.
Variações de Curta Duração	- Faltas remotas; - Manobra de carga.	- Distúrbios em processos industriais.	- Transformador de tensão constante ⁽²⁾ ; - DVR ⁽⁵⁾ .
Variações de Longa Duração	- Partida de motores; - Variação de carga; - Manobra de capacitor; - Sobrecarga.	- Distúrbios em processos industriais.	- Regulador de tensão; - Transformador de tensão constante.
Interrupções	- Falta - Manobra de disjuntores.	- Distúrbios em processos industriais.	- Sistema UPS ⁽³⁾ ; - Geradores de reserva.
Desequilíbrio de Tensões	- Cargas desequilibradas.	- Altas correntes; - Aquecimento de máquinas elétricas girantes.	Compensadores eletromagnéticos ou eletrônicos.
Harmônicos	- Cargas não lineares.	- Ocupação do sistema; - Sobreaquecimento; - Distúrbios em contadores.	- Filtros; - Transformador de isolamento.
<i>Notching</i>	- Pe's ⁽⁴⁾ com comutação de corrente entre fases.	- Má operação de equipamentos eletrônicos; - Interferência.	- Aterramento; - Bobinas de bloqueio; - Filtro; - Blindagem.
Ruído	- Manobra de Pe's; - Arcos; - Radiação eletromagnética.	- Distúrbios em computadores e controladores programáveis.	- Aterramento; - Bobinas de bloqueio; - Filtro; - Blindagem.
Flutuação de Tensão	- Cargas intermitentes; - Cargas a arco; - Partidas de motor.	- <i>Flickers</i> (cintilação)	- Componentes estáticos; - Capacitor Série.
Variação de Frequência	- Variação de carga e geração	- Afeta a operação de máquinas girantes e contadores	- Controladores de frequência; - Conversores CA/CA.
Notas: (1) Dispositivos de condicionamento de potência são dispositivos com objetivos de isolar a barra de carga de vicissitudes da barra de suprimento de potência (2) Transformadores de tensão constante (Constant Voltage Transformer – CVT) (3) Sistemas de suprimento ininterrupto de potência (4) Equipamentos com eletrônica de potência (5) Dynamic Voltage Restorer			

Baseando-se na Figura 26, proposta por Santos et al. (2006), destaca-se a utilização de filtros como medida para o melhoramento da QEE. Visto que estes podem corrigir diversos distúrbios que afetam a qualidade energia (SANTOS et al., 2006). Assim define-se como filtro elementos adicionados ao sistema com a finalidade de redução de harmônicas, bem como melhoramento do fator de potência, podendo ser classificados como ativos, passivos, eletrônicos e reator de linha; por muitas vezes retificadores PWM, e conversores BOOST também são utilizados com tais finalidades. Possuindo como efeitos secundários benéficos diminuição da corrente de neutro para sistemas trifásicos, redução de perdas em transformadores de distribuição, isolamento de outras fontes de harmônicas, eliminação de possíveis ressonâncias com bancos de capacitores, redução na interferência em sistemas de telecomunicações, aumento indireto na eficiência de motores e aumento na capacidade de distribuição da rede (TOM, 1998 *apud* SANTOS et al. 2006).

Outra medida largamente utilizada é a utilização de bancos de capacitores para correção de fator de potência, sendo esta a mais utilizada devido a sua simplicidade, baixo custo e fácil instalação, estes fornecem energia reativa necessária ao sistema, assim a solicitação de reativo a rede diminui. Porém este procedimento não é indicado para sistemas que possuem harmônicas, visto que podem ocasionar ressonância, bem como intensificar as harmônicas devido e gerar transitórios (SANTOS et al., 2006).

3.4. SISTEMA DE GESTÃO ENERGÉTICA

Como dito anteriormente, para Vale (2016), em sistemas de consumo de uso final o custo de energia elétrica deve ser bem utilizado. Através de análises devem ser estudadas melhorias para o sistema, pois existe uma grande diversidade de metodologias possíveis a serem aplicadas. Assim o gerenciamento da energia aborda diversas medidas tais como:

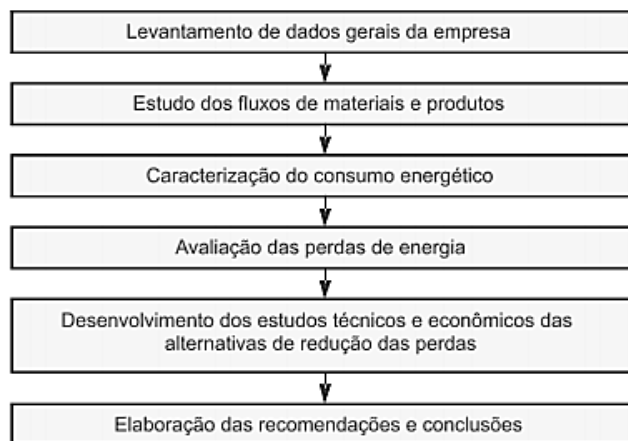
- Conhecimento das informações relacionadas ao fluxo energético, as ações que influenciam estes fluxos, processo e atividades usam a energia e relacionam com um produto ou serviço (VALE, 2016);
- Acompanhamento de índices de controle como consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados da energia (VALE, 2016);
- Atuação nos índices com a visão de se reduzir o consumo de energia através de medidas que buscam o uso racional da energia (VALE, 2016).

Porém somente análises não culminam na melhor utilização dos recursos, estas caracterizam-se apenas como primeira etapa para implantar um Sistema de Gestão Energética

(SGE), bem como, nortear as etapas seguintes, que devem ser estabelecidas de forma planejada, e possuir acompanhamentos efetivos (VALE, 2016).

Para Nogueira (1990) *apud* Vale (2016), o procedimentos e diretrizes para a realização de um diagnóstico energético são elencadas na Figura 27.

Figura 27 - Etapas de um diagnóstico energético



Fonte: Nogueira, 1990 *apud* Vale, 2016.

A Figura 27 ilustra claramente como proceder em situações reais de avaliação bem com estudos para atingir-se a condições previamente estabelecidas. Sendo cada que etapa pode ser realizada de forma independente e não necessariamente necessita seguir a ordem disposta, podendo serem apresentadas sugestões alternativas para racionalização do sistema (VALE, 2016).

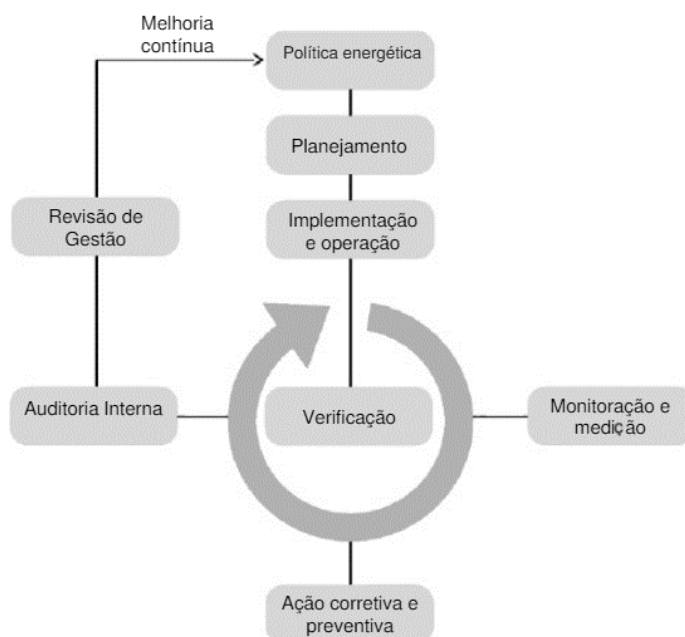
3.4.1. ABNT NBR ISO 50001:2018

Dentro do enfoque de gestão energética surgiu a ABNT NBR ISO 50001: 2018 – Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso, esta norma tem o propósito de especificar os requisitos necessários as organizações para o planejamento e implantação de sistemas e processos para melhorar o seu desempenho energético (ABNT, 2018).

A implantação desta norma busca a gestão sistemática do gerenciamento de emissão dos gases de efeito estufa, custo de energia, bem como outros impactos ambientais associados ao processo, sempre buscando a implementação de um SGE estabelecendo objetivos, planos e metas tornando estes requisitos legais e informações a respeito do uso de energia (VALE, 2016)

A norma ABNT NBR ISO 50001 é baseada nos conceitos do P.D.C.A. (*Plan Do Check Act*), que devem ser implementados nas práticas diárias, como ilustra a Figura 28.

Figura 28 - Modelo de sistema de gestão de energia seguindo a ISO 50001



Fonte: ABNT, 2018.

Assim esta norma pode ser utilizada para certificação, registro, ou ainda auto declaração do SGE em uma organização, não determinando os requisitos para o desempenho energético além daqueles já dispostos em sua política energética ou daqueles dispostos legalmente. Assim duas organizações com perfil operacional semelhantes podem estar em conformidade com seus SGE mesmo com desempenhos diferentes (VALE, 2016).

3.5. ANÁLISE ECONÔMICA

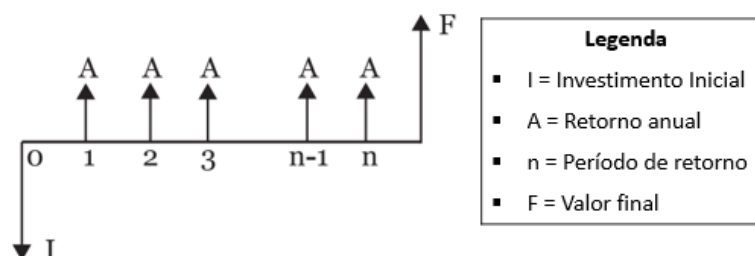
De acordo com Santos et al. (2006), aplicar-se programas de eficiência energética acarretam em um custo econômico, desta maneira, faz-se importante avaliar a viabilidade financeira do projeto a ser implementado.

Santos et al. (2006) ainda destaca quatro metodologias diferentes de avaliação do custo-benefício de implantação do sistema, sendo que todas estas modelam o problema através da análise de fluxo de caixa, que é definido por:

(...) uma maneira simplificada de se representar graficamente as receitas e as despesas de um projeto ao longo do tempo. Nesta modelagem, tudo o que for ganho, benefício, receita e semelhantes, é representado por uma seta apontando para cima. Por outro lado, tudo o que for gasto, despesa, investimento, custos e outros é representado por uma seta para baixo (...) (SANTOS et al., 2006).

A Figura 29 representa graficamente o fluxo de caixa.

Figura 29 - Exemplo de fluxo de caixa



Fonte: Adaptado de Santos et al., 2006.

Assim as metodologias apresentadas por Santos et al. (2006) são:

- **Valor presente líquido (VPL):** este método representa o valor presente líquido no o instante inicial de instalação do projeto, ou seja, todos os benefícios e gastos são trazidos para o presente, onde para este método é utilizado a Equação (11), caso o $VPL > 0$ isto significa que o projeto é viável financeiramente, caso $VPL < 0$ isto indica que o projeto trará prejuízo, ou seja, não é viável, e caso $VPL = 0$ não ocorrerá perdas ou ganhos optando-se por não se aplicar o projeto em termos financeiros(SANTOS et al., 2006).

$$VPL = I + CO_a \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (11)$$

Onde: CO_a = custo operacional anual;

i = taxa de juros.

- **Valor anual líquido:** Este método é semelhante ao VPL, porém este concentra os acontecimentos financeiros (benefícios e gastos) em um determinado instante de tempo também leva em consideração a reposição continua de materiais, ou seja, quando um determinado equipamento acabar sus vida útil este será trocado por outro igual ou semelhante (SANTOS et al., 2006);
- **Taxa interna de retorno (TIR):** é um método de fluxo de caixa descontado, ou seja, uma taxa de juros que iguala os valores de entradas e saídas atuais. Com o valor dessa taxa compara-se com o custo de capital da empresa. Seu cálculo é feito por tentativa e erro, até obter-se um valor de taxa que transforma o VPL igual a zero (SANTOS et al., 2006);
- **Tempo de retorno de capital ou *payback*:** Para Santos et al. (2006) este é com certeza o método mais utilizado devido a sua simplicidade e efetividade. Este método dá ao investidor, o tempo necessário que o projeto implantado precisa para retornar o capital investido, podendo ser calculado de maneira simples, ou seja, desconsiderando os juros e de maneira mais exata, com desconto dos juros. Este tempo pode ser determinado pela

Equação (12) para o *payback* simples e pela Equação (13) para o *payback* descontado (SANTOS et al., 2006);

$$n = \frac{I}{A} \quad (12)$$

$$n = - \ln \left[\frac{(1 - I)/(A \cdot i)}{\ln(1 + i)} \right] \quad (13)$$

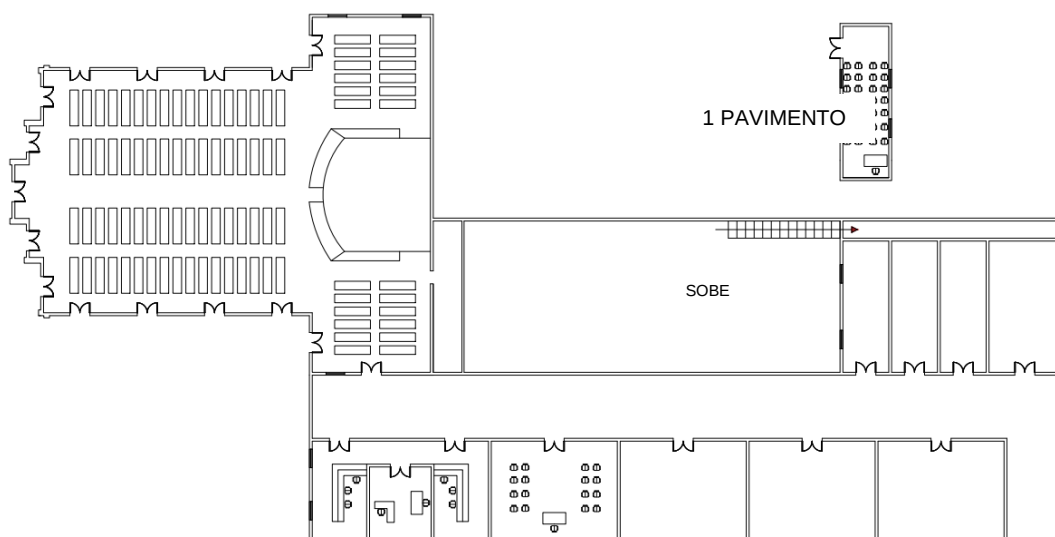
4. METODOLOGIA

Este capítulo destina-se a apresentar a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente descrevendo o ambiente em estudo, e então o procedimento utilizado para o levantamento de dados, bem como os equipamentos utilizados para levantamento em seguida os métodos utilizados para as análises referentes aos sistemas elétricos de uso final da instituição.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A Igreja de São José é a igreja matriz da paróquia de São José Rua Venceslau Brás, s/n, Paredões, Mossoró – RN. Possui cerca de dezessete ambientes incluindo templo, setor administrativo (secretaria, sala do dizimo e sala do padre), auditório, cozinha, copa, banheiros, e salas de reunião, etc. Dos quais foram selecionados para análises os de principal utilização, sendo estes: templo, setor administrativo, cozinha, auditório e uma sala reunião. Tais ambientes são dispostos de maneira geral na Figura 30.

Figura 30 - Planta baixa da Instituição



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Instituição passou recentemente por duas grandes reformas, a primeira foi realizada somente do templo no ano de 2016, e a segunda foi realizada no setor administrativa no ano de 2018. Assim espera-se um bom nível de concordância com as normas vigentes.

A mesma enquadra-se no perfil tarifária B3 Comercial – atividades de organizações religiosas. Não possuindo diferenciação de tarifa em horários de ponta e fora de ponta, não pegando demanda contratada nem excesso de reativo.

4.2. ANÁLISES *IN LOCO*

A primeira etapa do desenvolvimento do trabalho foi a realização de visitas a Instituição bem como conversas informais com os usuários a fim de definir-se o padrão de utilização da instalação. As visitas também serviram para o levantamento de dados pertinentes ao trabalho, como medição das dimensões dos ambientes sob estudo, medições de iluminância, análise e documentação da ENCE dos equipamentos utilizados, bem como medidas referentes aos índices de QEE. Durante esta etapa também foram realizados registros fotográficos para documentação do estado físico da instalação.

4.3. PROJETO LUMINOTÉCNICO

Para a análise do projeto luminotécnico primeiramente foi definida a tarefa visual de cada ambiente, de posse dessa informação a NBR ISO/CIE 8995-1 foi consultada para determinação de quais níveis de iluminância devem ser adotados em cada ambiente. Então foram coletadas medições nos principais ambientes da edificação, anteriormente definidos, tais medições foram realizadas com a utilização de um luxímetro digital minipa modelo MLM-1011. Ilustrado na Figura 31.

Figura 31 - Luxímetro digital Minipa MLM-1011



Fonte: Autoria própria, 2019.

Tais medidas foram obtidas posicionando o aparelho sobre as superfícies de todos os planos de trabalho dos ambientes. Assim aqueles ambientes que não alcançaram valores médios de iluminância de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 foram analisados com o auxílio do software DIALux, a fim de obter-se a adequação do ambiente a corretos níveis de iluminância, bem como a quantidade correta de lâmpadas que deveriam ser utilizadas para fins de estimativa de consumo.

Para todos os ambientes foram efetuadas duas simulações no DIALux, uma para o período diurno e outra para o período noturno, as simulações para o período do dia foram feitas com as lâmpadas desligada, exceto a Sala do padre devido a esta possuir apenas uma pequena entrada de luz natural, assim foi utilizado a iluminação artificial dimerizada a 70%.

4.4. ESTIMATIVA DE CONSUMO NO USO FINAL

A estimativa de consumo foi realizada nos sistemas de uso final com enfoque nos aparelhos que são recomendadas mudanças. Para análise foi considerada a potência instalada e tempo de uso dos aparelhos, podendo assim ser estimado um valor mensal médio de consumo, assim com o auxílio de uma planilha eletrônica foi possível efetuar o cálculo de consumo dos equipamentos já utilizados e também a estimativa de consumo para os aparelhos propostos nas mudanças, bem como realizar a comparação entre as duas tecnologias. Onde para o cálculo do valor da fatura mensal foram utilizados os valores¹ de custo de:

- Preço do kWh = 0,69052132 R\$;
- ICMS = 27%;
- PIS = 0,6%;
- CONFINS = 2,77%.

Para os sistemas de iluminação a comparação foi feita com os resultados da análise feita no DIALux, onde foi utilizada a tecnologia LED visando que esta é a tecnologia mais recente, com maiores índices de eficiência. Para os aparelhos de refrigeração e ventilação, a estimativa e comparação foi feita com base nos aparelhos mais eficientes de acordo com o PROCEL e INMETRO, pela classificação ENCE dos aparelhos, onde para obtenção de tais dados utilizou-se as Tabelas de consumo/eficiência energética disponíveis no site do INMETRO, e foram selecionados aparelhos de capacidade compatíveis com o atuais, porém com uma maior eficiência.

4.5. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

Após a medições e análises referentes aos sistemas elétricos de uso final, foi realizada a classificação do nível de eficiência energética de cada um dos sistemas, de acordo com o disposto anteriormente no capítulo 3.

¹ Valores atualizados de acordo com a fatura de energia atual do cliente.

A classificação do sistema de iluminação foi realizada a partir do método da área do edifício, visto que este apresenta apenas uma atividade principal. Já para os sistemas de refrigeração e ventilação foi utilizado o método do equivalente numérico.

4.6. ÍNDICES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)

Para análise de índices de qualidade de energia foi utilizado os procedimentos e determinações dispostos no PRODIST – Módulo 08. Para a coleta das medições foi utilizado o analisador de energia elétrica politerm modelo TES-3600, ilustrado na Figura 32.

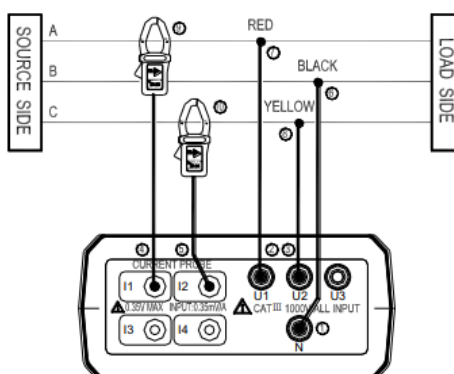
Figura 32 - Analisador de energia elétrica politerm TES-3600



Fonte: Politerm, s.d.

As medições foram realizadas durante duas horas e trinta minutos de operação do sistema, devido à falta de *datalog* do equipamento, e depois analisados através de planilha eletrônica. Como o quadro geral de distribuição da Instituição não possuía barramentos de neutro e terra, as medições seguiram o esquema de ligação dispostos no manual de utilização do equipamento, considerando um sistema a três fios, resultando na maneira de ligação ilustrada na Figura 33.

Figura 33 - Esquema de ligação do medidor de energia TS-3600



Fonte: Politerm, s.d.

Vale salientar que como o sistema é originalmente um sistema a quatro fios, o método de medição a três fios somente seria válido caso o sistema seja perfeitamente equilibrado, porém como é de conhecimento geral, sistema de uso final dificilmente são equilibrados, o que realmente foi constatado, assim as medições de potência e fator de potência foram realizadas somente para fins didáticos NÃO sendo medições válidas a nível de análise de qualidade de energia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos durante a realização do trabalho. Primeiramente são expostos alguns pontos relevantes observados durante as visitas, em seguida são apresentados os resultados das análises das medições efetuadas, bem como comentários a respeito dos valores obtidos. E por fim algumas análises econômicas.

5.1. RESULTADOS DAS VISITAS

Durante as visitas feitas no local, foram feitas algumas averiguações dos quadros de distribuição da Instituição, onde dos cinco quadros existentes, todos possuíam divisão entre os circuitos, quatro apresentaram-se em bom estado de conservação, porém somente um apresentou identificação dos circuitos.

A Figura 34 ilustra o Quadro de Distribuição de Força e Luz (QDFL) da cozinha e a Figura 35 ilustra o QDFL do auditório, estes apresentaram bom estado de conservação, divisão dos circuitos de força e luz corretamente, porém sem identificação dos circuitos.

Figura 34 - QDFL cozinha



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 35 - QDFL auditório



Fonte: Autoria própria, 2019.

O Quadro Geral de Distribuição de Força e Luz (QGDFL) da Instituição, ilustrado pela Figura 36, apresentou sinais da necessidade de manutenção, possuindo divisão dos circuitos de cada ambiente, porém também não apresentou identificação dos circuitos.

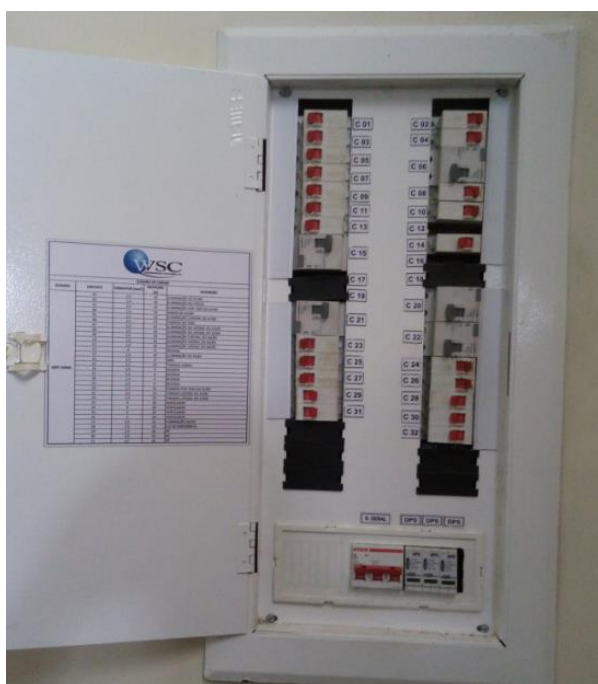
Figura 36 - QGDFL



Fonte: Autoria própria, 2019.

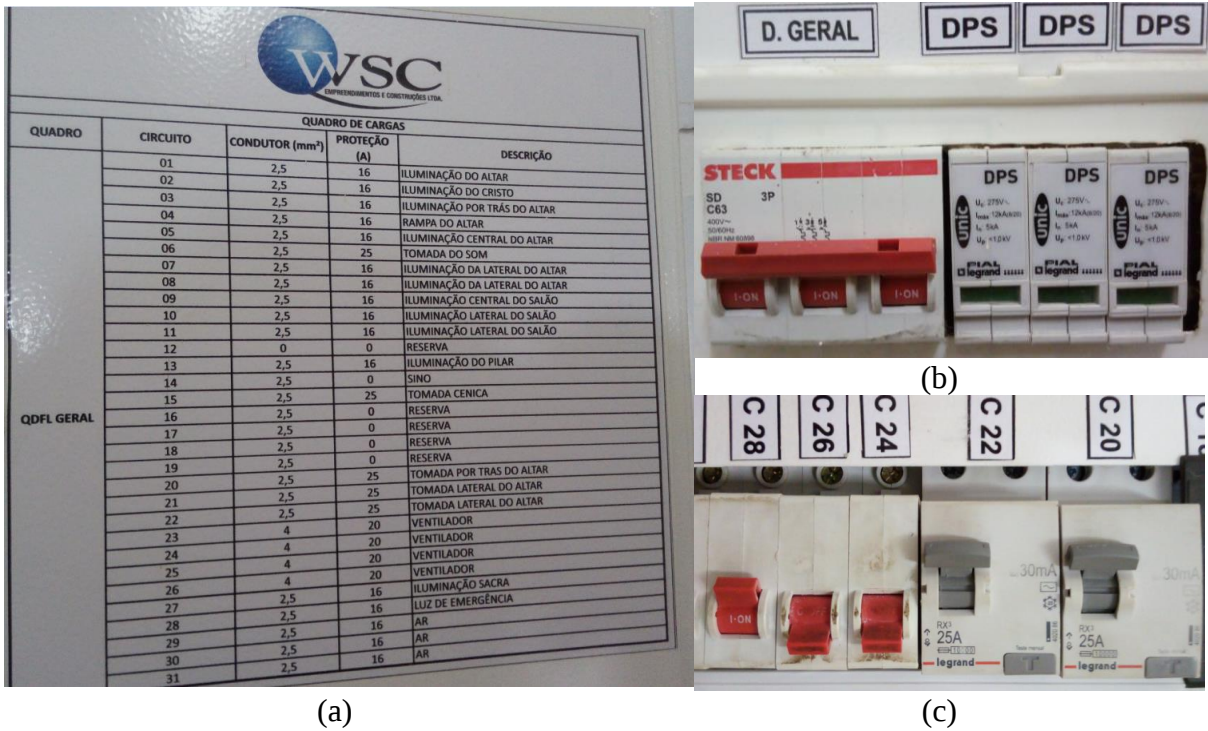
Já o QDFL do templo foi o único a atender completamente as normas, apresentando divisão de circuitos de força e luz, bom estado de conservação e identificação dos circuitos. A Figura 37 ilustra o quadro de maneira geral, e a Figura 38 apresenta os detalhes de etiqueta de identificação do circuito, utilização de Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) e Disjuntor Diferencial Residual (DDR).

Figura 37 - QDFL templo



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 38 – Detalhes QDFL templo (a) etiqueta identificação dos circuitos (b) DPS (c) DDR



Fonte: Autoria própria, 2019.

Por fim a Figura 39 ilustra o Quadro Geral de Distribuição (QGD), este apresentou falhas como disjuntores não fixados, falta de barramentos de neutro e terra, e falta de identificação de qual medidor é referente a Instituição.

Figura 39 - QGD da Instituição



Fonte: Autoria própria, 2019.

5.2. ANÁLISE DO PROJETO LUMINOTÉCNICO

Após definidos os ambientes que seriam analisados e determinados os níveis mínimos de iluminância média, as medidas realizadas estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 - Iluminância: comparação entre valores medidos e valores referência

Ambiente	Tarefa ou atividade	E_{média} [lx]	E_{medida} [lx]
Templo	Corpo do local	100	105,6
	Cadeira, púlpito e altar	300	312,7
	Secretaria	500	193,4
Setor Administrativo	Sala do dízimo	500	243,6
	Sala do padre	500	391,1
	Cozinha	500	503,2
Áreas gerais da edificação	Auditório	500	430,6
	Sala de reunião	500	651,1 ⁽¹⁾

Nota:

- (1) Apesar do valor médio ter atendido ao mínimo determinado em norma, as iluminâncias do ambiente apresentaram grande variação, apresentando valores próximos a 150 na maior parte dos pontos de medição até 1600 lx próximos a porta e janelas.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim os ambientes que tiveram seus projetos luminotécnico refeitos no DIALux foram somente aqueles que apresentaram valores abaixo dos valores da norma, sendo estes: setor administrativo (secretaria, sala do padre, sala do dízimo), auditório e uma sala reunião.

Para todos os ambientes foram utilizadas lâmpadas LED Philips modelo BBS465, a escolha deste modelo foi motivada pelo fato desta possui a luminária de dimensões aproximadas a maioria das lâmpadas já utilizadas, facilitando assim a substituição das mesmas. Sendo as lâmpadas em utilização em toda a Instituição dispostas na Tabela 5.

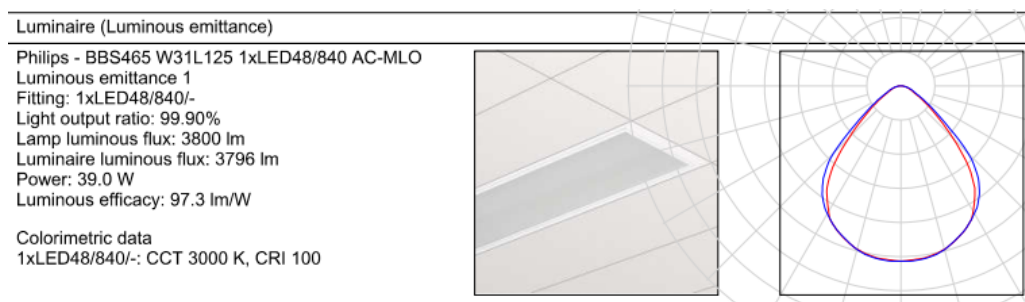
Tabela 5 - Lâmpadas utilizadas em cada ambiente

Ambiente	Modelo da Lâmpada	Qtd	Potência [W]	Fluxo [lm]
Templo	Cristalux Bulbo LED salão	52	28	2700
Secretaria	Osram CONFORT T-8	6	32	2350
Sala do dízimo	Osram CONFORT T-8	6	32	2350
Sala do padre	Philips Eco Home Mini	12	23	1352
Cozinha e Copa	Osram CONFORT 32W T-8	6	32	2350
Auditório	Osram CONFORT 32W T-8	8	32	2350
Sala de reunião 1	Osram Fluorescente T-10	6	40	2700
Sala de reunião 2	Osram Fluorescente T-10	6	40	2700
Sala de reunião 3	Osram Fluorescente T-10	6	40	2700
Sala de reunião 4	Osram Fluorescente T-10	6	40	2700
Banheiros	Foxlux LED bulbo	2	8	700
Corredores	Foxlux LED bulbo	10	8	700
Almoxarifado	Osram CONFORT 32W T-8	1	32	2350

Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 40 ilustra lâmpada escolhida para o projeto luminotécnico, bem como suas características, como pode-se perceber seu fluxo luminoso é bem maior que os das lâmpadas em uso, para uma potência semelhante.

Figura 40 - Lâmpada escolhida para novo projeto luminotécnico



Fonte: Autoria própria, 2019.

No Projeto luminotécnico feito no DIALux, primeiramente foram desenhados e ambientados os ambientes de interesse². Ilustrados na Figura 41.

Figura 41 - Representação 3D dos ambientes sob estudo



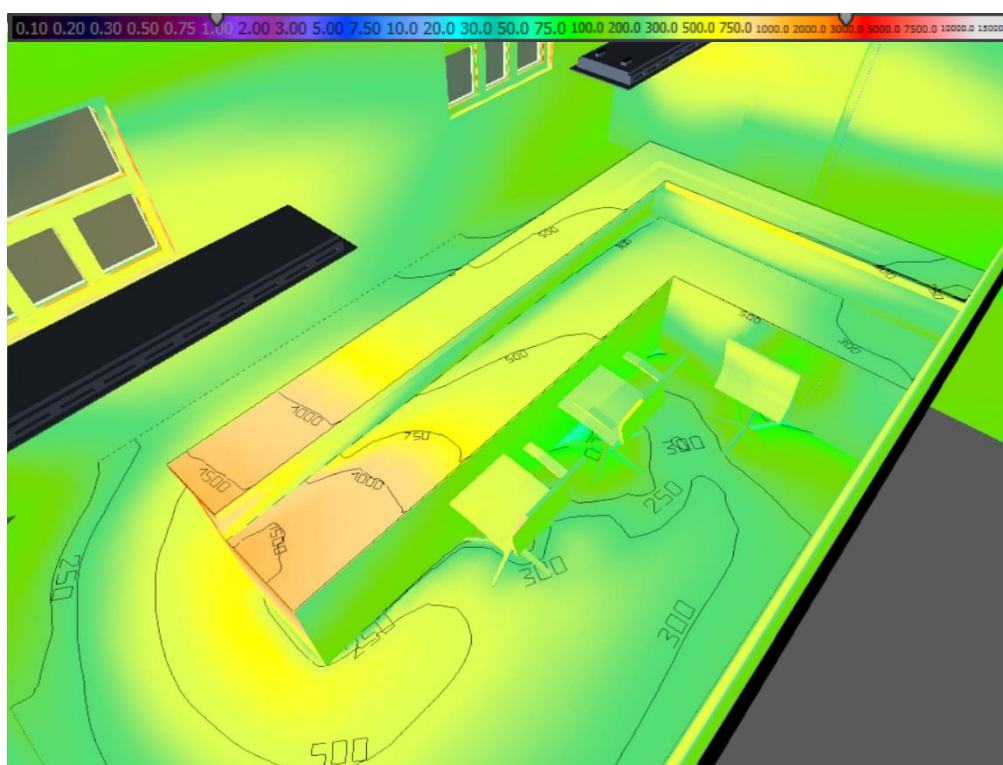
Fonte: Autoria própria, 2019.

² Optou-se por não representar na Figura 41 a sala do dízimo pois trata-se do modelo espelhado da secretaria.

Os níveis de iluminância na secretaria durante o dia são ilustrados na Figura 42, estes são representados através de uma escala de cores falsas, onde de acordo com a escala as cores entre o verde claro e o amarelo representam o objetivo do ambiente (~ 500 lx). Assim pode-se inferir que para o período diurno, as superfícies de trabalho apresentam grau adequado de iluminância na maior parte destes, havendo um excesso que possa causar desconforto nas zonas de cor laranja, devido a uma janela, porém este desconforto pode ser facilmente resolvido com uma cortina, brise ou persiana.

Outro fator que pode ser visto na Figura 42 que ajuda no reconhecimento dos níveis de iluminância, são as curvas isométricas que indica valores de referência para as zonas de transição de cores.

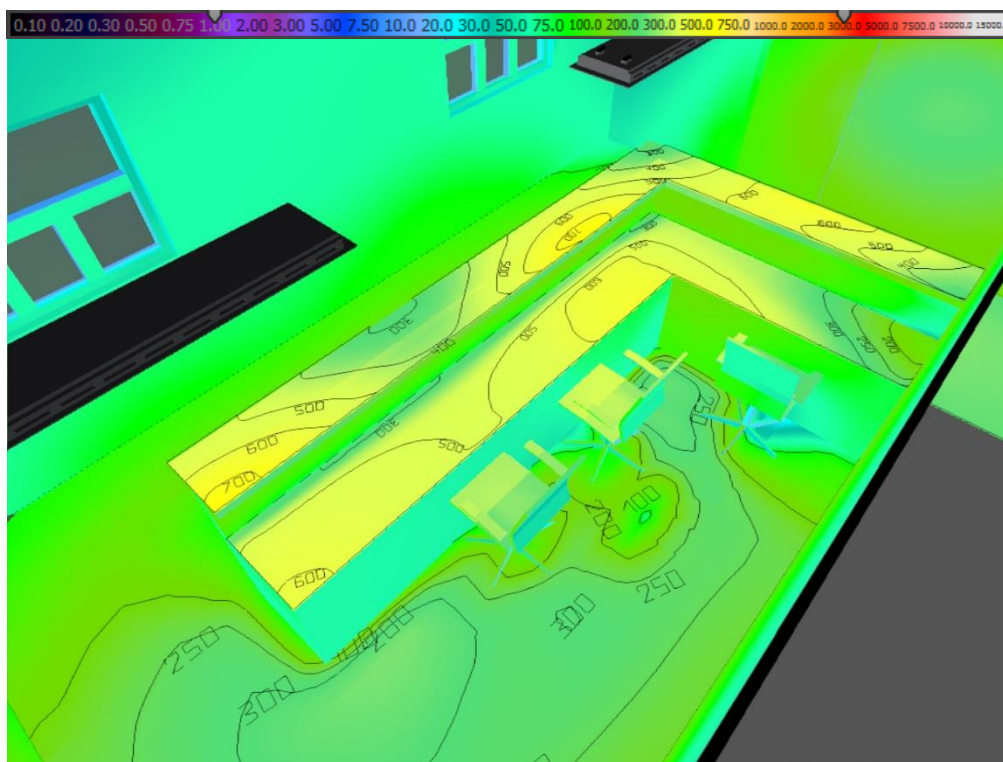
Figura 42 - Representação de cores falsas em 3D da secretaria durante o dia



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 43 ilustra os resultados para o período noturno na secretaria, como pode ser visto, assim como o período diurno os níveis de iluminância estão adequados para a tarefa a ser desenvolvida de acordo com a normatização. O plano de trabalho possui no mínimo 500 lx em toda sua extensão, exceto em dois pontos, porém ainda estando dentro da norma visto que o valor médio e adjacente estão em ~ 500 lx e ~ 330 lx respectivamente.

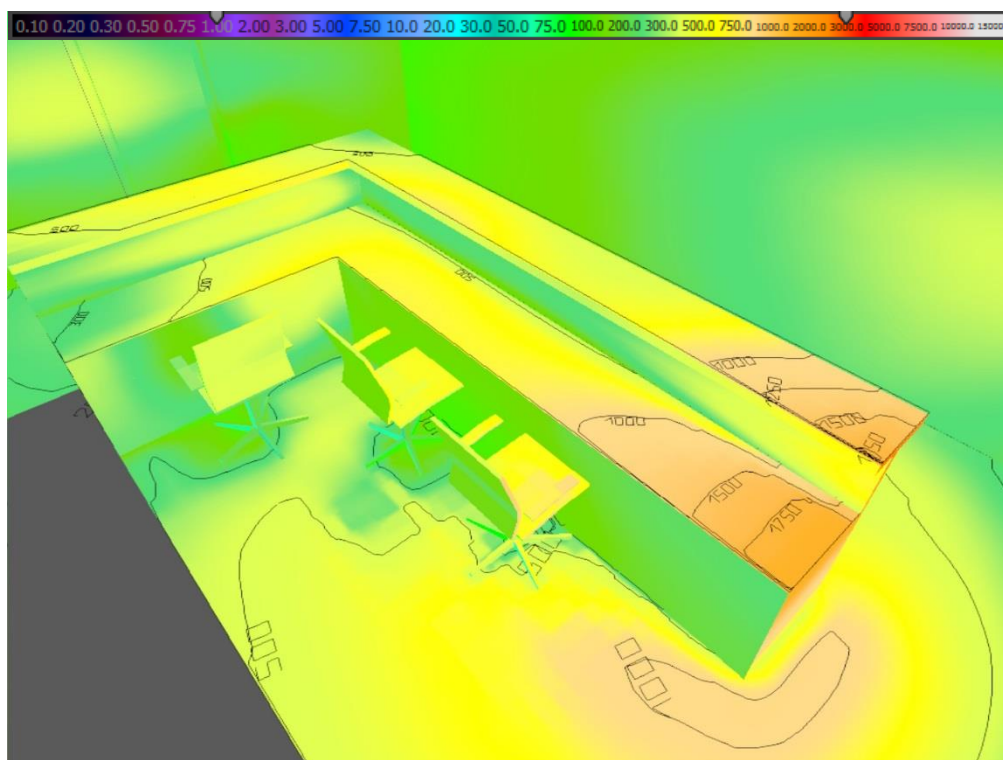
Figura 43 - Representação de cores falsas em 3D da secretaria durante a noite



Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim como para a secretaria a sala do dízimo também apresenta valores adequados de iluminância, ilustrado na Figura 44 para o período do dia.

Figura 44 - Representação de cores falsas em 3D da sala do dízimo durante o dia

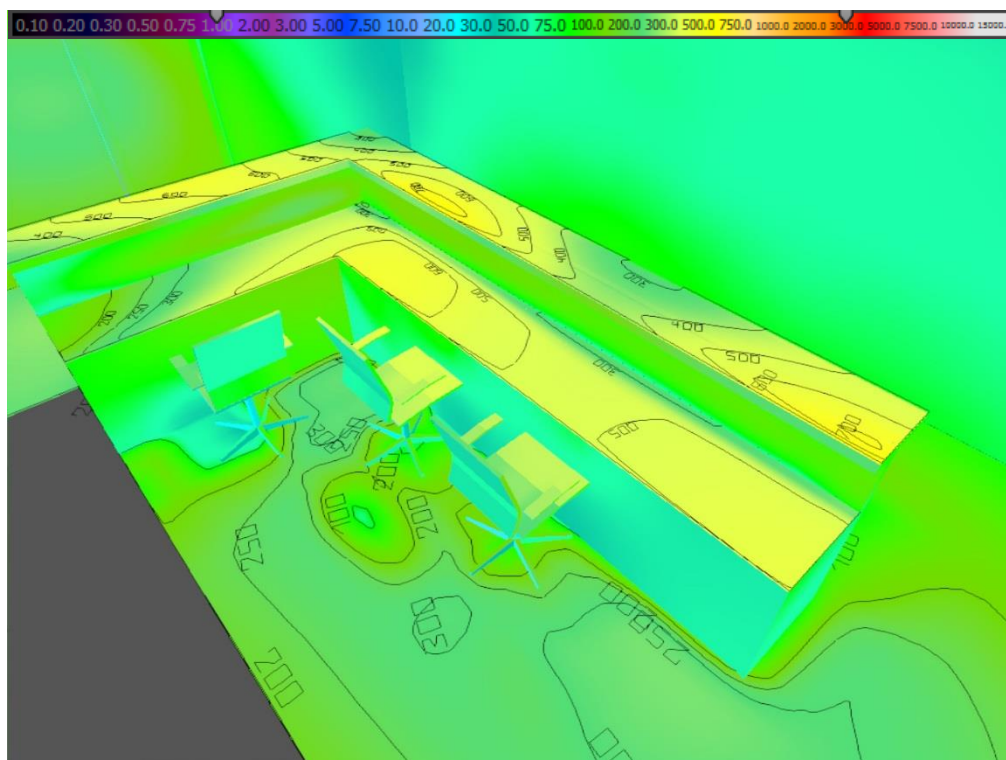


Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim como para a secretaria, devido a uma janela existente, um ponto onde a iluminância pode causar desconforto, pois, seus valores apresentam-se >1000 lx (como pode ser visto pelas curvas isométricas), o que já era esperado pois estas duas salas são “espelhadas”, assim o problema pode ser resolvido de maneira análoga.

Na Figura 45, é ilustrada a simulação para a sala do dízimo durante o período da noite, apresentando valores compatíveis com os estabelecidos em norma.

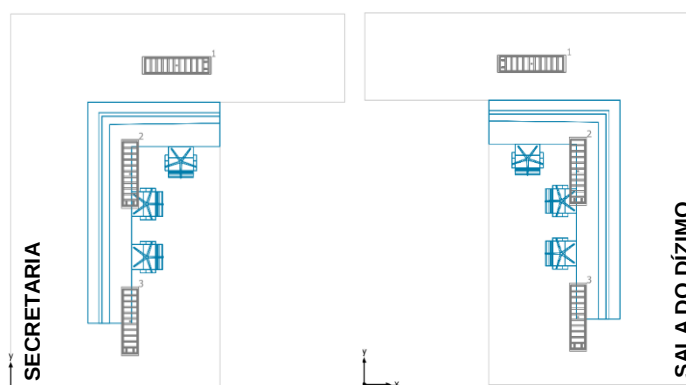
Figura 45 - Representação de cores falsas em 3D da sala do dízimo durante a noite



Fonte: Autoria própria, 2019.

Diante do exposto, a Figura 46 demonstra o posicionamento das novas lâmpadas para que atinjam-se os valores simulados. Na Figura as luminárias são representadas pelos símbolos retangulares na cor cinza escuro.

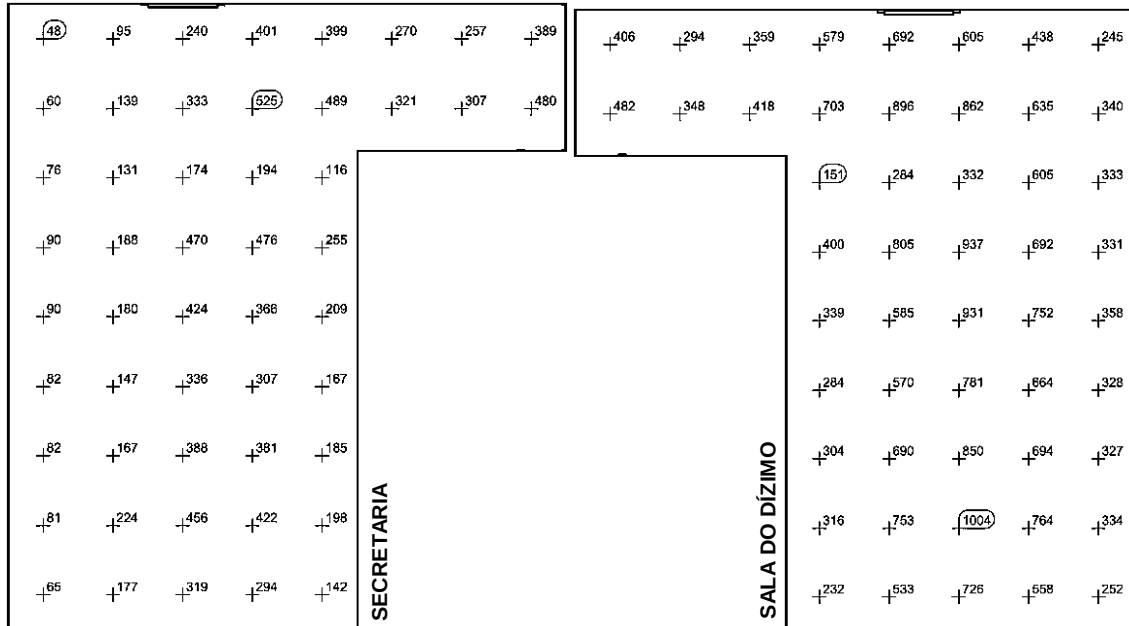
Figura 46 - Disposição das luminárias: secretaria e sala do dízimo



Fonte: Autoria própria, 2019.

Ainda relacionadas a secretaria e a sala do dízimo a Figura 47 ilustra as medições de iluminância em diversos pontos na altura do plano de trabalho (método ponto-a-ponto), que serve para visualizar a necessidade ou não de iluminação suplementar.

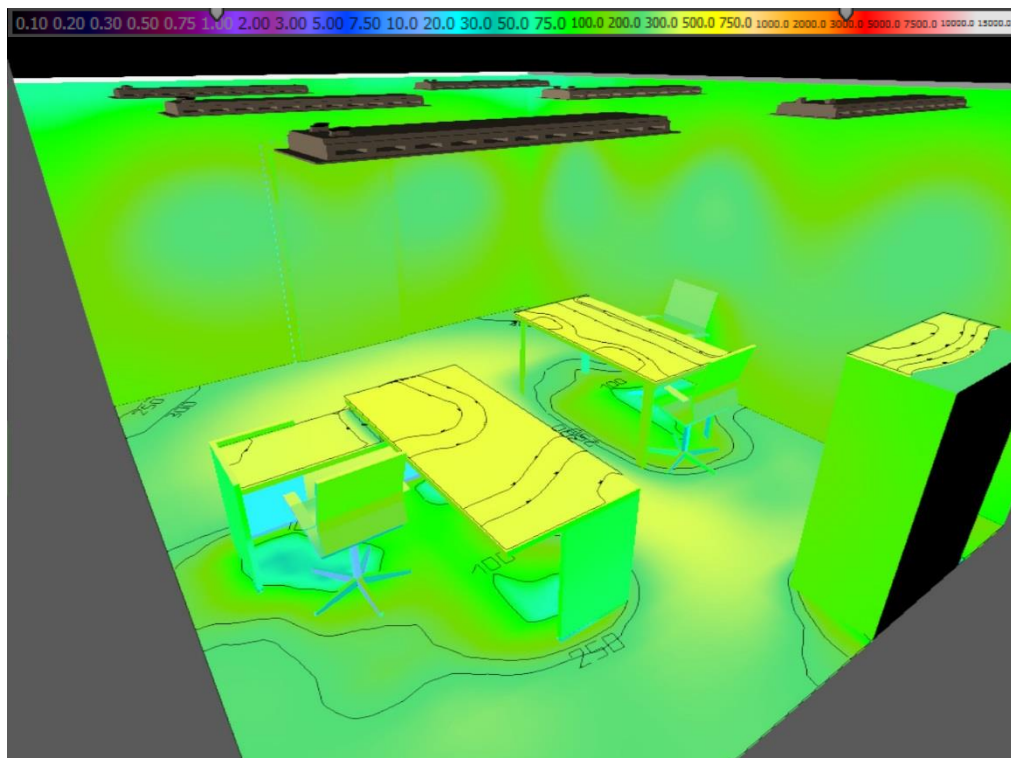
Figura 47 - Medições ponto-a-ponto da secretaria e da sala do dízimo



Fonte: Autoria própria, 2019.

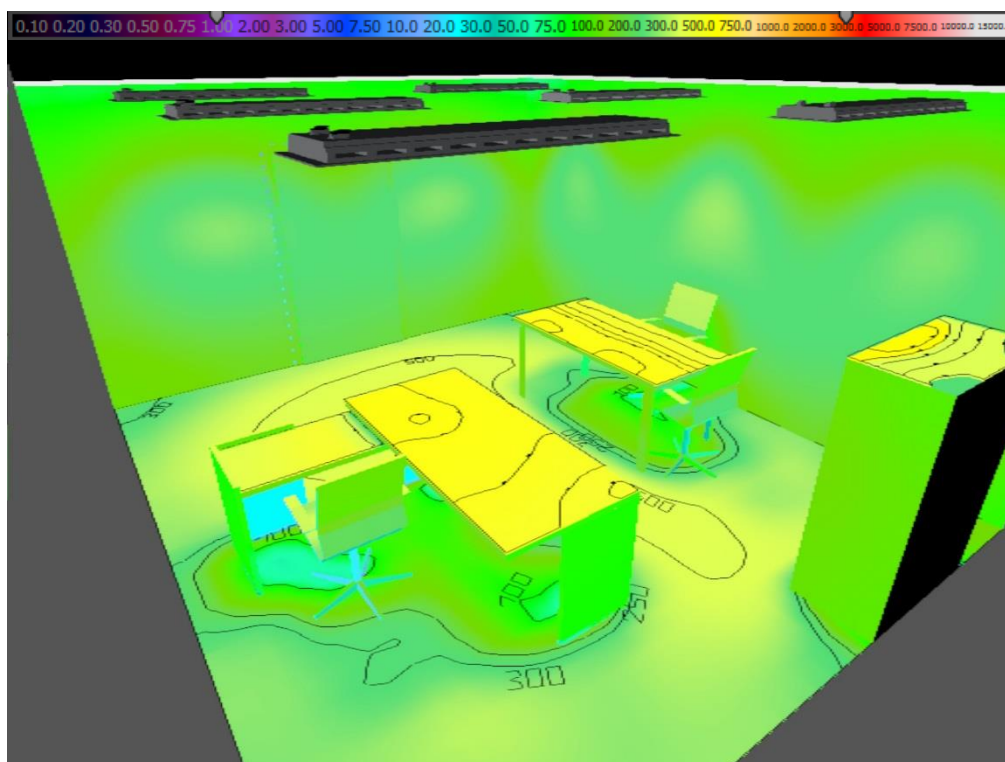
As simulações para a sala do padre são ilustradas na Figura 48 e na Figura 49.

Figura 48 - Representação de cores falsas em 3D da Sala do padre durante o dia



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 49 - Representação de cores falsas em 3D da sala do padre durante a noite

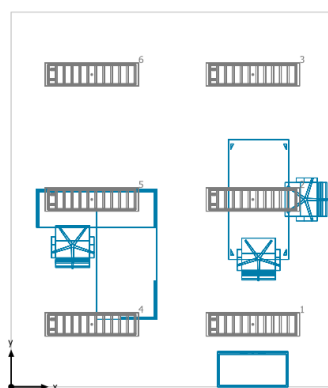


Fonte: Autoria própria, 2019.

Pode-se perceber que para ambas as simulações (dia e noite) os níveis de iluminância nos planos de trabalho estão dentro dos padrões adotados. Deve-se mencionar ainda que ao comparar-se as simulações da Figura 48 e da Figura 49, não existe grande diferença nos níveis de iluminância (como ocorreu para a secretaria e sala do dízimo), isso deve-se ao fato de que não existe muita entrada de luz natural ao sistema.

Assim a fim de atingir-se os níveis de iluminação em projeto, a Figura 50 determina o posicionamento das luminárias na sala do padre. E a Figura 51 determina os valores de medição no caso do método ponto-a-ponto.

Figura 50 - Disposição das luminárias: sala do padre



Fonte: Autoria própria, 2019.

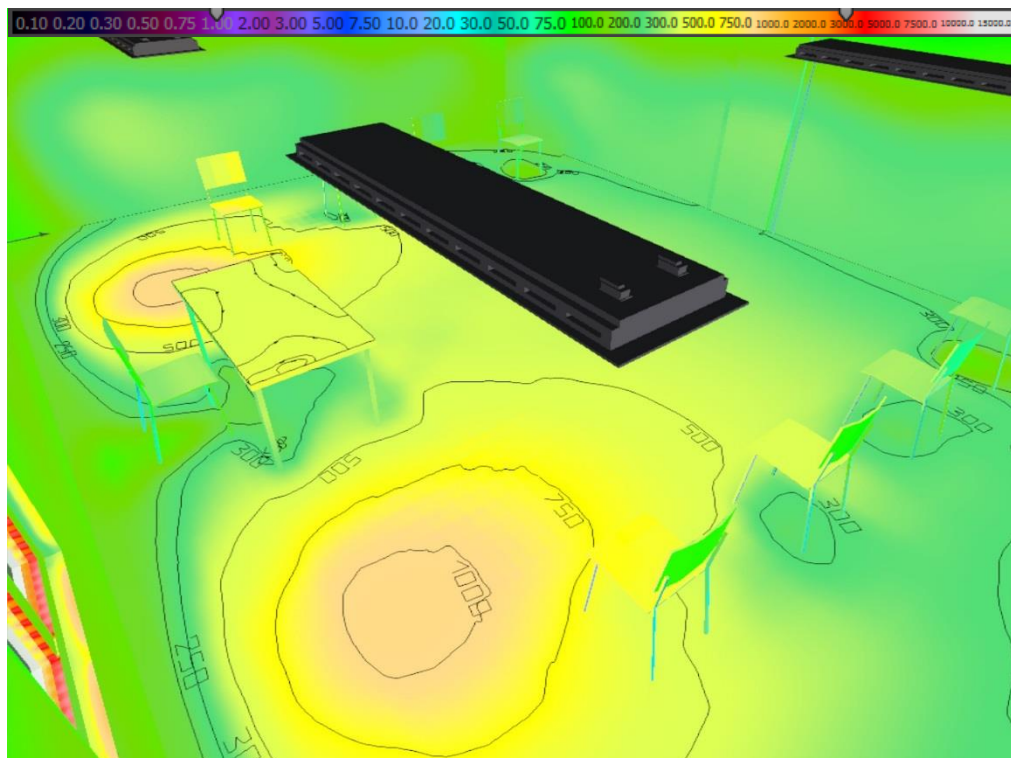
Figura 51 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre

+395	+519	+544	+533	+545	+521	+397
+493	+652	+670	+642	+672	+649	+493
+523	+682	+706	+678	+705	+683	+523
+533	+699	+721	+689	+718	+697	+526
+536	+700	+722	+690	+721	+700	+527
+526	+559	+708	+681	+709	+626	+527
+496	+652	+673	+643	+676	+656	+497
+401	+524	+541	+517	+157	+58	+332

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para a sala de reunião foram efetuadas as mesmas simulações do setor administrativo, assim a simulação para o período diurno esta ilustrada na Figura 52, apresentando os valores acima do minimo estipulado de 500 lx. Tal ambiente possui dois pontos de maior intensidade luminosa devido as janelas situadas na parede externa.

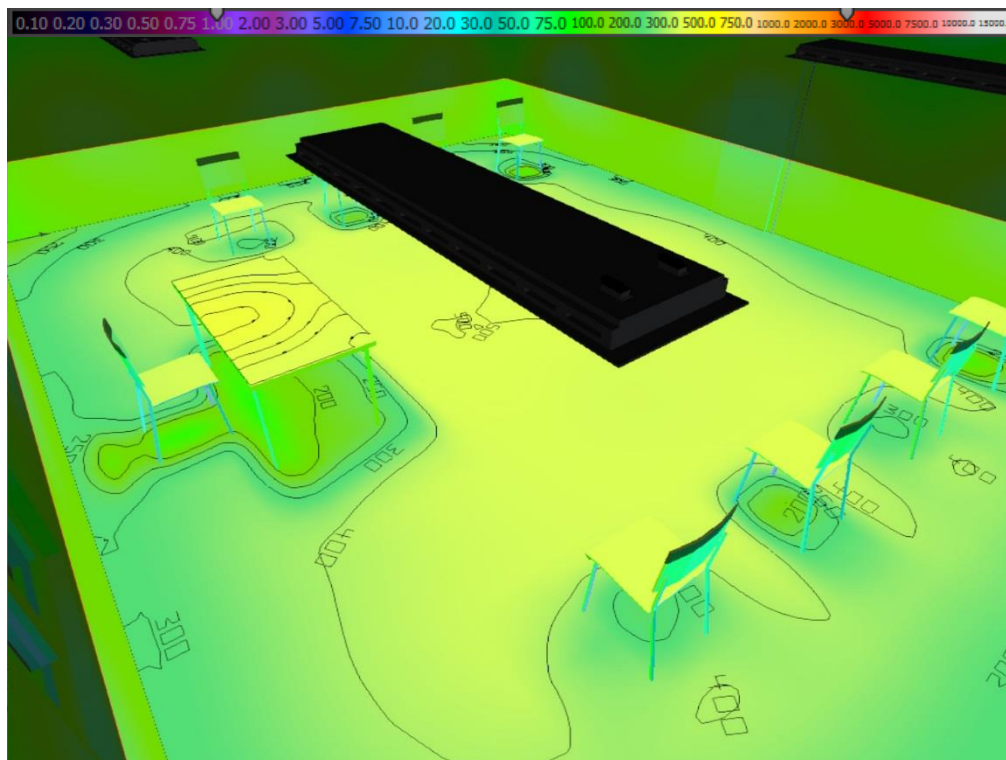
Figura 52 - Representação de cores falsas em 3D da sala de reunião durante o dia



Fonte: Autoria própria, 2019.

Já a Figura 53 ilustra a simulação para o período noturno, onde o sistema de iluminação também atingiu os valores corretos nos planos de trabalho.

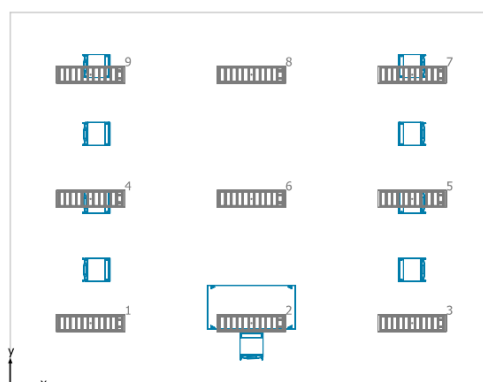
Figura 53 - Representação de cores falsas em 3D da sala de reunião durante a noite



Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim como nos outros ambientes, a disposição correta das luminárias deve ser feita com a finalidade de garantir os níveis de iluminância mais próximos as simulações. Vale salientar que as medições efetuadas para este ambiente podem ser estendidas as outras salas de reunião, pois estas apresentam estrutura física semelhante.

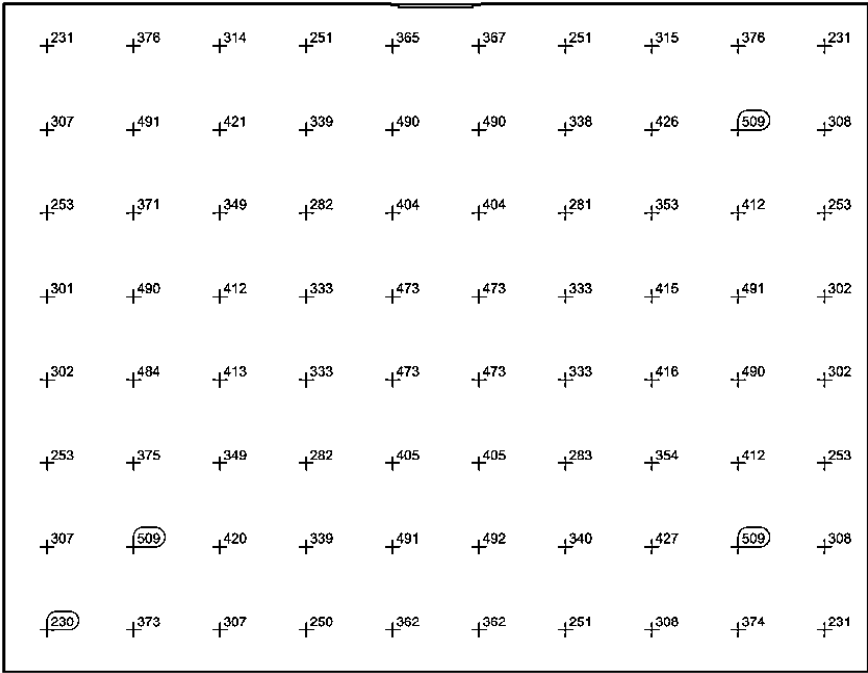
Figura 54 - Disposição das luminárias: sala de reunião



Fonte: Autoria própria, 2019.

Para as medições do método ponto-a-ponto da sala de reunião utiliza-se a Figura 55.

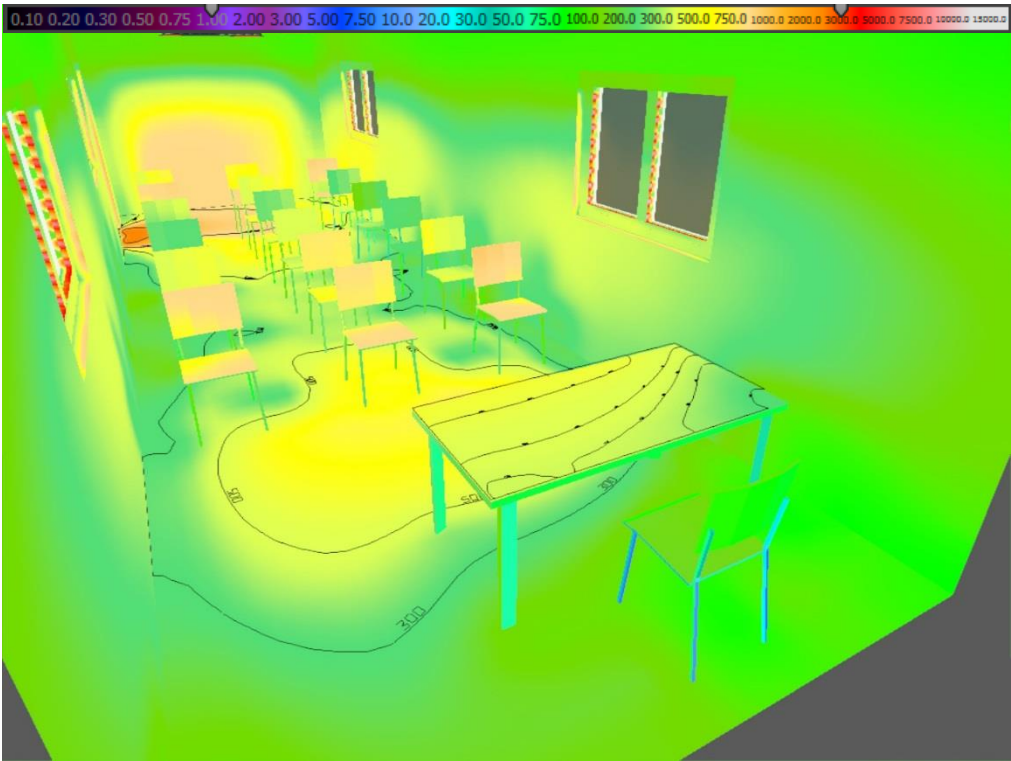
Figura 55 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre



Fonte: Autoria própria, 2019.

Por fim para finalizar as análises feitas no Dialux, o auditorio é representado pe Figura 56 para o perido do dia, como pode ser visto o auditorio possui uma grande quantidade de iluminação natural.

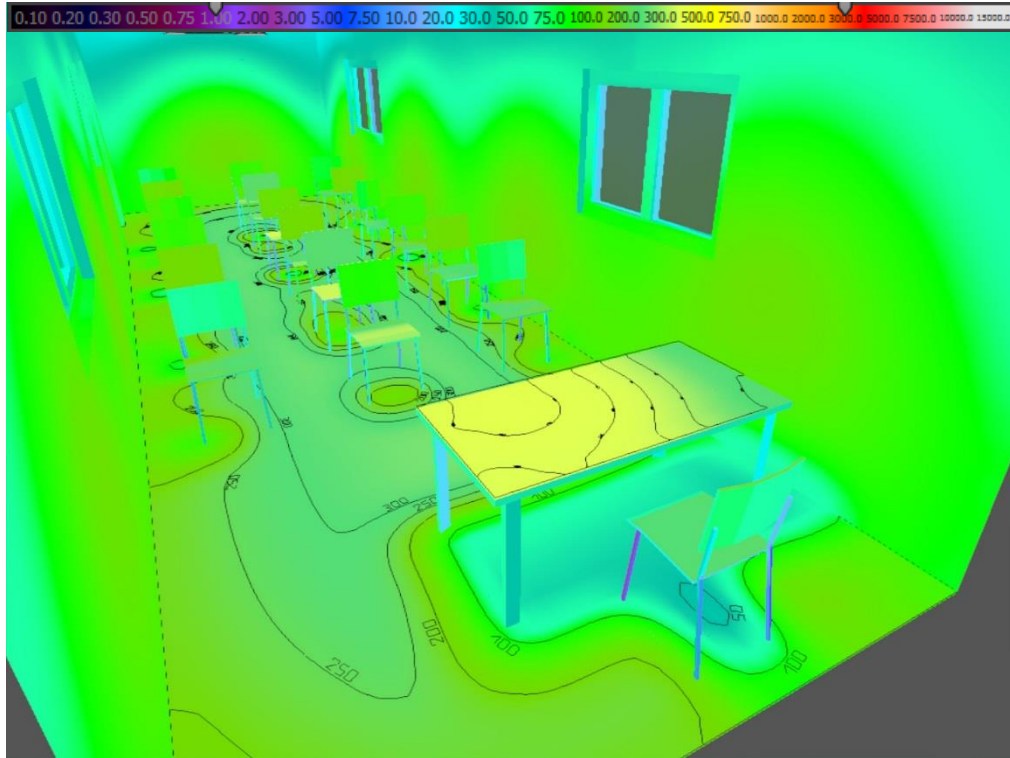
Figura 56 - Representação de cores falsas em 3D do auditório durante o dia



Fonte: Autoria própria, 2019.

Já a Figura 57 ilustra a simulação do auditório para o período da noite, e com pode ser visto este ainda se apresenta dentro dos níveis padrão de 500lx para o plano de trabalho.

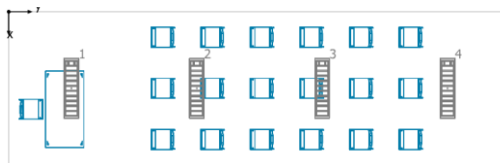
Figura 57 - Representação de cores falsas em 3D do auditório durante a noite



Fonte: Autoria própria, 2019.

Como em todos os ambientes anteriores a disposição das lâmpadas é fundamental para atingir-se os níveis ideais de iluminância em todos planos de trabalho, assim a Figura 58 ilustra o esquema de distribuição das lâmpadas para o auditório e a Figura 59 ilustra os níveis de medição ponto-a-ponto para o auditório.

Figura 58 - Disposição das luminárias: auditório



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 59 - Medições ponto-a-ponto da sala do padre

100	161	206	231	211	162	107
151	242	331	372	332	244	153
181	300	420	465	421	300	191
184	300	417	460	411	300	183
155	245	333	357	337	244	155
121	186	290	297	281	194	125
137	204	291	281	281	195	138
181	284	382	421	381	286	187
197	315	440	465	444	320	203
181	255	400	457	404	286	183
151	236	316	344	315	236	157
135	186	266	296	266	196	133
151	242	315	344	315	242	150
194	256	405	457	405	256	193
206	326	443	485	443	326	205
181	286	386	421	386	281	180
141	216	290	321	291	216	144
131	200	266	296	266	200	130
161	250	336	361	331	250	161
181	311	421	465	421	311	201
191	306	426	476	421	310	198
156	250	336	361	336	250	159
111	167	216	237	181	166	111

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3. ANÁLISE DA ESTIMATIVA DO CONSUMO NO USO FINAL

5.3.1. Sistemas de Iluminação

Para realizar a estimativa do consumo no sistema de iluminação primeiramente foi realizado o levantamento quantitativo das cargas da Instituição, assim tal estimativa resultou nos dados dispostos na Tabela 5, anteriormente ilustrada.

Assim pode-se determinar quais lâmpadas poderiam ser substituídas, como também dito anteriormente, a lâmpada escolhida foi a lâmpada LED Philips modelo BBS465, com características dispostas na Figura 40, assim as substituições propostas são dispostas na Tabela 6.

Tabela 6 – Proposta de substituição de lâmpadas

Ambiente	Modelo da Lâmpada	Qtd	Potência [W]	Fluxo [lm]
Templo	-	0	-	-
Secretaria	LED Philips BBS465	3	39	3800
Sala do dízimo	LED Philips BBS465	3	39	3800
Sala do padre	LED Philips BBS465	6	39	3800
Cozinha e Copa	-	0	-	-
Auditório	LED Philips BBS465	4	39	3800
Sala de reunião 1	LED Philips BBS465	9	39	3800
Sala de reunião 2	LED Philips BBS465	9	39	3800
Sala de reunião 3	LED Philips BBS465	9	39	3800
Sala de reunião 4	LED Philips BBS465	9	39	3800
Banheiros	-	0	-	-
Corredores	-	0	-	-
Almoxarifado	-	0	-	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para o cálculo do consumo do atual sistema foi considerado que as lâmpadas fluorescentes de 32W e 40W, por serem tubulares, necessitam de reator eletrônico, assim foi adicionado a potência de 17W em cada uma das lâmpadas referente ao reator.

Assim a Tabela 7 dispõe os dados referentes a proposta de melhoria no sistema, onde podem ser identificados os valores de consumo e fatura, atual e para o modelo proposto, bem como os valores de investimento necessário para a mudança no sistema sua economia gerada e o tempo de retorno do investimento.

Assim para deixar o sistema dentro dos padrões da norma NBR ISO/CIE 8995-1, são necessários R\$ 3.640,00 de investimento, referentes a 52 lâmpadas cotadas a R\$ 70,00 cada unidade. Esta troca irá gerar uma economia anual de R\$ 487,32, sendo necessários 7 anos e 6 meses para o investimento ser pago.

Tabela 7 - Proposta de substituição de lâmpadas

Modelo	Consumo de energia	Fatura mensal	Investimento	Economia gerada	Payback simples
Atualmente	302,70 kW/h	R\$ 275,65			
Proposta	256,82 kW/h	R\$ 235,04	R\$ 3640,00	R\$ 487,32	7 anos e 6 meses

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.2. Sistemas de Climatização e Refrigeradores

Igualmente ao realizado no sistema de iluminação o sistema de refrigeração (seja com o intuito de climatização ou conservação de alimentos) recebeu o mesmo procedimento com relação ao levantamento de cargas, resultando assim nos dados dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Equipamentos do sistema de refrigeração

Equipamento	Marca	Qtd	Modelo	Capacidade	Potência	Classificação
AC	LG	1	TSUC122TNW5	12.000 Btu/h	1085 W	A
Refrigerador 1	Dako	1	DR280	254 ℓ	1033 W	D
Refrigerador 2	Consul	1	CRB36A	300 ℓ	1183 W	A
Freezer	Electrolux	1	H500	477 ℓ	2700 W	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim de posse de tais dados foram selecionados aparelhos que poderiam substituí-los, conservando a capacidade com um melhor nível de aproveitamento energético. Os dados obtidos com tal seleção estão dispostos na Tabela 9:

Tabela 9 - Equipamentos para substituição dos atuais

Equipamento	Marca	Qtd	Modelo	Capacidade	Potência	Classificação
AC	DAIKIN	1	FTK18P5VL	18.000 Btu/h	1437 W	A
Refrigerador 1	Esmaltec	1	ROC35	259 ℓ	730 W	A
Refrigerador 2	-	0	-	-	-	-
Freezer	Electrolux	2	H222	222 ℓ	1133 W	A

Fonte: Autoria própria, 2019.

Como equipamentos de freezer com capacidade acima de 390 litros não possuem boa classificação ENCE, optou-se por sugerir a mudança por dois equipamentos de menor capacidade que somadas sejam equivalentes ao em uso atualmente, porém que possuem certificação PROCEL, selo ENCE A.

No caso do ar condicionado (AC), primeiramente realizou-se o dimensionamento de acordo com a Tabela 1, utilizando-se os dados referentes ao ambiente, então percebeu-se que o equipamento a ser utilizado de acordo com este método deveria possuir uma capacidade de

18.000 Btu/h, porém como tal método é simplificado elaborou-se duas propostas, uma delas com substituição do AC, e outra não substituindo o AC, caso este esteja suprindo os requisitos de conforto do usuário adequadamente.

A Tabela 10 dispõe as duas propostas de melhorias do sistema, apresentando o valor do investimento necessário, a economia gerada mensalmente e o tempo de retorno para o investimento, calculado através da Equação (12).

Tabela 10 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de refrigeração.

Modelo	Consumo de energia	Fatura mensal	Investimento	Economia gerada	Payback simples
Atualmente	1265,78 kW/h	R\$ 1152,70			
Proposta 1	1061,99 kW/h	R\$ 967,11	R\$ 7996,50	R\$ 2227,08	3 anos e 7 meses
Proposta 2	1026,79 kW/h	R\$ 935,06	R\$ 5300,00	R\$ 2611,68	2 anos e 10 dias

Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim para que o sistema apresente um melhor nível de eficiência e esteja em conformidade com a NBR ISO/CIE 16401-1, são necessários R\$ 7.996,50 de investimento, referentes a um ar condicionado cotado em R\$ 2.696,50, um aparelho refrigerador cotado no valor de R\$ 1.300,00, e dois freezers de R\$ 2.000,00 cada, esta proposta tem previsão de gerar cerca de R\$ 2.200,00 R\$ de economia anualmente, necessitando pouco mais de 3 anos e meio para o investimento ser retornado.

Caso a segunda proposta seja escolhida, o investimento inicial seria de R\$ 5.300,00, pois o ar condicionado não seria trocado, gerando uma economia anual de R\$ 2611,68 levando assim pouco mais de 2 anos para pagar o investimento.

5.3.3. Sistemas de Ventilação

Analogamente aos sistemas apresentados anteriormente o sistema de ventilação passou pelo mesmo procedimento para levantamento de carga, assim os dados obtidos estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Equipamentos do sistema de ventilação

Equipamento	Marca	Qtd	Modelo	Capacidade	Potência	Classificação
Ventilador	Arge	6	Max200W	1,281 m ³ /s	232,0 W	C/D/C
Ventilador	Arge	4	Max60coluna	1,021 m ³ /s	217,3 W	D/D/A
Ventilador	Arge	14	Stylo50	0,879 m ³ /s	125,2 W	C/B/A

Fonte: Autoria própria, 2019.

Utilizando-se do mesmo procedimento para seleção dos aparelhos propostos para substituição, os dados obtidos resultaram na Tabela 12. Pode-se notar que além da classificação de eficiência energética ser melhor, a capacidade de vazão de todos os equipamentos selecionados também é maior, isto se deu pelo fato de que os equipamentos semelhantes aos atuais com melhor certificação nas Tabelas INMETRO não possuem capacidade mais baixas, assim o conforto ao usuário não apresentou prejuízos.

Tabela 12 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de ventilação

Equipamento	Marca	Qtd	Modelo	Capacidade	Potência	Classificação
Ventilador	Dal Moro	6	Vent600 Acapulco	1,336 m ³ /s	144,2 W	A/A/A
Ventilador	Dal Moro	4	Vent700 Veneza	1,486 m ³ /s	188,1 W	A/A/A
Ventilador	Britânia	14	MegaTurbo 50six	1,120 m ³ /s	108,0 W	A/A/A

Fonte: Autoria própria, 2019.

Por fim a Tabela 13, apresenta a proposta de melhoria do sistema bem como seus investimento e tempo de retorno necessários, de acordo com a economia gerada.

Assim a Tabela 13 apresenta uma proposta que necessita de R\$ 2.520 de investimento inicial, referentes a seis ventiladores de parede Acapulco no valor de R\$ 310,00 cada, 4 ventiladores de coluna Veneza no valor de R\$ 480,00 cada e 14 ventiladores de parede MegaTurbo no valor de R\$ 180,00 cada. Tal investimento irá gerar uma economia anual de 945,60, necessitando assim 2 anos e 8 meses de tempo de retorno do investimento.

Tabela 13 - Proposta de substituição de aparelhos do sistema de ventilação

Modelo	Consumo de energia	Fatura mensal	Investimento	Economia gerada	Payback simples
Atualmente	337,62 kW/h	R\$ 307,45			
Proposta	251,08 kW/h	R\$ 228,65	R\$ 2520,00	R\$ 78,80	2 anos e 8 meses

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.4. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO

5.4.1. Sistemas de Iluminação

Como a edificação enquadra-se na primeira metodologia apresentada, método da área do edifício esta foi a metodologia utilizada.

Considerando que o edifício possui apenas uma atividade principal sendo esta definida de acordo com o RTC-Q com atividade de Igreja/Templo, esta apresenta as Densidades de Potência Limite de acordo com a Figura 60.

Figura 60 - Níveis de DPIL para igreja de acordo com o RTQ-C

Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4

Fonte: Adaptado de PROCEL, 2016.

Assim para área total da Igreja da 1.669,32 m² tem-se que as potências instaladas máximas são dados pela Tabela 14.

Tabela 14 - Cálculo da potência limite

Potência limite – Nível A	Potência limite – Nível B	Potência limite – Nível C	Potência limite – Nível D
18.863,32 W	21.701,16 W	24.539,01 W	27.376,85 W

Fonte: Autoria própria, 2019.

Utilizando-se os dados da Tabela 5 a instalação possui atualmente uma potência de 4.519 W, já considerados os reatores para as lâmpadas fluorescente tubulares, sendo classificada então como nível A em eficiência energética.

Caso as mudanças propostas sejam efetuadas a potência do sistema será de 3.923 W, de acordo com a Tabela 6, estando ainda dentro do nível A de eficiência energética.

5.4.2. Sistemas de Climatização

Como o sistema de climatização é composto por apenas um aparelho, a Equação (8) resulta no equivalente numérico corresponde a este aparelho, que como explicitado anteriormente possui classificação A, assim para classificar o sistema de climatização de acordo com o sistema de classificação ENCE adotado pelo PBE, ainda necessita-se verificar o nível de isolamento térmico da instalação.

Como pode ser visto da Figura 61 o isolamento térmico da instalação caracteriza-se pelo segundo modelo apresentado na Figura 23, estando dentro dos limites aceitáveis, e aparentemente em bom estado de conservação. Assim pode-se classificar o sistema de climatização da instituição com nível A de eficiência.

Figura 61 - Isolação térmica do sistema de climatização



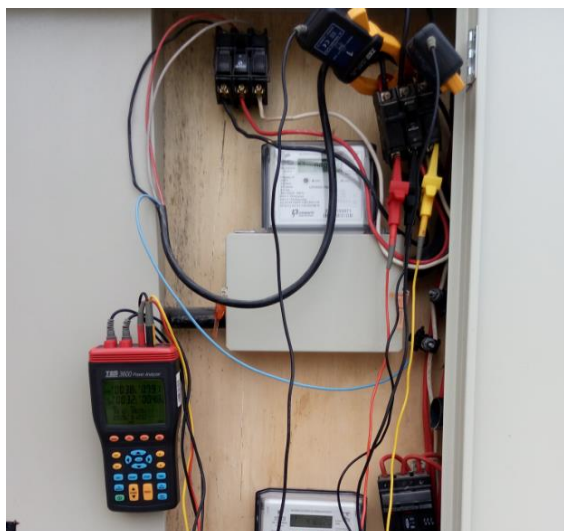
Fonte: Autoria própria, 2019.

Caso o sistema seja substituído por qualquer uma das duas propostas realizadas, o nível de eficiência permanecerá o mesmo, pois os equipamentos selecionados possuem mesmo nível de eficiência, e considera-se que ao realizar-se uma nova instalação essa estará dentro dos padrões e limites determinados em norma.

5.5. ANÁLISE DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)

Como explicitado anteriormente as medidas referentes aos indicadores de qualidade de energia foram realizadas com o analisador de energia politerm TES-3600, a Figura 62 ilustra o mesmo conectado ao Quadro Geral de Distribuição (QGD) da Instituição. Onde os *leads*³ de tensão foram conectados ao disjuntor geral e as sondas de corrente “abraçam” os cabos dos circuitos alimentadores.

Figura 62 - Conexão do Analisador de energia ao QGD



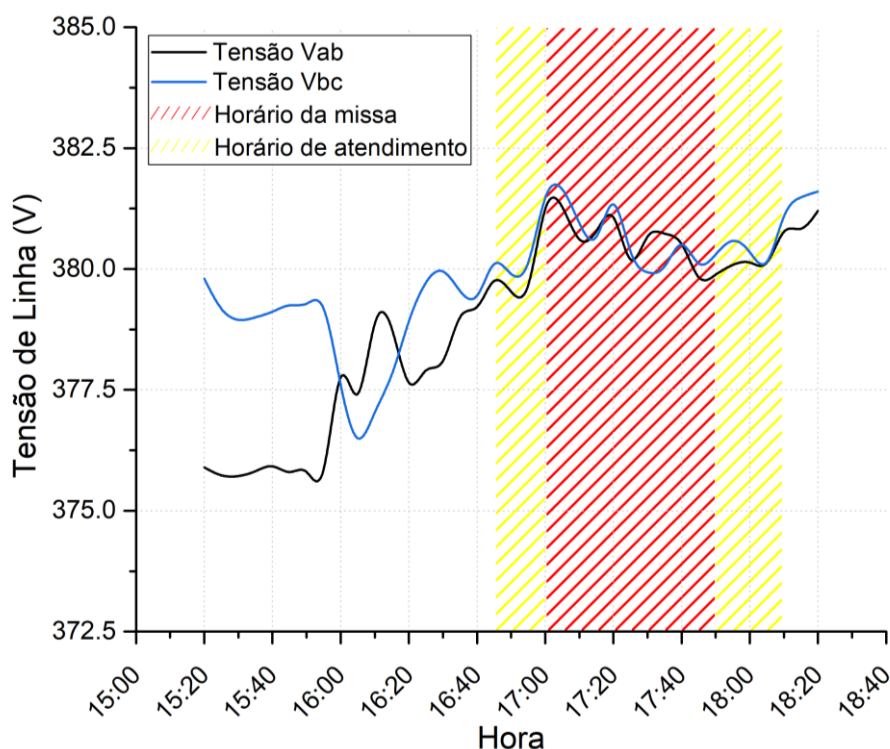
Fonte: Autoria própria, 2019.

³ Termo utilizado no manual do equipamento para se referir as pontas de prova de medição de tensão.

Após efetuada a conexão do analisador ao sistema foram realizadas as medições de acordo com a metodologia anteriormente descrita. A seguir são descritos os resultados obtidos após o tratamento dos dados.

As medições referentes ao nível de tensão em regime permanente são ilustradas pela Figura 63, nesta figura é possível ver que apesar desta apresentar significantes variações manteve-se dentro dos limites da faixa adequada a operação do sistema, como estabelece o PRODIST – Módulo 08.

Figura 63 - Comportamento das tensões ao longo das medições

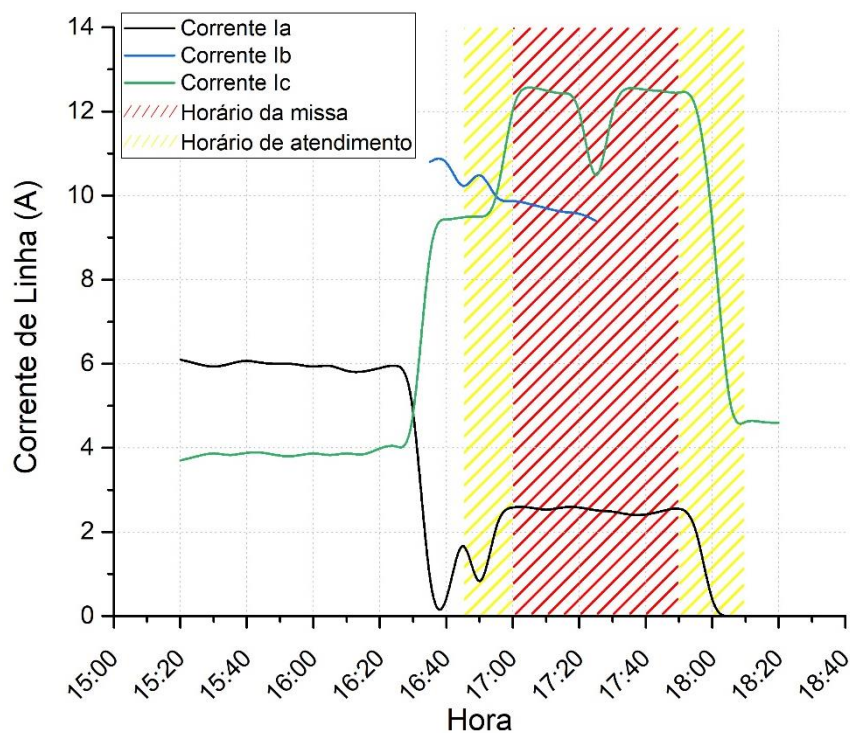


Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 64 ilustra os dados referentes as medições de corrente efetuadas. Como pode ser visto devido ao método de ligação do equipamento (ilustrado pela Figura 33), somente foram efetuadas medições de corrente nas fases A e C, porém durante as medições percebeu-se que a corrente na fase A havia “zerado”, então durante o intervalo de medições, o equipamento foi conectado a fase B para averiguação da corrente naquele ramo do sistema, apresentando assim os níveis de corrente ilustrados.

Assim como pode ser visto na Figura 64 existe um alto nível de desequilíbrio entre as fases do sistema, o que deve ser corrigido com certa urgência, pois este problema acarreta em altos níveis de corrente no neutro bem como o aquecimento anormal de barramentos e condutores, diminuindo assim sua vida útil podendo causar acidentes.

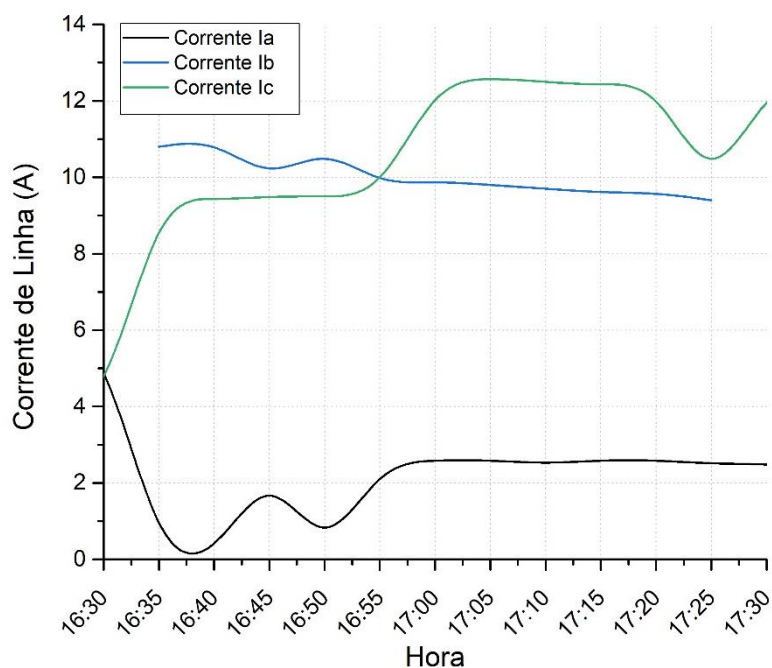
Figura 64 - Comportamento das correntes ao longo das medições



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 65 apenas ilustra mais detalhadamente a corrente na Fase B. Assim diante da Figura 64 e da Figura 65 bem como o explicitado anteriormente, as medições das correntes do sistema significam que este apresenta um alto nível de desequilíbrio.

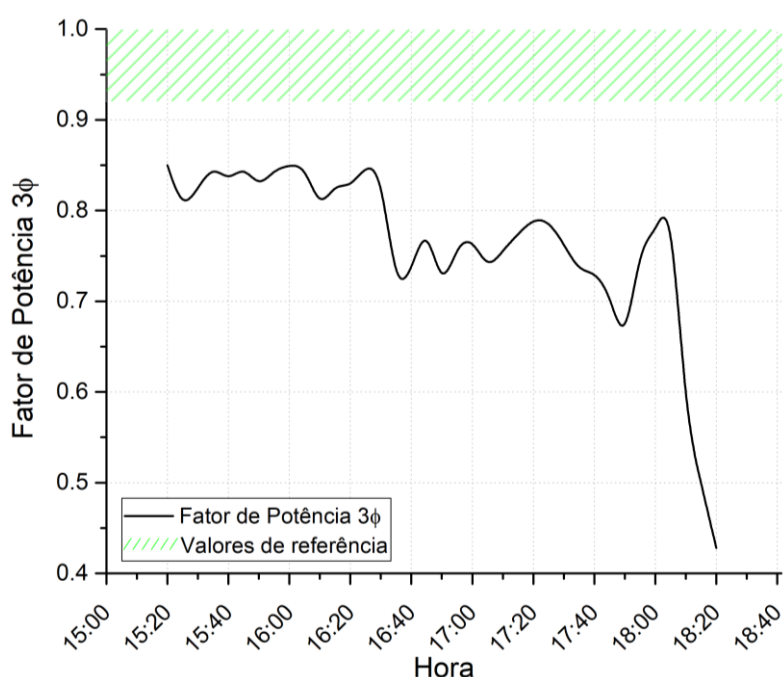
Figura 65 - Detalhe Corrente Ib



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 66 ilustra os valores medidos de fator de potência, como pode ser percebido durante todo o tempo de medição os valores ficaram abaixo dos limites de referência (0,92 a 1,00), estabelecidos no PRODIST- Módulo 08, no início das medições apenas o setor administrativo estava em funcionamento na instituição, com poucas cargas em operação o sistema apresentou um fator de potência acima de 0,8. Na sequência a maior parte das cargas do sistema entrou em operação devido ao início dos preparativos para missa, horário por volta das 16:40h, o que acarretou a queda do fator de potência para valores entre 0,7 e 0,8. E ao final das medições o fator de potência apresentou uma queda brusca ficando abaixo de 0,55.

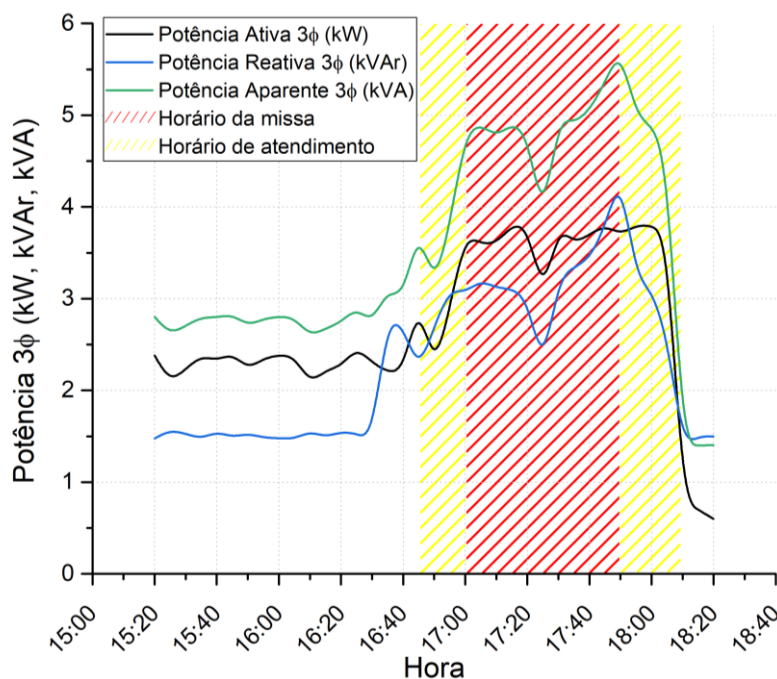
Figura 66 - Comportamento do fator de potência ao longo das medições



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 67 ilustra as potências consumidas instantaneamente pelo sistema, estas aconteceram de acordo com o esperado, visto que inicialmente estas apresentaram valores moderados, pois somente o setor administrativo operava, em seguida seus valores se elevaram devido ao horário de atendimento (preparos iniciais e finalização da missa) e ao horário da missa, e ao final onde não apenas alguns eletrodomésticos permaneciam ligados estas apresentaram os menores valores medidos.

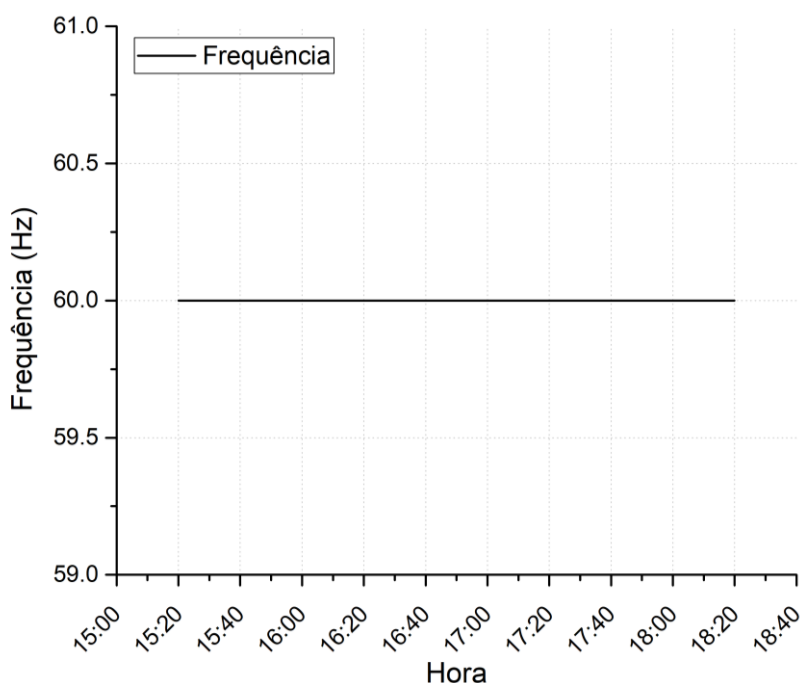
Figura 67 - Comportamento das potências ao longo das medições



Fonte: Autoria própria, 2019.

Por fim, a Figura 68 apresenta as medições de frequência efetuadas, onde esta apresentou sempre seu valor nominal de 60 Hz.

Figura 68 - Comportamento da frequência ao longo das medições



Fonte: Autoria própria, 2019.

Diante dos resultados obtidos sugere-se uma avaliação mais profundo, para determinar mais precisamente os padrões da instituição. Visto que os valores atuais indicam a necessidade de aplicação de um banco de capacitores ou filtro harmônico, no entanto o primeiro pode

acarretar/intensificar os harmônicos na rede. Mesmo que o cliente não precise pagar por excesso de energia reativa consumida, ou seja, este não é obrigado a manter seu fator de potência dentro do estabelecido no PRODIST, este fator está relacionado diretamente com a perda de energia útil tanto por campos de magnetização como por aquecimento dos condutores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo destina-se a ilustrar as conclusões sobre os resultados obtidos ao final do trabalho, assim como melhorias que podem ser realizadas em futuros trabalhos.

6.1. CONCLUSÕES

Ao final da realização do presente trabalho pôde-se concluir que os níveis de iluminância são de alta importância para a realização das tarefas, e que apesar do nível de eficiência da Instituição ter obtido uma boa classificação quanto a metodologia utilizada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, esta não era adequada a realização das tarefas pretendidas, o que somente é possível com a adequação do sistema de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1.

Vale salientar ainda que para economia de energia bem como financeira, somente a utilização de aparelhos com altos índices de eficiência não causam resultados efetivos, esta ação necessita ser acompanhada de outras medidas para a efficientização do consumo, tais como: utilização de sensores de presença, relés foto elétricos, em ambientes de pouco fluxo; vedação adequada de portas e janelas, diminuindo as trocas térmicas de um ambiente climatizado; utilização dos aparelhos de acordo com o recomendado pelo fabricante; manutenção e limpeza adequadas; dimensionamento correto, feito por profissionais capacitados; entre outros.

Ainda que medidas propostas parecem adequadas e viáveis é sempre necessário um estudo econômico de viabilidade, visto que quando trata-se de mudanças em equipamentos ou o *retrofit* destes alto níveis de investimento inicial são necessários, assim a análise da viabilidade econômica ajuda na visualização do custo benefício das medidas a serem tomadas.

Assim relação a estimativas de consumo no uso final bem como as melhorias propostas nota-se que estas inicialmente não possuem uma boa viabilidade, visto que estas possuem alto custo de investimento, como foi demonstrado, porém seu tempo de retorno torna-se muito demorado devido à baixa taxa de retorno mensal/anual. Além disso inclui-se toda a mão de obra relativa as mudanças necessárias as propostas inviabilizando sua implantação.

Além da implantação de todas as medidas anteriormente descritas para o melhoramento da eficiência do sistema, a implantação de um Sistema de Gestão Energética como disposto na NBR ISO 50001, é de grande valia, pois como descrito o melhoramento da eficiência é cíclico, e sempre deve estar em pauta, sendo analisadas e tomadas ações afirmativas quanto ao tema.

Com relação a Qualidade de Energia Elétrica, os indicadores utilizados são de extrema importância, pois uma má qualidade de energia interfere diretamente na qualidade dos processos desenvolvidos pela Instituição ou empresa, podendo acarretar grandes perdas. A Qualidade de Energia também possui forte influência sobre a eficiência energética, visto que indicadores como o fator de potência, está ligado diretamente a transformação da energia consumida em energia útil.

Ainda quanto a qualidade de energia, além de definir a qualidade dos processos e estar ligada a eficiência energética, esta pode também indicar segurança, ou a falta dela, aos usuários do sistema, por exemplo, harmônicos podendo causar ressonância gerando altos níveis de tensão em determinados pontos do sistema; sistemas fortemente desequilibrados, acarretam em altas correntes de neutro, o que influi no aumento da temperatura dos barramentos e condutores.

Para trabalhos futuros recomenda-se um estudo mais detalhado sobre todos os índices de Qualidade de Energia Elétrica, para então realizar a tomada de decisão, quanto a metodologia de correção, com forte embasamento. Com relação aos níveis de eficiência recomenda-se, caso possível, o acompanhamento da implantação das medidas propostas para garantir o correto funcionamento destas, e ainda a elaboração de um Sistema de Gestão Energética, com a finalidade do melhoramento contínuo do sistema, bem como documentação e realização do histórico das mudanças, facilitando o um futuro levantamento de dados.

Um ponto a ser estudo seria a viabilidade de implantação de uma microgeração distribuída através de uma planta fotovoltaica, bem como a comparação de seus valores de investimento e *payback* com as medidas de *retrofit* aqui propostas, a fim de saber-se qual seria a melhor saída para a diminuição dos custos financeiros.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (Org.) **ABNT Catálogo: Segurança, Qualidade, Padrão e Confiança**. 2019 [online] Disponível em < <https://www.abntcatalogo.com.br/> > Acesso em 27/02/2019.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (Org.) **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interiores**. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (Org.) **NBR ISO/CIE 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (Org.) **NBR ISO 50001: 2018 –Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro – RJ, 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (Org.) **O DESAFIO DA INTEGRAÇÃO - Programas de eficiência energética buscam somar forças para aumentar a efetividade das políticas voltadas ao uso eficiente e racional de energia**. Revista Eficiência Energética. Vol. 1. Nº. 1. 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (Org.) **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 2018 [online] Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>> Acesso em 28/02/2019.

CASTRO, Degmar Felgueiras. **Eficiência energética aplicada a instalações elétricas residenciais**, Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, 2015. [online] Disponível em < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013941.pdf> > Acesso em 14/11/2018.

CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (Org.) **CONPET – Ação Local, Benefício Global**, 2012. [online] Disponível em <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml> Acesso em 25/01/2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Org.) **Plano Nacional de Energia**. 2019. [online] Disponível em < <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-pne> > Acesso em 25/01/2019

FIORINI, Thiago Moraes Sírío. **PROJETO DE ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES INTERNOS ESPECIAIS**, Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES, 2006. [online] Disponível em < https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/interiores/projeto_de_iluminacao_de_ambientes_internos_especiais.pdf > Acesso em 15/02/2019

GUERRA, Maria Izabel da Silva. **Uso eficiente da energia elétrica e conservação de energia**. 2017. 145 slides.

HOLANDA, Samanta Mesquita de. **Eficiência na Iluminação**. 2017. 52 slides

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers (Org.). **IEEE standard 739-1995 IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities.** New York – NY, 1996.

JEGUNDO, Rafael. **Development and monetization of an energy data and analytics platform**, Dissertação (Master of Science in Physics Engineering). Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra. Coimbra – PT, 2012. [online] Disponível em < https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/25202/1/rafael_jegundo.pdf > Acesso em 14/11/2018.

LOUREIRO, Mario A. F. **Manuais didáticos de mecânica – Pneumática: ventiladores**, Coimbra – PT, 2012. [online] Disponível em < <http://www.marioloureiro.net/ensino/manuais/pneumatica/ventiladores.doc> > Acesso em 27/02/2019.

Maheswaran, D. et al. **Energy efficiency in electrical systems**. Apresentado em IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). Bangalore - IN - 2012 pp. 1-6

MARQUES, M. C. S. et al. **Eficiência Energética: Teoria & Prática**. 1 ed. Itajubá: FUPAI, 2007.

NORMAS BRASIL. **Portaria INMETRO nº 20 de 18/01/2012**. 2012 [online] Disponível em <http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-20-2012_236231.html> Acesso em 27/02/2019.

OSRAM (org.) **Produtos LED e Tradicional**. s.d. [online] Disponível em <https://www.osram.com.br/ds/ecat/L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems-/br/pt/GPS01_3122071/PP_LATAM_BR_eCat/> Acesso em 10/02/2019

POLITERM. **ANALISADOR DE ENERGIA – 3P4W – MODELO 3600: MANUAL DE INSTRUÇÕES**. São Paulo – SP, s.d..

PÓVOA, Marcos Brito L. **FATORES DE INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, 2014. [online] Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010700.pdf>> Acesso em 25/02/2019.

PROCEL (Org.) **Manual para aplicação do RTQ-C**. 4 ed. Brasil, 2017. 213 p. [online] Disponível em < http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf > Acesso em 19/02/2019.

PROCEL INFO (Org.) **Resultados do PROCEL**. 2017. [online] Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={EC4300F8-43FE-4406-8281-08DDF478F35B}>> Acesso em 25/01/2019.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. 3 ed. revista e ampliada. Itajubá: Editora EFEI. 2006.

VALE, Rafael Alex Vieira do. **Proposta de aplicação de técnicas de consumo eficiente de energia no IFRN Campus Mossoró**, Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia.). Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA. Mossoró – RN, 2016.