



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADAS AO HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA (HUB)**

**Autor: Álvaro Lopes Machado
Orientador: Prof.º Dr. Flávio H. J. da Silva**

**Brasília, DF
2018**



Álvaro Lopes Machado

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADAS AO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA (HUB)**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof^o Flávio H. J. da Silva

**Brasília, DF
2018**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Machado, Álvaro Lopes.

Análise de alternativas de eficiência energética aplicadas ao Hospital Universitário de Brasília (HUB) - DF. Brasília: UnB, 2018. p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Flávio H. J. da
Silva

1. Hospital Universitário de Brasília (HUB). 2. eficiência energética. 3. sistema de aquecimento solar. I. da Silva, Flávio H. J.

CDU Classificação



REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA

Álvaro Lopes Machado

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Nome do Curso) da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação dd/mm/aa) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. (Doutor): Flávio Henrique. J. da Silva, UnB/ FGA
Orientador

Prof. (Doutor): Luís Filomeno de Jesus Fernandes, UnB/FGA
Membro Convidado

Membro Convidado

Brasília, DF
2018

Esse trabalho é dedicado às pessoas que sempre me acompanharam na minha trajetória acadêmica, profissional e pessoal. Obrigado por todos os ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado inteligência e capacidade para correr atrás dos meus sonhos e de todos os objetivos que estou alcançando na minha vida.

Não menos importante, agradeço meu pai e minha mãe por me fornecerem todo o apoio financeiro e psicológico para seguir em frente na minha carreira acadêmica.

Esse trabalho é fruto da ajuda de várias pessoas na minha vida, desde supervisores de estágio até familiares. Deixo aqui meu agradecimento especial ao meu primo Phelipe, a minha irmã Jéssica, a minha namorada Raquel e ao meu companheiro de jornada acadêmica Nicholas.

Deixo aqui um agradecimento especial a minha supervisora de estágio Mariana Philomeno, que me auxiliou, em todos os aspectos, no período de realização deste trabalho. Obrigado.

Por fim, dedico esse trabalho a minha mãe que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida e sempre me incentivou a correr atrás dos meus sonhos. Isso é só o começo da minha história vitoriosa.

RESUMO

A proposta deste trabalho é avaliar a eficiência do uso da energia elétrica em um Hospital brasileiro conhecido como Hospital Universitário de Brasília (HUB), localizado na região administrativa do Plano Piloto, em Brasília-DF. Portanto, para atingir o objetivo principal deste trabalho, a viabilidade técnica-econômica proveniente das soluções de eficiência energética propostas no sistema de iluminação, condicionamento de ar, tarifação elétrica e no sistema de aquecimento da água serão analisadas neste estudo de caso. Ademais, um sistema de aquecimento solar será dimensionado para substituir o antigo sistema de aquecimento elétrico e para reduzir as despesas com a energia elétrica do HUB.

Palavras-chave: Hospital Universitário de Brasília (HUB), eficiência energética, sistema de aquecimento solar.

ABSTRACT

The purpose of this work is to evaluate the efficient use of the electric energy at a Brazilian Hospital called Hospital Universitário de Brasília (HUB), located in the administrative region of the Plano Piloto, in Brasilia-DF. Therefore, to achieve the primary objective of this work, the technical-economic feasibility coming from the proposed energy efficiency solutions in the lighting system, air conditioning, electricity tariffs and in the water heating system will be carried out in this case study. Besides, a solar heating system will be dimensioned to replace the old electric water heating system and to reduce the expenses with HUB's electrical energy.

Keywords: Hospital Universitário de Brasília (HUB), energy efficiency, solar heating system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo de potências para correção do fator de potência. Fonte: MACHADO et al., 2016.	24
Figura 2 – Comparativo de eficiência luminosa entre os diferentes tipos de lâmpadas. Fonte: EMPALUX, 2018.	33
Figura 3 - Esquema de classificação das lâmpadas elétricas de acordo com seus princípios de funcionamento.....	34
Figura 4 - (a) Componentes do ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor de um ar-condicionado e (b) Esquema do diagrama P-h do ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor de um ar-condicionado. Fonte: ÇENGEL; BOLES, 2013.	35
Figura 5 - Ar condicionado do tipo Janela. Fonte: WEBARCONDICIONADO, 2018.	37
Figura 6 – Ar condicionado do tipo <i>Split</i> . Fonte: PROCEL, 2011.	39
Figura 7 - Ar-condicionado do tipo <i>Self-contained</i> . Fonte: PROCEL, 2011.....	40
Figura 8 – Critério de classificação em relação ao COP dos ares-condicionados do tipo <i>Split</i> . Fonte: INMETRO, 2018.	43
Figura 9 - Representação dos componentes do Coletor solar plano fechado. Fonte: COMGÁS, 2011.	46
Figura 10 - Coletor solar plano aberto. Fonte: COMGÁS, 2011.	47
Figura 11 – Coletor solar com tubos à vácuo. Fonte: COMGÁS, 2011	48
Figura 12 - Representação de um reservatório térmico horizontal. Fonte: KOMECO, 2018.	49
Figura 13 - Registro Misturador Solar. Fonte: SOLETROL, 2018.	50
Figura 14 - Sistema de Aquecimento Solar composto pelo Registro Misturador Solar. Fonte: SOLETROL, 2018.	50
Figura 15 - Circuito hidráulico primário e secundário de um sistema de aquecimento solar. Fonte: Adaptado de INETI, 2006.	52
Figura 16 - Esquema de um arranjo em série de coletores solares. Fonte: INETI, 2006.	53
Figura 17 - Esquema de um arranjo em paralelo de coletores solares. Fonte: CAMPANIÇO, 2010.....	53
Figura 18 - Circuito primário de um sistema de Circulação Natural ou Termossifão. Fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2008.	55
Figura 19 - Representação do circuito primário de um Sistema Ativo ou de circulação Forçada. Fonte: NETO et al., 2017.	56
Figura 20 - Imagem aérea do HUB. Fonte: <i>GOOGLE EARTH</i> Adaptado, 2018.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divisão de Subgrupos em relação à tensão de fornecimento. Fonte: ANEEL, 2010.....	17
Tabela 2 – Estrutura Tarifária do Grupo A. Fonte: CARVALHO et al., 2016.	19
Tabela 3 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária Convencional.	20
Tabela 4 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária horária Verde.	20
Tabela 5 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária horária azul.	21
Tabela 6 – Temperatura de Cor de acordo com o PROCEL. Fonte: PROCEL, 2011.	28
Tabela 7 – Classificação das lâmpadas fluorescentes de acordo com o diâmetro do bulbo. Fonte: SILVA, 2004.	31
Tabela 8 – Comparação das capacidades de refrigeração, das vantagens e das desvantagens entre os ares-condicionados do tipo expansão direta.....	41
Tabela 9 - Valores das Irradiações Solares na Região Administrativa do Plano Piloto (Asa Norte - DF). Fonte: SOL, 2018.	64
Tabela 10 - Composição e características do sistema de iluminação atual.	66
Tabela 11 - Composição e características do sistema de condicionamento de ar atual.....	67
Tabela 12 – Significado e unidade de medida das variáveis de entrada.....	73
Tabela 13 - Significado e unidade de medida das variáveis de saída.	74
Tabela 14 - Valores das variáveis de entrada.	74
Tabela 15 – Valores da Potência Reativa do banco de capacitores automático e do fator de potência original do Data Center.	74
Tabela 16 - Orçamento do Banco de Capacitores Automático de 40 kVAR.	75
Tabela 17 - Gasto mensal médio com Energia Reativa Excedente no horário de ponta e fora de ponta.	76
Tabela 18 - Composição e Características técnicas do Sistema de iluminação LED proposto.	77
Tabela 19 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o sistema proposto.....	78
Tabela 20 - Economia do Sistema de Iluminação LED.	78
Tabela 21 - Orçamento do Sistema de Iluminação LED proposto.....	79
Tabela 22 - Composição e Características técnicas do Sistema de condicionamento de ar proposto.	80
Tabela 23 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o sistema proposto.....	81
Tabela 24 - Economia do Sistema de condicionamento de ar proposto.	81
Tabela 25 - Orçamento do sistema de condicionamento de ar proposto.	82
Tabela 26 - Especificações do Coletor Solar. Fonte: INMETRO, 2018.	82
Tabela 27 - Valores das variáveis e das constantes do SAS.	83
Tabela 28 - Parâmetros do SAS dimensionado.	83
Tabela 29 - Valor da fração solar de cada mês e da fração solar média mensal.	84
Tabela 30 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o SAS proposto.....	84
Tabela 31 - Economia do Sistema de Aquecimento Solar proposto.	85
Tabela 32 - Orçamento do Sistema de Aquecimento Solar proposto.....	86
Tabela 33 – Análise do <i>Payback</i> Descontado das alternativas de eficiência energéticas propostas ao HUB.....	87

Tabela 34 – Relação entre o <i>Payback</i> Simples e Descontado dos Investimentos. ...	88
Tabela 35 - Relação do gasto mensal médio com energia elétrica nas unidades consumidoras do HUB entre o sistema atual e o proposto.....	89
Tabela 36 - Relação do Gasto Monetário Total Mensal e Anual com energia elétrica no HUB entre o sistema atual e o proposto.....	89
Tabela 37 - Economia monetária mensal e anual relativa às alternativas de eficiência energética propostas.....	90
Tabela 38 - Valor médio da tarifa de energia CEB em 2017.	100
Tabela 39 - Valor médio da fatura em 2017.	101

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
BTU	<i>British Thermal Unit</i> (Unidade Térmica Britânica)
CEB	Companhia Energética de Brasília
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERTI	Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
COP	Coefficiente de desempenho
CR	Capacidade de refrigeração por unidade de tempo
EBSERH	Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
EER	Taxa de Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EREX	Energia Reativa Excedente
FUNTEC	Fundo Tecnológico
HUB	Hospital Universitário de Brasília
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRC	Índice de reprodução de cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
MME	Ministério de Minas e Energia

MP	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode</i> (Diodo Orgânico Emissor de Luz)
PET	Polietileno tereftalato
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SUS	Sistema Único de Saúde
TIR	Taxa Interna de Retorno
UNB	Universidade de Brasília
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. ASPECTOS GERAIS	13
1.2. MOTIVAÇÃO	14
1.3. OBJETIVO GERAL	14
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	15
2.1.1. PRINCIPAIS DEFINIÇÕES SOBRE TARIFAÇÃO ELÉTRICA	16
2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES CONSUMIDORAS	17
2.1.3. ESTRUTURAS DE TARIFAÇÃO	18
2.1.3.1. TARIFA MONÔMIA	18
2.1.3.2. TARIFA BINÔMIA	18
2.1.3.2.1. TARIFA CONVENCIONAL	19
2.1.3.2.2. TARIFA HORÁRIA VERDE	20
2.1.3.2.3. TARIFA HORÁRIA AZUL	21
2.1.4. TARIFAÇÃO POR EXCESSO DE ENERGIA REATIVA	21
2.1.4.1. POTÊNCIA REATIVA	21
2.1.4.2. FATOR DE POTÊNCIA	22
2.1.4.2.1. PRINCIPAIS CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	22
2.1.4.2.2. PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	23
2.1.4.2.3. SOLUÇÕES PARA A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	23
2.1.4.2.4. EQUACIONAMENTO PARA O CÁLCULO DA POTÊNCIA REATIVA DO BANCO DE CAPACITORES	24
2.2. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	26
2.2.1. PRINCIPAIS CONCEITOS SOBRE ILUMINAÇÃO	27
2.2.1.1. CLASSIFICAÇÃO PROCEL PARA TEMPERATURA DE COR	28
2.2.2. TIPOS DE LÂMPADAS ELÉTRICAS	29
2.2.2.1. LÂMPADAS DE RADIAÇÃO TÉRMICA	29
2.2.2.2. LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA	30
2.2.2.2.1. LÂMPADAS FLUORESCENTES	30
2.2.2.2.2. LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO E VAPOR DE SÓDIO	31
2.2.2.2.3. LÂMPADAS MISTAS	31
2.2.2.3. LÂMPADAS DE ESTADO SÓLIDO	32
2.2.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS LUMINOSAS DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS	33
2.2.4. ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS	34
2.3. SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	34
2.3.1. FUNCIONAMENTO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO IDEAL POR COMPRESSÃO DE VAPOR EM UM AR-CONDICIONADO	35
2.3.2. TIPOS DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO	36
2.3.3. SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO TIPO EXPANSÃO DIRETA	36
2.3.3.1. AR-CONDICIONADO DO TIPO JANELA	36
2.3.3.2. AR-CONDICIONADO DO TIPO <i>SPLIT</i>	37
2.3.3.3. AR-CONDICIONADO DO TIPO <i>SELF-CONTAINED</i>	39
2.3.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ARS-CONDICIONADOS DO TIPO EXPANSÃO DIRETA	40
2.3.4. EFICIÊNCIAS DOS SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR	41
2.3.4.1. COEFICIENTE DE PERFORMANCE OU DESEMPENHO (<i>COP</i>)	42

2.3.4.2. RAZÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (<i>EER</i>).....	42
2.3.4.3. RELAÇÃO ENTRE COEFICIENTE DE PERFORMANCE E RAZÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	42
2.3.5. ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PARA ARES-CONDICIONADOS DO TIPO <i>SPLIT</i> E JANELA.....	43
2.4. SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	43
2.4.1. FUNCIONAMENTO BÁSICO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	44
2.4.2. PRINCIPAIS COMPONENTES.....	45
2.4.2.1. COLETOR SOLAR	45
2.4.2.1.1. COLETOR SOLAR PLANO FECHADO OU COM COBERTURA.....	45
2.4.2.1.2. COLETOR SOLAR PLANO ABERTO OU SEM COBERTURA	46
2.4.2.1.3. COLETOR SOLAR COM TUBOS À VÁCUO.....	47
2.4.2.2. RESERVATÓRIOS TÉRMICOS	48
2.4.2.3. REGISTROS MISTURADORES DE ÁGUA.....	49
2.4.2.4. CIRCUITO HIDRÁULICO.....	51
2.4.3. ARRANJO DOS COLETORES SOLARES	52
2.4.3.1. ARRANJO EM SÉRIE.....	52
2.4.3.2. ARRANJO EM PARALELO.....	53
2.4.4. SISTEMAS DE CIRCULAÇÃO NO CIRCUITO PRIMÁRIO	54
2.4.4.1. SISTEMA DE CIRCULAÇÃO NATURAL OU TERMOSSIFÃO.....	54
2.4.4.2. SISTEMAS ATIVOS OU DE CIRCULAÇÃO FORÇADA	55
2.4.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	56
2.5 ANÁLISE FINANCEIRA DE INVESTIMENTOS	59
2.5.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO E TAXA INTERNA DE RETORNO.....	60
2.5.2 <i>PAYBACK</i> SIMPLES E <i>PAYBACK</i> DESCONTADO.....	60
3. ESTUDO DE CASO – HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA	61
3.1. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E GEOGRÁFICAS	62
3.2. IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, INCLINADA E DIRETA REFERENTE AO PLANO PILOTO	64
3.3. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS TARIFÁRIAS	65
3.4. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE ILUMINAÇÃO	65
3.5. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE CONDICIONAMENTO DE AR 67	
3.6. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA 67	
4. METODOLOGIA	69
4.1. METODOLOGIA GERAL	69
4.2. METODOLOGIA PARA ANÁLISE FINANCEIRA DOS INVESTIMENTOS PROPOSTOS	70
4.3. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO	70
4.4. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	71
4.5. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	71
4.6. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	72
5. RESULTADOS.....	73

5.1. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL E ECONOMIA RELATIVOS AO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO APLICADO AO DATA CENTER	73
5.1.1. CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ENERGIA REATIVA DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO APLICADO AO DATA CENTER	73
5.1.2. INVESTIMENTO INICIAL E ECONOMIA RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO	75
5.2. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED APLICADO À ADMINISTRAÇÃO	76
5.2.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED APLICADO À ADMINISTRAÇÃO	76
5.2.2. INVESTIMENTO INICIAL ESTIMADO RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED NA ADMINISTRAÇÃO	79
5.3. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR APLICADO À ADMINISTRAÇÃO	80
5.3.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR APLICADO À ADMINISTRAÇÃO	80
5.3.2. INVESTIMENTO INICIAL ESTIMADO RELATIVO A IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR NA ADMINISTRAÇÃO	81
5.4. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR APLICADO AOS LEITOS DA UNIDADE I E II	82
5.4.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR APLICADO AOS LEITOS DA UNIDADE I E II	82
5.4.2. INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR NOS LEITOS DA UNIDADE I E II	85
6. CONCLUSÃO	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
8. APÊNDICE	100
8.1 APÊNDICE I - VALORES DA TARIFA DE ENERGIA NO ANO DE 2017	100
8.2 APÊNDICE II – VALORES DA FATURA NO ANO DE 2017	101

1. INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

A preocupação mundial com a escassez dos recursos energéticos está, a cada dia que passa, contribuindo para que novas soluções e alternativas energéticas sejam adotadas nas residências e nos empreendimentos profissionais de vários países, incluindo o Brasil.

Como forma de tornar a utilização da energia elétrica mais eficiente, o Brasil está adotando medidas que favoreçam a geração de energia por meio de fontes de energias renováveis como, por exemplo, a energia eólica, a energia solar e a energia proveniente da biomassa. Porém, a modificação da matriz energética brasileira não é suficiente e, portanto, é necessário que sejam adotadas medidas que visem o uso racional e à gestão da energia elétrica na cultura brasileira (PÓVOA, 2014).

Dessa forma, para que o uso racional da energia elétrica seja alcançado, várias medidas e políticas foram criadas e estão sendo aperfeiçoadas nas indústrias, residências, comércios, domicílios, por meio, principalmente, da utilização de equipamentos elétricos mais eficientes que, no longo prazo, contribuem para a redução dos desperdícios com a energia elétrica (LEITE, 2013).

A busca por alternativas renováveis para a geração de energia elétrica e para o uso eficiente da energia elétrica é de suma importância para reduzir os impactos ambientais, o desperdício de energia elétrica e para tornar o Brasil menos dependente da energia elétrica proveniente das hidrelétricas, que, em tempos de crise hídrica, torna o abastecimento energético menos eficiente e mais oneroso (SOUZA et al., 2011).

No Brasil, por exemplo, a utilização da energia solar para gerar energia elétrica e energia térmica está se tornando uma excelente alternativa de eficiência energética em empreendimentos profissionais públicos e privado e em residências.

O sistema de aquecimento solar térmico (SAS), por exemplo, é bastante utilizado para suprir a demanda de aquecimento de água utilizada nos chuveiros elétricos, diminuindo, dessa forma, o consumo de energia elétrica da rede de distribuição. Ademais, devido ao significativo progresso deste tipo de sistema na indústria nacional, vários coletores solares já são etiquetados com a ENCE, variando

desde a etiqueta A (mais eficientes) até a etiqueta D (menos eficientes) (LEITE, 2013).

Portanto, a partir de todas as informações supracitadas e a partir de estudos relacionados à eficiência energética, foi possível a realização de um projeto voltado a aplicação de alternativas para a redução do consumo de energia elétrica em um hospital público.

1.2. MOTIVAÇÃO

Diante do exposto na introdução, torna-se evidente a preocupação com os elevados gastos financeiros, com os péssimos costumes de utilização dos equipamentos consumidores de energia elétrica e com a instalação de equipamentos elétricos pouco eficientes. Portanto, a partir desta problemática, a motivação principal deste trabalho é a tentativa de reduzir os elevados gastos financeiros com o consumo de energia elétrica no Hospital Universitário de Brasília, por meio da proposição de alternativas de eficiência energética voltadas para o setor de tarifação de energia elétrica e para os sistemas de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água do HUB.

Ademais, o dinheiro economizado com a adoção das alternativas propostas neste trabalho poderá servir como investimento para a aplicação de novas melhorias no setor energético e na infraestrutura do HUB, proporcionando melhores condições de trabalho para os médicos e servidores e melhores condições de tratamento e internação para os enfermos.

1.3. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a proposta de alternativas de eficiência energética que irão contribuir para a redução do consumo de energia elétrica e dos gastos monetários com energia elétrica no Hospital Universitário de Brasília (HUB), localizado na cidade de Brasília-DF, na região administrativa do Plano Piloto.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos que serão alcançados neste trabalho estão listados abaixo:

- Apresentar os principais conceitos e características técnicas e econômicas sobre tarifação energética brasileira, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento solar de água;
- Apresentar as características técnicas e de engenharia dos sistemas de tarifação elétrica, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento solar de água aplicados ao Hospital Universitário de Brasília – HUB;
- Dimensionar um banco de capacitores para corrigir o fator de potência desenvolvido no Data Center do HUB;
- Realizar uma análise técnica voltada para a substituição das lâmpadas ineficientes da Administração do HUB por lâmpadas de LED;
- Dimensionar um Sistema de Aquecimento Solar na Unidade I e II do HUB para aquecer a água utilizada no banho dos pacientes internados;
- Realizar uma análise técnica voltada para a substituição dos ar-condicionados ineficientes da Administração do HUB por outros mais eficientes, com classificação A de acordo com o critério estabelecido na ENCE;
- Realizar a análise da viabilidade técnica e econômica das alternativas de eficiência energética propostas em cada um dos setores do HUB;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A ANEEL é a agência reguladora responsável por regulamentar e fiscalizar os serviços públicos relacionados com a energia elétrica no Brasil. No caso da distribuição de energia elétrica, existem dois documentos relevantes que estabelecem as regras de contratação de energia: a Resolução nº 414 de 2010 e os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (BARROS et al., 2015).

A resolução normativa nº 414/210, publicada em 9 de setembro de 2010, estabelece as condições gerais de distribuição de energia elétrica no território nacional, que devem ser obedecidas pelas distribuidoras e pelos consumidores no

que diz respeito ao assunto fornecimento de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2010).

A partir dos conhecimentos sobre os elementos das tarifas de energia elétrica e sobre as alternativas de enquadramento tarifários disponíveis para os consumidores, é possível escolher a melhor forma de tarifação que poderá resultar em menores despesas com o consumo da energia elétrica.

2.1.1. PRINCIPAIS DEFINIÇÕES SOBRE TARIFAÇÃO ELÉTRICA

Todas as definições relativas as tarifações de energia elétrica no território brasileiro estão estabelecidas na resolução normativa nº 414/2010. Porém, serão conceituados a seguir os principais elementos necessários para realizar as análises de eficiência energética em empreendimentos, como:

- **Demanda:** É a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico para atender as cargas em operação de uma determinada unidade consumidora durante o período de faturamento (ANEEL,2010).
- **Consumo:** O consumo está relacionado com a quantidade de energia elétrica que foi convertida em outra forma de energia ou com a quantidade de energia elétrica que circulou entre os diferentes campos elétricos e magnéticos de uma determinada unidade consumidora, durante o período de faturamento. Esta variável é expressa em quilowatts-hora (kWh) (ANEEL, 2010).
- **Horário de Ponta e Fora de Ponta:** O horário de ponta é o período de 3(três) horas consecutivas excetuando-se sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária de energia elétrica de acordo com as características do seu sistema elétrico. Em contrapartida, o horário fora de ponta é definido como as 21 horas complementares em relação ao horário de ponta. Em algumas modalidades tarifárias é possível que existam diferentes taxas de demandas e de consumo de energia elétrica referentes aos horários de ponta e fora de ponta (PROCEL, 2011). Em Brasília, a CEB determinou que o horário de ponta corresponde ao período de 18h às 21h no horário normal e, no horário de verão, o horário de ponta corresponde ao período de 19 às 22 horas (MP, 2015).

- **Período Seco e Úmido:** Para a tarifação de energia elétrica, o ano é dividido em dois períodos, o período seco e o período úmido. O período seco é composto por 7 meses, que varia de maio a novembro, enquanto que, o período úmido é composto por 5 meses, que varia de dezembro do ano presente a abril do ano subsequente. Em algumas modalidades tarifárias, no período seco, o preço a ser pago pelo consumo de energia elétrica é mais elevado que o preço correspondente ao período úmido (PROCEL,2011)

2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES CONSUMIDORAS

As unidades consumidoras podem ser classificadas em Grupo Tarifário A e Grupo Tarifário B, que possuem, respectivamente, as seguintes características:

- O Grupo A é composto pelas unidades consumidoras que são atendidas em alta tensão, iguais ou superiores a 2300 volts, ou que são alimentadas por meio de um sistema subterrâneo com tensões inferiores à 2300 Volts (PEDROSA, 2012).
- O Grupo B, por sua vez, é composto pelas unidades consumidoras abastecidas por uma tensão abaixo de 2300 volts (2,3 kV), com potência instalada de até 75 kW. Além disso, este grupo é dividido em subgrupos tarifários em conformidade com as atividades realizadas por cada um dos seus consumidores. O subgrupo B2, por exemplo, é composto pelas propriedades rurais (BARROS et al., 2015).

Na Tabela 1 é possível observar como ocorre a divisão do Grupo A em subgrupos, de acordo com a tensão de fornecimento da unidade consumidora.

Tabela 1 – Divisão de Subgrupos em relação à tensão de fornecimento. Fonte: ANEEL, 2010.

Subgrupos	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 Kv
A2	88 kV a 138 Kv
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Sistema Subterrâneo($\leq 2,3$ kV)

2.1.3. ESTRUTURAS DE TARIFAÇÃO

A estrutura tarifária é definida como o conjunto de tarifas que são aplicáveis aos componentes elétricos que necessitam de potência ativa e de energia elétrica para operarem, de acordo com a modalidade de fornecimento (PROCEL, 2011).

2.1.3.1. TARIFA MONÔMIA

Para os consumidores de tarifa monômnia, é cobrado apenas o consumo de energia elétrica acrescido dos impostos municipais, estaduais ou federais. Esse tipo de tarifa é aplicado, basicamente, aos consumidores de baixa tensão, residenciais, comerciais, industriais e de áreas rurais, que pertencem ao grupo tarifário B (BARROS et al, 2015).

2.1.3.2. TARIFA BINÔMIA

Os consumidores pertencentes à tarifa binômnia, os quais são tarifados por meio dos valores referentes ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda contratada de energia elétrica, podem ser enquadrados em três alternativas tarifárias diferentes: Tarifa Convencional, Tarifa horária verde ou Tarifa horária azul (BARROS et al., 2015).

É importante ressaltar que as unidades consumidoras do grupo tarifário A conectadas à tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV devem ser, obrigatoriamente, faturadas por meio da tarifa horária azul. Em contrapartida, os consumidores do grupo tarifário A, cujas unidades consumidoras estão conectadas em uma tensão inferior a 69 kV, poderão optar pelas tarifas: Convencional, horária azul ou horária verde, a depender da demanda que foi contratada por elas (CARVALHO et al., 2016).

Na tarifa binômnia, quando a demanda de potência ativa faturada no mês exceder em mais de 5% o valor contratado da demanda pela unidade consumidora,

deverá ser cobrada uma tarifa relativa à ultrapassagem desta demanda contratada (ANEEL, 2010).

No Tabela 2 está representada a estrutura tarifária dos consumidores pertencentes ao grupo tarifário A.

Tabela 2 – Estrutura Tarifária do Grupo A. Fonte: CARVALHO et al., 2016.

Consumidores		Demanda Contratada	
Subgrupos (Grupo A)	Tensão	Igual ou maior a 150 kW	Menor que 150 kW
A1	230 kV ou mais	Tarifa Horária Azul Obrigatória	Tarifa Horária Azul Obrigatória
A2	88 kV a 138 kV	Tarifa Horária Azul Obrigatória	Tarifa Horária Azul Obrigatória
A3	69 Kv	Tarifa Horária Azul Obrigatória	Tarifa Horária Azul Obrigatória
A3a	30 kV a 44 Kv	Tarifa horária obrigatória (Azul ou Verde)	Opções: Tarifa Convencional, Azul ou Verde
A4	2,3 kV a 25 kV	Tarifa horária obrigatória (Azul ou Verde)	Opções: Tarifa Convencional, azul ou Verde
AS	Menos que 2,3 kV	Tarifa horária obrigatória (Azul ou Verde)	Opções: Tarifa Convencional, azul ou Verde

2.1.3.2.1. TARIFA CONVENCIONAL

A modalidade tarifária convencional binômica é a aplicada às unidades consumidoras pertencentes ao grupo A que são tarifadas pelo consumo de energia elétrica e pela demanda de potência, independentemente das horas de utilização da energia elétrica (ANEEL, 2010).

Portanto, na Tabela 3 estão representadas as principais características da modalidade tarifária Convencional.

Tabela 3 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária Convencional.

Modalidade Tarifária	Tarifa de Demanda (R\$/kW)	Tarifa de Consumo (R\$/kWh)
Convencional	Única	Única

2.1.3.2.2. TARIFA HORÁRIA VERDE

Esse tipo de modalidade consiste no contrato realizado com a concessionária de energia elétrica em que a demanda contratada pelo consumidor independe do horário de utilização. Em contrapartida, a tarifa relacionada com o consumo de energia elétrica apresenta diferenciação de acordo com as horas de utilização no período de ponta e no período fora de ponta e, também, de acordo com o período de tarifação: período seco ou período úmido. No período de maio a novembro, por exemplo, as tarifas de consumo no horário de ponta e fora de ponta assumem valores mais caros em relação aos outros meses, pois este período do ano é seco (ROSA, 2013).

Portanto, no Tabela 4 estão representadas as principais características da modalidade tarifária horária Verde.

Tabela 4 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária horária Verde.

Modalidade Tarifária	Tarifa de demanda (R\$/kW)	Tarifa de Consumo (R\$/kWh)
Verde	Única	Horário de Ponta Úmido/Seco
		Horário fora de ponta Úmido/Seco

Na prática, a tarifa horária verde é proposta para as unidades consumidoras que utilizam muito pouco a energia elétrica no horário de ponta, porque o valor da tarifa de energia elétrica neste horário para esta modalidade tarifária é muito elevado (BARROS et al., 2015).

2.1.3.2.3. TARIFA HORÁRIA AZUL

Esta modalidade tarifária é estruturada por meio da aplicação de valores diferenciados para as tarifas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização desta energia no dia e nos períodos do ano. Ademais, os valores das tarifas para a demanda contratada assumem valores diferentes de acordo com as horas de utilização de energia elétrica no dia (KAMMLER et al., 2011).

Portanto, de forma resumida, a modalidade tarifária horária azul é constituída pelas seguintes características apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Sistema de cobrança relativo à modalidade tarifária horária azul.

Modalidade Tarifária	Tarifa de demanda (R\$/kW)	Tarifa de Consumo (R\$/kWh)
Azul	Horário de Ponta	Horário de Ponta Úmido/Seco
	Horário Fora de Ponta	Horário fora de ponta Úmido/Seco

2.1.4. TARIFAÇÃO POR EXCESSO DE ENERGIA REATIVA

Quando um determinado empreendimento desenvolver em sua rede elétrica um fator de potência com o valor menor que 0,92(indutivo ou capacitivo), a unidade consumidora será obrigada a pagar uma multa pela Energia Reativa Excedente gerada para a distribuidora de energia elétrica (PEDROSA, 2012).

2.1.4.1. POTÊNCIA REATIVA

A potência reativa, cuja unidade é o quilo volt-ampere reativo (kVAr), é a aquela que está em movimento contínuo entre as fontes e as cargas de um sistema elétrico. Esta potência representa a energia que é armazenada e, posteriormente, liberada pelo campo magnético de um indutor ou pelo campo elétrico de um capacitor (CHAPMAN,2013).

Os motores elétricos, transformadores, geradores, reatores e outros equipamentos formados por enrolamentos elétricos necessitam, além da energia

ativa, da energia reativa para operar de forma satisfatória e eficiente (BARROS et al., 2015).

2.1.4.2. FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência pode ser entendido como a relação entre a potência ativa dissipada pela carga e potência aparente dela. O valor do fator de potência possui um valor mínimo de 0 e máximo de 1. Valores elevados de energia reativa geram fatores de potência baixos, que são onerosos para manter, pois exigem correntes elétricas elevadas para alimentar as cargas das unidades consumidoras. (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

2.1.4.2.1. PRINCIPAIS CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Na maioria dos casos, as causas que geram o baixo fator de potência nas instalações elétricas dos empreendimentos profissionais são (SILVA, 2009):

- A presença de motores elétricos operando a vazio;
- A presença de grande quantidade de máquinas de solda do tipo transformador-retificador, que funcionam por longas jornadas diárias;
- A presença de reatores de sistemas de lâmpadas de descarga com fator de potência abaixo de 0,92, pois não possuem sistema capacitivo de correção individual incorporada;
- A presença de transformadores operando por longos períodos a vazio ou com pequenas cargas ligadas a eles e
- A presença de capacitores inativos ou degradados, com suas proteções internas danificadas ou com seus dispositivos de controle ajustados de forma inadequada;

2.1.4.2.2. PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

De acordo com a ANEEL (2010) o valor mínimo do fator de potência que pode ser desenvolvido em uma unidade consumidora do grupo A para que ela não seja obrigada a pagar multa pela Energia Reativa Excedente gerada é de 0,92, capacitivo ou indutivo.

Caso as devidas providências não sejam tomadas para corrigir o baixo fator de potência na unidade consumidora, tem-se o surgimento de várias consequências negativas, como: Aumento de perdas elétricas por efeito Joule, aumento da queda de tensão, redução do tempo de vida útil de motores e transformadores, redução da disponibilidade de potência ativa nos condutores e nos transformadores e, principalmente, pode acarretar em uma penalização financeira à unidade consumidora, caso o fator de potência desenvolvido por ela esteja abaixo de 0,92(SÁ, 2016).

2.1.4.2.3. SOLUÇÕES PARA A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

O aumento do consumo da energia ativa e a utilização de motores síncronos superexcitados são soluções pouco usuais para a correção do fator de potência. Na prática, a alternativa mais econômica e efetiva para corrigir o fator de potência é a instalação de um banco de capacitores nas instalações elétricas do empreendimento (SILVA, 2009).

De maneira geral os capacitores ou o banco de capacitores podem ser instalados de diversas maneiras a fim de compensar os fatores de potência de uma instalação elétrica industrial, como (SÁ, 2016):

- Compensação Individual: Neste caso os capacitores são instalados junto ao equipamento com fator de potência indesejado;
- Compensação Parcial por grupos de carga: Neste caso instala-se um banco de capacitores para compensar um conjunto de equipamentos;
- Compensação Centralizada: Neste caso o banco de capacitores é instalado no secundário do transformador se a instalação elétrica for alimentada em média tensão ou no quadro geral se ela for alimentada em baixa tensão;

- Compensação combinada: Neste caso ocorre a utilização combinada de, no mínimo, dois tipos de compensação dentre as três supracitadas; e
- Compensação com regulação automática: Neste caso, utiliza-se um relé sensível às variações de energia reativa, que comanda o acionamento dos capacitores para obter o fator de potência necessário.

2.1.4.2.4. EQUACIONAMENTO PARA O CÁLCULO DA POTÊNCIA REATIVA DO BANCO DE CAPACITORES

As expressões matemáticas que auxiliam na obtenção da potência reativa do banco de capacitores podem ser determinadas por meio da análise do triângulo de Potências da Figura 1.

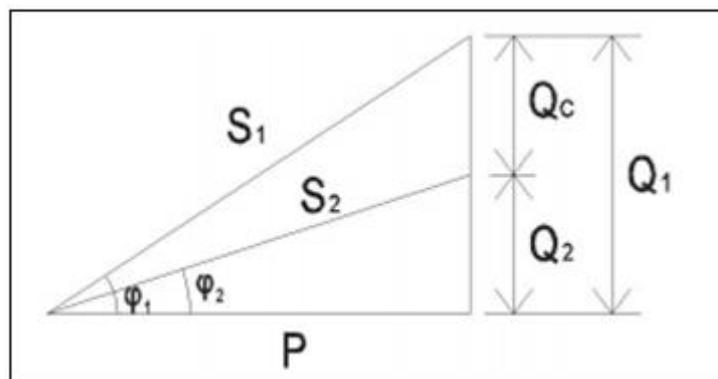


Figura 1 – Triângulo de potências para correção do fator de potência. Fonte: MACHADO et al., 2016.

Portanto, ao analisar a Figura 1, deve-se utilizar os seguintes passos e expressões para a obtenção da potência reativa do banco de capacitores necessária para corrigir o pior valor do fator de potência desenvolvido pela unidade consumidora no período de faturamento analisado (ANEEL, 2010) e (MACHADO et al., 2016):

- Inicialmente, calcula-se o pior fator de potência médio que está sendo desenvolvido na unidade consumidora durante o período de faturamento (fp_1), utilizando o fator de potência de referência (fp_r), o consumo de energia elétrica ativa medido no período de faturamento em kWh (C_a) e o consumo de

energia elétrica reativa excedente medido no período de faturamento em UFER (E_{RE}), de acordo com a seguinte expressão:

$$fp_1 = \frac{fp_r}{\frac{E_{RE}}{C_A} + 1} \quad (1)$$

- Em seguida, calcula-se o ângulo do fator de potência original desenvolvido no período de faturamento pela unidade consumidora (φ_1) utilizando a seguinte expressão:

$$\varphi_1 = \cos^{-1} fp_1 \quad (2)$$

- Após calculado o ângulo do fator de potência original desenvolvido no período de faturamento analisado, por meio da equação (2), e de posse do novo fator de potência desejado (fp_2), calcula-se o ângulo do fator de potência desejado (φ_2), por meio da seguinte expressão:

$$\varphi_2 = \cos^{-1} fp_2 \quad (3)$$

- Por fim, calcula-se o valor da potência reativa do banco de capacitores (Q_c) a partir do valor da demanda faturada no período (P), do ângulo do fator de potência desejado (φ_2) e do ângulo de fator de potência original desenvolvido pela unidade consumidora no período de faturamento (φ_1), por meio da seguinte expressão:

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (4)$$

2.2. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Um estudo luminotécnico eficiente deve levar em consideração uma série de variáveis que vão além do entendimento dos tipos de lâmpadas existentes em um sistema de iluminação. Em qualquer empreendimento, os sistemas de iluminação são elaborados com base em várias variáveis que interferem na sua eficiência, como: Lâmpadas, luminárias, reatores, iluminância, índice de reprodução de cor, fluxo luminoso, potência consumida, temperatura de cor, intensidade luminosa, entre outros (SÁ, 2016).

Nas entidades públicas ou privadas o nível de iluminação deve ser suficiente para garantir o melhor rendimento possível na execução de todas as atividades específicas da empresa. Como todos os empreendimentos são compostos por diferentes setores e diferentes atividades, o projeto de iluminação deve ser elaborado pelo projetista de forma que atenda a exigência de percepção visual e as particularidades de cada setor e atividade desenvolvida (FILHO, 1988).

Assim, para que as peculiaridades de determinadas atividades sejam atendidas é necessário o conhecimento teórico dos conteúdos dispostos na norma técnica ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, editada em abril de 2013. O conteúdo desta norma é composto por vários conceitos relevantes nos projetos luminotécnicos e, também, pelos valores recomendados de iluminância, de limite de desconforto por ofuscamento e do índice de reprodução de cores para cada uma das atividades desenvolvidas em um determinado ambiente de trabalho (CEPEL, 2014).

No caso de hospitais públicos, particularmente nos leitos dos enfermos, a iluminação indireta é preferível em relação a iluminação direta, pois os acamados estão a maior parte do tempo observando o teto e, portanto, a utilização da luz direta causaria desconforto visual, proporcionando o ofuscamento. Em contrapartida, nos ambientes administrativos dos hospitais, a iluminação preferível é a iluminação direta, pois é necessária uma maior quantidade de fluxo luminoso incidindo na área onde estão sendo realizadas as tarefas (ROSA, 2013).

2.2.1. PRINCIPAIS CONCEITOS SOBRE ILUMINAÇÃO

Para que soluções em eficiência energética sejam aplicadas no setor de iluminação dos empreendimentos, é necessário que alguns conceitos básicos sejam definidos.

- **Luz:** No universo são encontradas diversas ondas eletromagnéticas, que possuem diferentes comprimentos de onda e frequências. Dentre os diversos tipos de ondas existentes no universo, existe apenas um tipo de onda visível ao olho humano. Este tipo de onda recebe o nome de Luz Visível, que está compreendida na faixa de 380 a 780 nanômetros de comprimento no espectro de ondas eletromagnéticas. Portanto, luz significa uma onda eletromagnética situada em uma faixa específica de comprimento que é capaz de ser refletida por determinadas superfícies, provocando percepções óticas nos seres humanos, devido ao estímulo da retina ocular humana (SILVA, 2004).
- **Fluxo Luminoso:** O fluxo luminoso é a quantidade de radiação total emitida por uma fonte de iluminação distribuída em um determinado ambiente. Esta variável poderia ser expressa em Watts ou quilowatts, porém, esta unidade não leva em consideração a sensibilidade do olho humano em relação à radiação emitida pela fonte luminosa, por isso a unidade de medida padrão utilizada é o lúmen (*lm*) (GANSLANDT; HOFMANN, 1992). Portanto, em outras palavras, é possível definir o fluxo luminoso como sendo a potência de energia luminosa de uma fonte que é percebida pelo olho humano (FILHO, 1988).
- **Iluminância ou Iluminamento:** A iluminância, antigamente chamada de Iluminamento, é a razão entre o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície e a área relativa a esta superfície. A unidade de medida da iluminância é o lúmen/m², também conhecida como lux (CREDER, 2012).
- **Eficiência Luminosa:** Esta variável descreve a relação entre o fluxo luminoso total emitido por uma lâmpada e a potência consumida por ela. A unidade que expressa a eficiência luminosa é o lúmen por watt (*lm/W*) (GANSLANDT; HOFMANN, 1992). Ademais, ao avaliar a eficiência luminosa de uma fonte, deve-se levar em consideração a influência provocada pela luminária utilizada

no sistema de iluminação, pois essa pode absorver uma quantidade relevante de energia luminosa irradiada pela fonte luminosa (FILHO, 1988).

- **Índice de Reprodução de Cor:** O IRC significa a capacidade que uma fonte luminosa possui de reproduzir com fidelidade e qualidade as cores dos objetos e das pessoas quando iluminados por ela. Geralmente, o Índice de reprodução de cor varia de 0 a 100% de acordo com o ambiente em que a fonte luminosa está inserida. Quanto mais próximo de 100% estiver o IRC de uma fonte luminosa, melhor será a fidelidade e a qualidade das cores reproduzidas por ela (PROCEL, 2011).
- **Temperatura de Cor:** A temperatura de cor indica a tonalidade da cor emitida pela fonte luminosa. As lâmpadas podem ser caracterizadas segundo este critério em quentes ou frias, dependendo da tonalidade de cor que ela irradia em um determinado ambiente. Quanto maior for a temperatura de cor de uma determinada lâmpada elétrica, mais clara será a tonalidade de cor da luz irradiada por ela, tornando o ambiente mais estimulante e menos relaxante. A sua unidade de medida é o kelvin (K) (PROCEL, 2011).

2.2.1.1. CLASSIFICAÇÃO PROCEL PARA TEMPERATURA DE COR

A classificação utilizada pelo PROCEL em relação a temperatura de cor das lâmpadas é dividida em três categorias: Morna, neutra ou fria, dependendo da temperatura da fonte luminosa. Na Tabela 6 está representado o critério de classificação das lâmpadas de acordo com a faixa de temperatura delas.

Tabela 6 – Temperatura de Cor de acordo com o PROCEL. Fonte: PROCEL, 2011.

Classificação	Temperatura de Cor (K)
Morna	< 3300
Neutra	≥ 3300 e < 5000
Fria	≥ 5000

2.2.2. TIPOS DE LÂMPADAS ELÉTRICAS

Ainda hoje, algumas residências e indústrias utilizam lâmpadas que são consideradas ineficientes, como por exemplo as lâmpadas incandescentes, que consomem elevadas quantidades de potência, enquanto emite um baixo fluxo luminoso. Basicamente, as lâmpadas elétricas podem ser divididas em três grupos distintos (CREDER, 2012):

- Lâmpadas de radiação térmica
- Lâmpadas de descarga elétrica
- Lâmpadas de estado sólido

2.2.2.1. LÂMPADAS DE RADIAÇÃO TÉRMICA

Estes tipos de lâmpadas são divididos em lâmpadas incandescentes e lâmpadas halógenas:

- **Lâmpadas Incandescentes:** As lâmpadas incandescentes são exemplos de radiadores térmicos. Além disso, elas são caracterizadas pela emissão de luz por meio de um filamento de tungstênio que promove a incandescência quando é alimentada por uma corrente elétrica. Estas lâmpadas possuem eficiência luminosa de aproximadamente 15 lúmens/watts, com vida útil reduzida e elevados custos de manutenção se comparada com as outras lâmpadas comerciais. Entretanto, seu custo de implantação é barato, quando comparado com as demais (FILHO, 1988).
- **Lâmpadas Halógenas:** Nos dias atuais, é possível citar um outro tipo de lâmpada incandescentes conhecida como “Halógenas”. Estas lâmpadas possuem o mesmo princípio de funcionamento das incandescentes, porém são formadas por um tubo de quartzo com partículas de tungstênio desprendidas do filamento, que estão inseridas em um meio composto por gases halógenos. Esta nova combinação de elementos proporciona várias vantagens quando comparada as lâmpadas incandescentes: vida útil mais longa, maior eficiência energética, excelentes índices de reprodução de cores

e menores dimensões das lâmpadas. Como forma de melhorar o funcionamento destes tipos de lâmpadas, é utilizado um refletor dicróico com o intuito de desviar parte do calor produzido pela lâmpada, reduzindo em até 66% a radiação térmica emitida por ela (NERY, 2005).

2.2.2.2. LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA

Este grupo é constituído pelas lâmpadas fluorescentes, lâmpadas mistas, lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio.

2.2.2.2.1. LÂMPADAS FLUORESCENTES

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas que utilizam a descarga elétrica em um gás para a produção de radiação eletromagnética, após a passagem de corrente elétrica pelos cátodos de tungstênio dispostos nas extremidades delas. No interior destas lâmpadas existe vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão (NERY, 2005).

Para o correto funcionamento das lâmpadas fluorescente são indispensáveis dois equipamentos auxiliares: *Starter* e reator. O starter ao ser energizado estabelece o contato entre seus eletrodos, permitindo que a corrente passe pelos eletrodos da lâmpada e proporcionando a abertura dos contatos do starter devido ao calor, interrompendo a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, ocasiona um pico de tensão induzida, que, somada à tensão da rede, permite a ignição da lâmpada. Nesse momento, é necessário que o reator atue como limitador da passagem de corrente elétrica pelo seu interior (CREDER, 2012).

Atualmente, não são mais utilizados starters nas lâmpadas fluorescentes modernas, pois a função dos *starters* está embutida nos reatores eletrônicos (GEBRAN; RIZZATO, 2017).

No que diz respeito ao diâmetro dos bulbos destas lâmpadas, elas podem ser classificadas de acordo com o apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação das lâmpadas fluorescentes de acordo com o diâmetro do bulbo. Fonte: SILVA, 2004.

Denominação do Bulbo	Diâmetro do Bulbo (mm)
T12	38
T10	33
T8	26
T5	16

2.2.2.2.2. LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO E VAPOR DE SÓDIO

As lâmpadas de vapor de mercúrio possuem o mecanismo de descarga elétrica por meio das gotas de mercúrio misturadas com gás inerte (argônio), que se encontram no interior do tubo de descarga produzido em quartzo. Diferentemente das lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de vapor de mercúrio dispensam a utilização de reatores e adquirem uma elevada pressão em seu interior durante o período de acendimento (GEBRAN; RIZZATO, 2017).

No caso das lâmpadas de vapor de sódio, elas são compostas por um tubo de descarga coberto na sua superfície interna por óxido de alumínio ou de índio. Este tubo de descarga é preenchido por sódio e uma mistura gasosa de neônio e argônio, necessária para sua ignição. Além disso, estas lâmpadas são caracterizadas por emitir uma radiação quase monocromática, ou seja, de cor amarelada, e por possuir uma elevada eficiência energética, em torno de 200 lúmens/Watts (NISKIER; MACINTYRE, 2000).

2.2.2.2.3. LÂMPADAS MISTAS

As lâmpadas mistas são formadas pela junção de algumas características das lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de vapor de mercúrio. Estas lâmpadas são compostas por um tubo de descarga a vapor de mercúrio conectado em série com um filamento incandescente de tungstênio. Este filamento de tungstênio é responsável por limitar a corrente de funcionamento que percorre a lâmpada e promover a sua estabilização, dispensando a necessidade de reatores (GEBRAN; RIZZATO, 2017).

Devido as junções de características, as lâmpadas mistas agregam a elevada eficiência das lâmpadas de vapor de mercúrio com os índices de reprodução de cores característicos das lâmpadas de filamento de tungstênio (CREDER, 2012).

2.2.2.3. LÂMPADAS DE ESTADO SÓLIDO

Este grupo é constituído pelas lâmpadas LED e lâmpadas OLED:

- **Lâmpadas LED:** A tecnologia LED é um diodo semicondutor capaz de emitir luz, que foi descoberto na década de 1960, porém apenas em 1999 o LED se tornou uma fonte de luz para ser aplicado em sistemas de iluminação. Em relação as lâmpadas incandescentes e as lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de LED possuem maior eficiência luminosa, maior tempo de vida útil, cerca de 50.000 horas em média e, principalmente, geram menor calor aos ambientes onde são instaladas. Portanto, as lâmpadas LED apresentam vantagens de aplicação em ambientes que utilizam condicionadores de ar quando comparadas com as lâmpadas de descarga elétrica e incandescentes (NETO et al., 2017). Muitas vezes, *drivers* são instalados neste tipo de lâmpada com o objetivo de fornecer ao circuito da lâmpada uma quantidade constante de energia elétrica em resposta as variações das propriedades elétricas da rede que ocorrem devido as mudanças de temperatura (PESSOA et al., 2013).
- **Lâmpadas OLED:** A tecnologia OLED começou a ser desenvolvida em laboratórios da empresa Philips na Alemanha. No Brasil, desde o ano de 2010, esta tecnologia está em desenvolvimento, impulsionada, principalmente, pela parceria realizada entre a fundação CERTI em Santa Catarina e a própria empresa PHILIPS com o financiamento do BNDES e FUNTEC. Estas Lâmpadas são capazes de fornecer uma superfície luminosa ao invés de pontos individuais de luz, ou seja, a iluminação é difusa, como ocorre nas fontes de luz naturais. Além disso, quando comparadas com as lâmpadas LED, as lâmpadas OLED possuem uma vida útil média mais longa e maior eficiência luminosa (PESSOA et al., 2013).

2.2.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS LUMINOSAS DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS

As lâmpadas comerciais existentes possuem diferentes eficiências luminosas, que é uma das principais variáveis a se analisar em quaisquer projetos de eficiência e gestão energética. Na figura 2 é apresentado um comparativo entre os diversos tipos de lâmpadas comercializadas no Brasil.

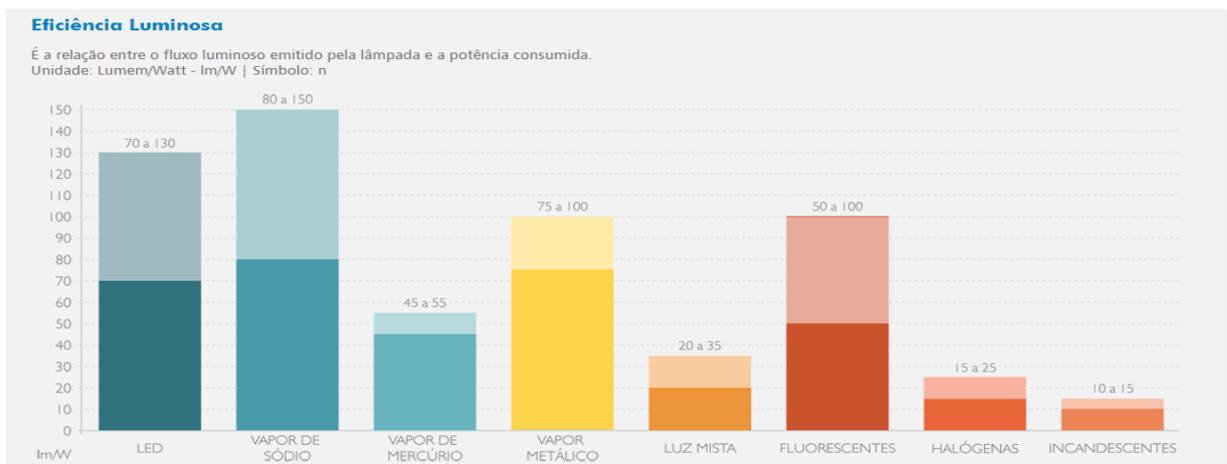


Figura 2 – Comparativo de eficiência luminosa entre os diferentes tipos de lâmpadas.
Fonte: EMPALUX, 2018.

A análise da figura 2 permite concluir que as lâmpadas incandescentes apresentam a menor eficiência luminosa e as lâmpadas de vapor de sódio apresentam a maior eficiência luminosa. Porém, atualmente, as lâmpadas de LED estão sendo aperfeiçoadas e suas eficiências luminosas estão aumentando em relação as demais.

As lâmpadas de LED apresentam uma eficiência luminosa próxima à eficiência das lâmpadas de vapor de sódio, porém, mesmo sendo um pouco inferior, as lâmpadas de LED apresentam outras vantagens em relação às lâmpadas de vapor de sódio, como, por exemplo, menor potencial de impacto ambiental e maior tempo de vida útil durante sua utilização. Estas vantagens influenciam na escolha das lâmpadas que serão utilizadas em um projeto de eficiência energética (NETO et al., 2017).

2.2.4. ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS

De acordo com os tipos de lâmpadas elétricas citadas no tópico 2.2.2 desse trabalho, foi elaborado um esquema que resume a classificação das lâmpadas elétricas de acordo com o princípio de funcionamento delas. Esse esquema está representado na Figura 3.

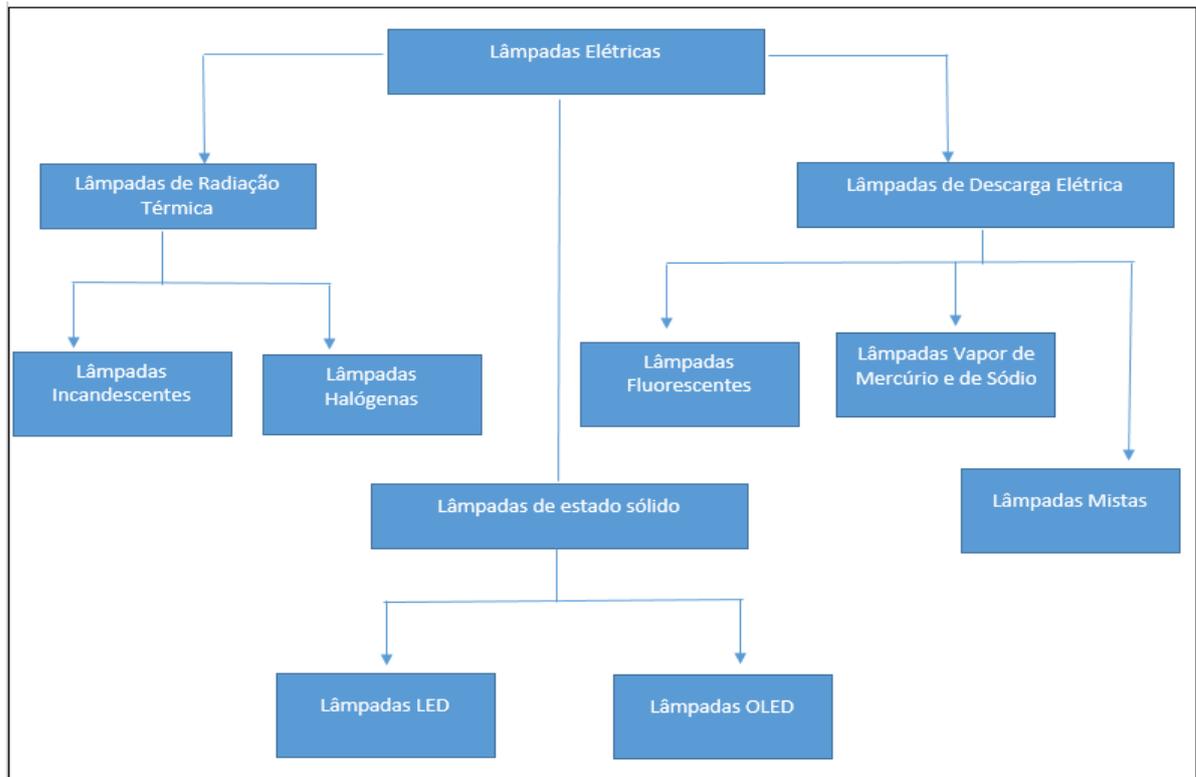


Figura 3 - Esquema de classificação das lâmpadas elétricas de acordo com seus princípios de funcionamento.

2.3. SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Os sistemas de condicionamento de ar são formados por um conjunto de componentes que objetivam o controle adequado da temperatura, da qualidade e da umidade do ar nas áreas residenciais ou em áreas de instalações industriais. Dentre estes processos é possível citar o resfriamento simples, a umidificação e a desumidificação ou, até mesmo, a junção de dois ou mais destes processos (ÇENGEL, BOLES, 2013).

Os condicionadores de ar podem ser adotados em vários setores como: processamento de alimentos, veículos, residências, indústrias têxteis e hospitais.

Cada um destes setores possui sua peculiaridade e necessidade, portanto, cabe aos engenheiros e arquitetos a escolha dos melhores processos que irão promover o conforto humano e os objetivos dos empreendimentos industriais em relação ao condicionamento do ar (ÇENGEL; BOLES, 2013).

No Brasil, a norma que trata sobre os parâmetros de instalação dos ar-condicionados é a NBR 16401 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008).

2.3.1. FUNCIONAMENTO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO IDEAL POR COMPRESSÃO DE VAPOR EM UM AR-CONDICIONADO

O princípio básico de funcionamento do ciclo de refrigeração ideal de um ar-condicionado pode ser explicado por meio da análise da Figura 4.

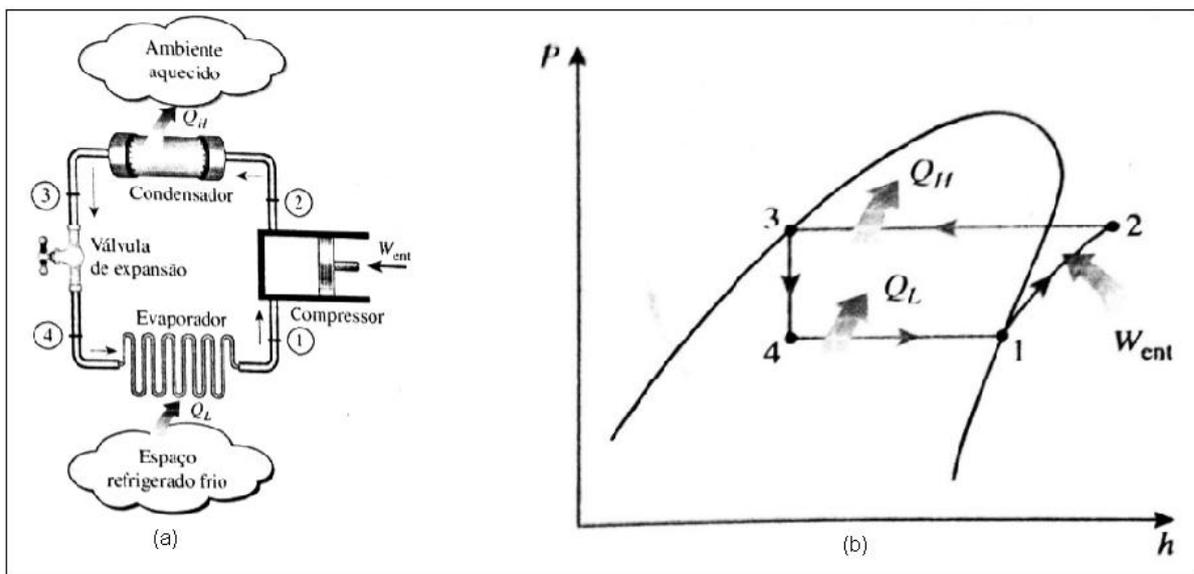


Figura 4 - (a) Componentes do ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor de um ar-condicionado e (b) Esquema do diagrama P-h do ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor de um ar-condicionado. Fonte: ÇENGEL; BOLES, 2013.

Inicialmente, o ar do ambiente é absorvido pelo ventilador e atinge o evaporador, onde seu calor é transferido ao fluido refrigerante R-22, que está à 7 °C e no estado líquido. Em seguida, o ar se resfria e retorna ao ambiente, promovendo a redução da temperatura local. (STOECKER; JONES, 1985).

Após a absorção do calor do ar, o fluido R-22 é transformado em gás e atinge o compressor elétrico, onde sua pressão e temperatura aumentam. Nesse momento,

o fluido refrigerante no estado gasoso e à, aproximadamente, 52 °C escoar para o condensador, onde ele é resfriado e retorna ao seu estado líquido. Ao mesmo tempo, outro ventilador sopra o ar quente restante para o ambiente externo. Por fim, o fluido R-22, no estado líquido, atinge uma válvula de expansão, onde a pressão do líquido é reduzida e se resfria até alcançar a temperatura de, aproximadamente, 7 °C e, então, o ciclo de resfriamento ideal é reiniciado (ARAUJO, 2011).

2.3.2. TIPOS DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO

Os sistemas de ar-condicionado podem ser classificados de acordo com a forma como é retirada a carga térmica do ar presente no ambiente. Portanto, os ares-condicionados podem pertencer ao sistema de expansão direta, quando o calor do ar é transferido diretamente ao fluido refrigerante, ou ao sistema de expansão indireta, quando o calor do ar é transferido para o fluido refrigerante através de um meio intermediário (água ou salmoura) (CREDER, 2004).

2.3.3. SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO TIPO EXPANSÃO DIRETA

Os ares-condicionados deste sistema estão em contato direto com a carga térmica do ar quente ou frio proveniente do ambiente, que é diretamente resfriado pelo fluido refrigerante do sistema. Na maioria das instalações de porte médio e pequeno, ou seja, com áreas inferiores a 70 m², é preferível a utilização do sistema de expansão direta (CREDER, 2004).

No sistema de expansão direta, os principais ares-condicionados utilizados são (PROCEL, 2011):

- Ar-condicionado do tipo Janela;
- Ar-condicionado do tipo *Split*; e
- Ar-condicionado do tipo *Self-contained*;

2.3.3.1. AR-CONDICIONADO DO TIPO JANELA

Os aparelhos do tipo Janela que são comercializados no Brasil possuem uma capacidade de refrigeração que varia de 7500 a 30000 BTU/h são utilizados em ambientes pequenos. O evaporador e o condensador destes condicionadores de ar

estão localizados em seu interior, ou seja, no interior da sua carcaça. Devido a sua geometria, eles são embutidos em paredes ou em vãos de janelas e operam com o auxílio de drenos (ARAUJO, 2011).

Ao comparar os ares-condicionados do tipo janela com os demais comercializados no Brasil, é possível destacar as seguintes vantagens: são equipamentos compactos, possuem baixo custo de instalação e, principalmente, não ocupam o espaço interno útil dos ambientes, pois, além de estar embutido na parede, o seu evaporador, condensador e o compressor estão inseridos em seu interior. Porém, estes ares-condicionados possuem algumas desvantagens: elevados níveis de ruídos, pequenas capacidades de refrigeração, são pouco eficientes e promovem alterações na estrutura física do lado exterior das edificações (BEZERRA, 2008).

É importante salientar que o ar condicionado do tipo janela deve ser instalado em paredes ou janelas que permitam o contato da sua parte traseira com o ambiente externo ao recinto onde foi instalado, pois dessa forma ocorre o fenômeno da transferência de calor entre os componentes específicos do ar condicionado e o ar do ambiente externo. Esta transferência de calor é de suma importância para que este tipo de ar condicionado opere de forma eficiente (BARROS et al., 2015).

Um exemplo do ar condicionado do tipo janela comercializado no território brasileiro está representado na figura 5.



Figura 5 - Ar condicionado do tipo Janela. Fonte: WEBARCONDICIONADO, 2018.

2.3.3.2. AR-CONDICIONADO DO TIPO *SPLIT*

Os aparelhos do tipo *Split* comercializados no Brasil possuem uma capacidade de refrigeração que varia de 7500 a 60000 BTU/h. Estes ares-condicionados possuem o evaporador instalado no interior do recinto e o

condensador instalado em um ambiente que permita a troca de calor entre o fluido refrigerante e o ar do ambiente externo. Estes dois componentes são interligados por meio de uma tubulação de cobre isolada termicamente, por onde o fluido refrigerante circula (BARROS et al., 2015).

Algumas vantagens dos ares-condicionados do tipo *Split* podem ser identificadas ao compará-los com os outros tipos de ares-condicionados comercializados no Brasil, como: baixa emissão de ruídos, não interferência na estrutura física do lado externo da edificação e, principalmente, a facilidade de manutenção e flexibilidade de instalação. Em contrapartida, estes ares-condicionados apresentam elevado custo inicial quando comparados com os ares-condicionados do tipo janela e, além disso, possuem baixas capacidades de refrigeração quando comparados com os ares-condicionados do tipo *self-contained*, limitando sua instalação à ambientes de pequena área (BEZERRA, 2008) e (SATYRO, 2013).

Para que este tipo de ar-condicionado opere de forma eficiente é interessante programá-lo no modo automático, ou seja, quando o interior do recinto atinge a temperatura programada pelo aparelho, o compressor desliga e o ar condicionado opera no modo de ventilação. Caso a temperatura do ambiente interno atinja uma temperatura maior que a programada, o compressor volta a operar para reestabelecer a temperatura desejada (BARROS et al., 2015).

Um exemplo do ar condicionado do tipo *Split* e de suas unidades condensadoras e evaporadora estão representados na figura 6.



Figura 6 – Ar condicionado do tipo *Split*. Fonte: PROCEL, 2011.

2.3.3.3. AR-CONDICIONADO DO TIPO *SELF-CONTAINED*

Os ares-condicionados do tipo *self-contained* possuem uma elevada capacidade de refrigeração que varia de 60000 a 360000 BTU/h. Devido a esta elevada capacidade de refrigeração, este tipo de ar-condicionado é muito utilizado em ambientes de áreas superiores a 400 m² e que necessitam de uma refrigeração constante durante seus períodos de funcionamento. Os *shoppings*, indústrias e bancos são os locais mais indicados para a instalação dos ares-condicionados do tipo *self-contained* (CREDER, 2004).

Em relação aos demais ares-condicionados que utilizam os sistemas de expansão direta comercializados no Brasil, os ares-condicionados do tipo *self-contained* apresentam as seguintes vantagens: são equipamentos compactos e de instalação prática, possuem baixo custo específico (R\$/BTU/h) e apresentam elevada capacidade de refrigeração nos ambientes. Em contrapartida, estes ares-condicionados possuem como principal desvantagem o fato de reunir todos os seus componentes, inclusive sua unidade condensadora e evaporadora, no interior da sua carcaça, o que dificulta a sua manutenção preventiva e corretiva (BEZERRA, 2008).

Uma imagem ilustrativa do ar-condicionado do tipo *self-contained* está representado na figura 7.



Figura 7 - Ar-condicionado do tipo *Self-contained*. Fonte: PROCEL, 2011.

2.3.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ARES-CONDICIONADOS DO TIPO EXPANSÃO DIRETA

A comparação entre as principais características dos ares-condicionados do tipo expansão direta será realizada por meio da análise das suas capacidades de refrigeração, vantagens e desvantagens, que estão representadas na tabela 8.

Tabela 8 – Comparação das capacidades de refrigeração, das vantagens e das desvantagens entre os ares-condicionados do tipo expansão direta

Ar-condicionado	CR	Vantagens	Desvantagens
Janela	7500 a 30000 BTU/h	-Baixo custo de instalação -Facilidade de instalação -Compactos -Ocupam pequeno espaço útil interno do ambiente	-Ruído Elevado -Alteração de fachadas -Baixo COP
Split	7500 a 60000 BTU/h	-Baixa emissão de ruído -Facilidade de manutenção em comparação aos demais -Não altera fachadas - Unidade condensadora e evaporadora não estão embutidos no interior da carcaça do ar-condicionado	-Elevado custo de instalação em comparação com o ar-condicionado do tipo Janela -CR pequena quando comparada com o ar-condicionado do tipo <i>Self-Contained</i> -Necessidade de dois ambientes para instalação da unidade condensadora e evaporadora
Self-Contained	60000 a 360000 BTU/h	-Ruído elevado -Elevada Capacidade de Refrigeração -Baixo custo específico (R\$/Btu/h)	-Unidade condensadora e evaporadora no interior da sua carcaça -Manutenção Trabalhosa

Fonte: CAMPANHOLA et al., 2014.

2.3.4. EFICIÊNCIAS DOS SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

As eficiências dos equipamentos de condicionamento de ar são representadas por meio do coeficiente de performance ou desempenho (COP) e por meio da razão de eficiência Energética (EER) (PROCEL, 2011).

2.3.4.1. COEFICIENTE DE PERFORMANCE OU DESEMPENHO (*COP*)

O coeficiente de performance ou de desempenho representa um índice muito importante para a avaliação da eficiência dos equipamentos de refrigeração que funcionam por um ciclo de refrigeração por compressão de vapor. Este índice é a relação entre a capacidade de remoção de calor do espaço refrigerado (Q_L) e a potência média requisitada pelo compressor deste equipamento (W_{ent}) (ÇENGEL, BOLES, 2013).

A partir da análise do ciclo representado na figura 4, é possível representar coeficiente de desempenho pela seguinte expressão (MORAN et al., 2013):

$$COP = \frac{Q_L}{W_{ent}} = \left[\frac{Watts}{Watts} \right] \quad (5)$$

2.3.4.2. RAZÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (*EER*)

A Razão de Eficiência energética é uma forma prática de representar o rendimento de um equipamento de condicionamento de ar oriundo da análise do ciclo de refrigeração ideal de compressão por vapor. Este índice apresenta a relação entre a capacidade de refrigeração por unidade de tempo (*CR*) e a potência média requisitada pelo compressor do aparelho (W_{ent}). A sua unidade é BTU/h/Watts e a sua expressão é a seguinte (BEZERRA, 2008):

$$EER = \frac{\text{Capacidade de Refrigeração}}{\text{Potência média requisitada}} = \frac{CR}{W_{ent}} \quad (6)$$

2.3.4.3. RELAÇÃO ENTRE COEFICIENTE DE PERFORMANCE E RAZÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A partir das análises das especificações técnicas dos equipamentos de condicionamento de ar comercializados no Brasil é possível obter dados que permitem o cálculo das suas Razões de Eficiência Energética. Porém, na maioria das vezes, é mais interessante obter o coeficiente de desempenho deles por meio da seguinte expressão (PROCEL, 2011):

$$COP = 0,29 \times EER \quad (7)$$

2.3.5. ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PARA ARES-CONDICIONADOS DO TIPO *SPLIT* E JANELA

Por meio do PBE, O INMETRO disponibiliza dados atualizados dos Coeficientes de desempenho (COP's) dos ares-condicionados do tipo Janela e do tipo *Split* em seu endereço eletrônico oficial (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>). A partir destes dados é possível analisar a classe (A, B, C, D) dos ares-condicionados do tipo *Split* e do tipo Janela (PROCEL, 2011) e (BARROS et al., 2015).

Um exemplo do critério de classificação em relação ao COP dos ares-condicionados do tipo *Split* disponibilizado pelo INMETRO pode ser observado na Figura 8.

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL				Data atualização: 24/4/2017			
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall				
			Rotação Fixa		Rotação Variável		
A	3,23	<CEE	375	41,8%	315	91,3%	
B	3,02	<CEE ≤ 3,23	178	19,8%	22	6,4%	
C	2,81	<CEE ≤ 3,02	274	30,5%	8	2,3%	
D	2,60	≤CEE ≤ 2,81	70	7,8%	0	0,0%	

Figura 8 – Critério de classificação em relação ao COP dos ares-condicionados do tipo *Split*. Fonte: INMETRO, 2018.

2.4. SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Em se tratando das questões econômicas, ambientais e com relação a escassez dos recursos naturais não renováveis, a matriz energética de diversos países, incluindo a do Brasil, está sendo alterada por meio de incentivos e pesquisas em soluções energéticas renováveis, como é o caso, por exemplo, da energia solar

convertida em eletricidade ou em energia térmica. A possibilidade de utilizar a energia da radiação solar para promover o aquecimento de fluidos permite ao consumidor reduzir seus gastos com a energia elétrica, principalmente nos horários de pico, e, além disso, representa uma alternativa renovável para a obtenção de calor (COMGÁS,2011).

A radiação solar incidente na Terra pode ser convertida em energia elétrica, por meio dos painéis fotovoltaicos, e em energia térmica, por meio dos coletores solares. Os coletores solares são responsáveis por receber a radiação solar e transformá-la em energia térmica, que será transmitida, posteriormente, ao fluido que será aquecido. Na maioria das instalações industriais, públicas e residenciais, este fluido é a água utilizada para a realização das atividades inerentes a cada atividade humana (BARROS et al., 2015).

Este tipo de sistema é definido de acordo com a NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4) como: “sistema composto por coletor (es) solar (es), reservatório (s) térmico (s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas, que funcionam por circulação natural ou forçada”.

2.4.1. FUNCIONAMENTO BÁSICO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O sistema mais elementar de aquecimento solar é composto por coletores solares, reservatório térmico, registros misturadores de água, reservatório de água fria e pelas tubulações que ligam estes elementos. O funcionamento deste sistema inicia-se com a entrada da água fria no reservatório térmico, que em seguida escoar para os coletores solares. Estes coletores solares absorvem a radiação solar direta, promovendo o aquecimento da água fria que passa pelos seus dutos internos, que, geralmente, são produzidos em cobre ou alumínio. Após aquecida, esta água retorna ao reservatório térmico, onde fica armazenada até seu consumo. Por fim, quando a água for consumida, a sua temperatura é regulada por meio dos registros misturadores de água, que são utilizados para regular a temperatura final da água que será consumida (LARA; FACHIN, 2013).

2.4.2. PRINCIPAIS COMPONENTES

Os principais componentes que compõe um sistema de aquecimento solar de água são (NETO et al., 2017):

- Coletor Solar;
- Reservatório Térmico;
- Registros Misturadores de Água; e
- Circuito hidráulico;

2.4.2.1. COLETOR SOLAR

Os coletores solares são trocadores de calor responsáveis por receber a radiação incidente do Sol e convertê-la em energia térmica. A maior parte desta energia térmica é transferida para o fluido que circula no interior do coletor solar. Atualmente, no mercado brasileiros existem três tipos de coletores solares: o coletor solar plano fechado, o coletor solar plano aberto e o coletor solar com tubos a vácuo. Cada um destes coletores solares é destinado a diferentes aplicações e devem ser resistentes às intempéries naturais e deve ser eficiente na conversão da energia solar incidente em energia térmica (COMGÁS, 2011).

2.4.2.1.1. COLETOR SOLAR PLANO FECHADO OU COM COBERTURA

O coletor solar plano fechado é formado pelos seguintes componentes: cobertura, placa absorvedora, caixa externa, tubos de cobre (flautas) e isolamento térmico. A parte inferior e lateral são compostas por um material isolante térmico que evita, em conjunto com uma cobertura, a transferência de calor do coletor solar para o ambiente (CERVEIRA, 2012).

Uma representação dos componentes do coletor solar plano fechado pode ser observado na figura 9.

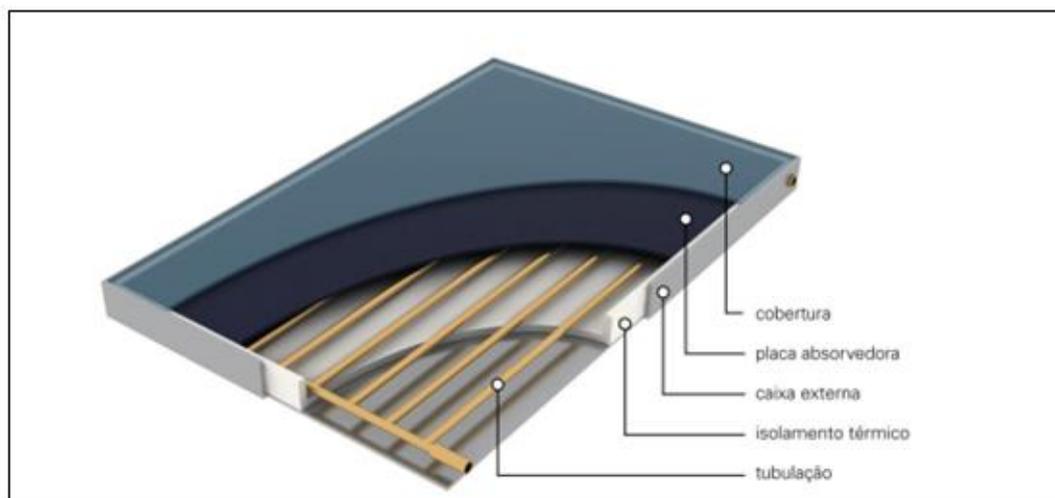


Figura 9 - Representação dos componentes do Coletor solar plano fechado. Fonte: COMGÁS, 2011.

Esses tipos de coletores solares são muito utilizados para o aquecimento da água utilizada nos chuveiros elétricos, nas pias da cozinha e no lavabo de banheiros. O coletor solar plano fechado possui maior eficiência na conversão da radiação solar incidente em energia térmica quando comparados com os coletores solares planos abertos e, além disso, são capazes de operar com temperaturas de até 90 °C (BARROS et al., 2015).

2.4.2.1.2. COLETOR SOLAR PLANO ABERTO OU SEM COBERTURA

Esses coletores solares não são providos de cobertura e a captura da radiação solar ocorre por meio da própria placa absorvedora constituída por material polimérico ou por material metálico. Pelo fato destes coletores não possuírem cobertura, o calor produzido não é retido nele, o que justifica a sua menor eficiência em relação ao coletor solar plano fechado. Portanto, estes coletores são mais utilizados em instalações que necessitam de temperaturas mais baixas, como, por exemplo, no aquecimento de piscinas (COMGÁS,2011).

Uma representação da estrutura do coletor solar plano aberto pode ser observado na figura 10.

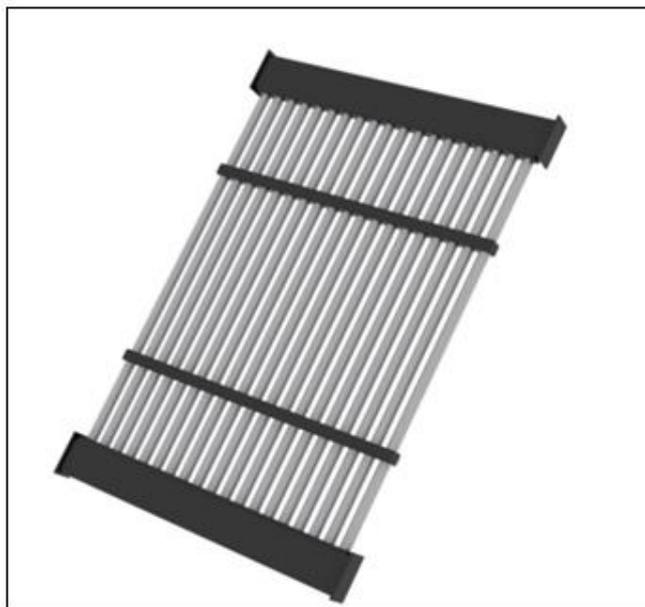


Figura 10 - Coletor solar plano aberto. Fonte: COMGÁS, 2011.

2.4.2.1.3. COLETOR SOLAR COM TUBOS À VÁCUO

Esses coletores são formados por uma camada de vácuo localizada entre o tubo de vidro (camada mais externa) e o tubo de cobre (camada mais interna), que é responsável pela absorção da radiação solar direta e difusa. No interior destes tubos de cobre existe um fluido térmico que, ao ser aquecido, evapora e escoar até o condensador, localizado na parte superior do coletor. Ao alcançar o condensador, o fluido térmico vaporizado transfere calor à água fria que está escoando no interior do condensador, aquecendo-a. Ao mesmo tempo em que a água fria é aquecida, o fluido térmico é condensado, retornando ao interior do tubo de cobre. A partir deste momento, o ciclo de aquecimento da água é reiniciado (CUSSEIALA, 2013).

Uma representação da estrutura do coletor solar com tubos à vácuo pode ser observada na figura 11.



Figura 11 – Coletor solar com tubos à vácuo. Fonte: COMGÁS, 2011

A utilização de tubos evacuados em seu interior favorece a redução das perdas térmicas por convecção e condução. Logo, as perdas de calor por convecção para a atmosfera são reduzidas e, assim, o fluido a ser aquecido atinge uma temperatura bastante elevada quando comparada com as temperaturas atingidas por ele nos demais coletores solares. Portanto, os coletores solares com tubos à vácuo devem ser adotados, preferencialmente, em instalações hospitalares e em instalações industriais específicas (BARROS et al., 2015).

2.4.2.2. RESERVATÓRIOS TÉRMICOS

Os reservatórios térmicos são os equipamentos responsáveis por armazenar a água aquecida durante o dia nas temperaturas desejadas para ser consumida, preferencialmente, no período noturno. Estes reservatórios possuem um formato cilíndrico e podem ser constituídos de materiais como alumínio, cobre ou aço inoxidável. Ademais, estes reservatórios são compostos por duas superfícies cilíndricas, uma interna e outra externa, e entre elas existe uma camada de isolamento térmico constituído por lã de vidro ou espuma de poliuretano, que diminui as perdas de calor da água quente armazenada no reservatório para o meio ambiente (SIQUEIRA, 2009).

No Brasil, a maioria dos reservatórios térmicos possuem o formato cilíndrico e são instalados no sentido horizontal. Na superfície destes reservatórios é possível observar quatro conexões hidráulicas: Conexão da água fria proveniente da caixa d'água, conexão de saída da água quente para abastecimento da habitação, conexão de saída de água fria para os coletores e conexão de entrada da água quente proveniente dos coletores solares (NETO et al., 2017).

Uma representação de um reservatório térmico horizontal característico de um SAS no Brasil pode ser observada na figura 12.

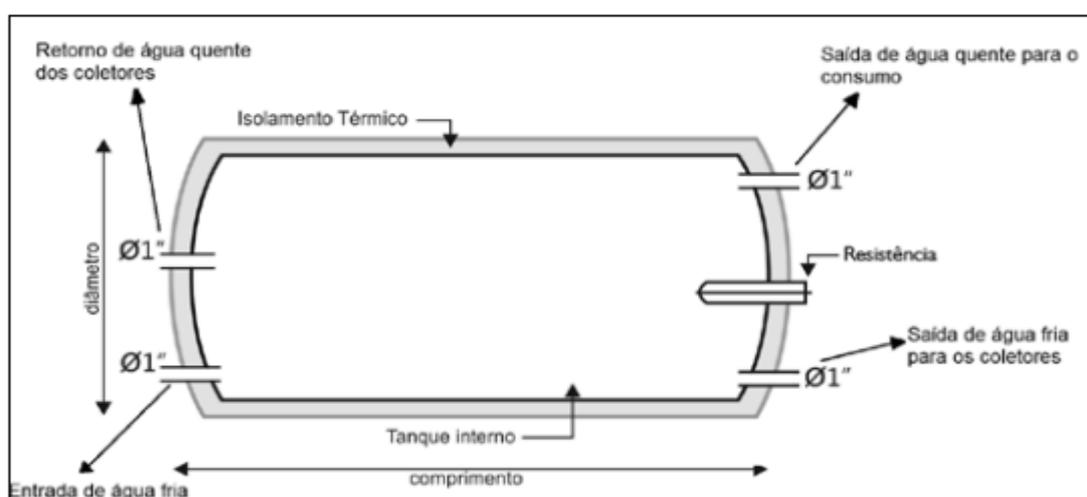


Figura 12 - Representação de um reservatório térmico horizontal. Fonte: KOMECO, 2018.

Na maioria dos sistemas de aquecimento solar, por questões econômicas ou técnicas, os reservatórios podem necessitar de sistemas de aquecimentos auxiliares. Estes sistemas de aquecimento auxiliares podem ser formados por termostatos e resistores ou por um sistema auxiliar composto por outras fontes de energia, que utiliza, em alguns casos, o gás natural (COMGÁS,2011).

2.4.2.3. REGISTROS MISTURADORES DE ÁGUA

Os sistemas de aquecimento solar devem possuir mecanismos para controlar a temperatura da água que será utilizada, principalmente, nos chuveiros elétricos. Portanto, na maioria das aplicações são utilizados registros misturadores, tanto para a tubulação de água fria quanto para a tubulação de água quente. Estes registros

misturadores possuem a função de realizar a mistura entre a água fria oriunda da caixa d'água e a água quente proveniente do reservatório térmico (SOLAREM, 2018).

No Brasil, a empresa Soletrol foi responsável por elaborar o Registro Misturador Solar Soletrol, que possui a função de regular a temperatura da água utilizada no banho sem a necessidade de quebra de paredes e azulejos. Este registro misturador pode ser observado na figura 13 (SOLETROL, 2018).



Figura 13 - Registro Misturador Solar. Fonte: SOLETROL, 2018.

Na figura 14 está representado o resultado final da instalação do registro misturador solar em um SAS composto por um chuveiro elétrico como sistema de apoio.

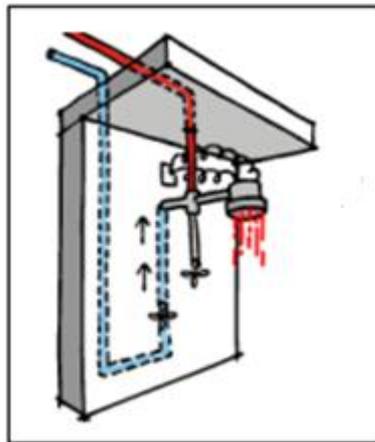


Figura 14 - Sistema de Aquecimento Solar composto pelo Registro Misturador Solar. Fonte: SOLETROL, 2018.

2.4.2.4. CIRCUITO HIDRÁULICO

Os sistemas de aquecimento solar de água são compostos, de um modo geral, por um circuito hidráulico constituídos pelos seguintes componentes: Circuito hidráulico primário, circuito hidráulico secundário, tubulação de água fria, isolamentos, válvulas de controle de vazão e sensores de temperatura (NETO et al., 2017).

O circuito hidráulico primário é o circuito formado pelas tubulações que estão entre o reservatório térmico e o coletor solar, ou seja, este circuito é formado pelas tubulações que transportam a água fria do reservatório térmico para o coletor solar e pelas tubulações que transportam a água quente do coletor solar para o reservatório térmico. Por sua vez, o circuito hidráulico secundário é responsável pela distribuição da água aquecida do reservatório térmico para a rede hidráulica do empreendimento doméstico ou industrial (INETI, 2006).

Para que a água aquecida seja transportada dos coletores solares até o reservatório térmico e, em seguida, para as instalações hidráulicas dos ambientes residenciais e industriais, as tubulações e os acessórios por onde ela circula devem ser constituídos por materiais isolantes que sejam capazes de suportar temperaturas elevadas. Este isolamento térmico irá contribuir para que a perda de calor da água para o meio ambiente seja mínima, contribuindo para a melhoria da eficiência térmica dos sistemas de aquecimento solar (ROSA, 2012).

Um esquema do circuito hidráulico primário e secundário de um sistema de aquecimento solar pode ser observado na figura 15.

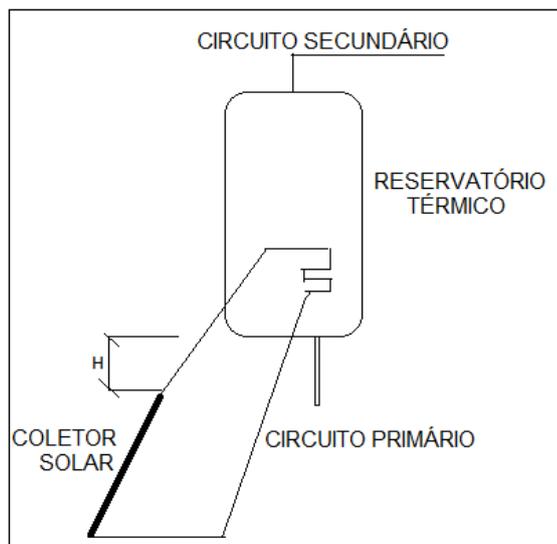


Figura 15 - Circuito hidráulico primário e secundário de um sistema de aquecimento solar. Fonte: Adaptado de INETI, 2006.

A tubulação oriunda da caixa d'água é conectada ao reservatório térmico por meio da tubulação de água fria. Em seguida, a água fria circula no circuito hidráulico primário até atingir os coletores solares, onde ela é aquecida (CUSSEIALA, 2013).

2.4.3. ARRANJO DOS COLETORES SOLARES

Os coletores solares podem ser arranjados de diversas maneiras, sendo os arranjos em série e em paralelo os mais utilizados. Cada um destes arranjos apresenta suas vantagens e desvantagens específicas dentro de um determinado sistema de aquecimento solar (CAMPANIÇO, 2010).

2.4.3.1. ARRANJO EM SÉRIE

No arranjo em série, os coletores solares são arranjados de modo que a água aquecida no primeiro coletor entre no segundo coletor e, assim sucessivamente. Portanto, quanto maior o número de coletores dispostos em série, maior será a temperatura da água que retorna ao reservatório térmico deste sistema. Desta forma, a temperatura da água neste sistema atinge valores elevados e a vazão de água é invariável em todos os coletores. Em contrapartida, a eficiência térmica média dos últimos coletores do arranjo é baixa (NETO et al., 2017).

O esquema de um arranjo em série de coletores solares pode ser identificado na figura 16.

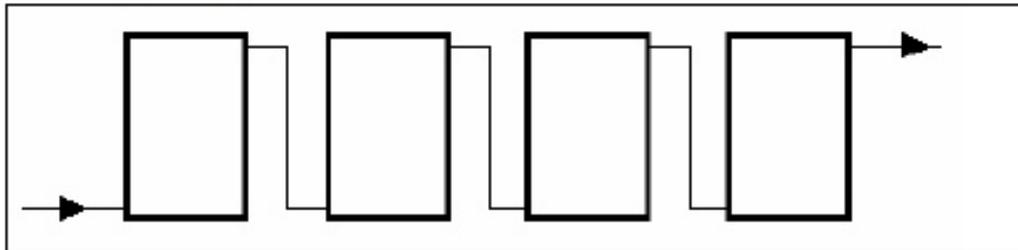


Figura 16 - Esquema de um arranjo em série de coletores solares. Fonte: INETI, 2006.

2.4.3.2. ARRANJO EM PARALELO

No arranjo em paralelo a temperatura da água aquecida não aumenta gradativamente à medida que atinge os coletores solares dispostos em paralelo, ou seja, sua temperatura permanece praticamente invariável após ter sido aquecida pelo primeiro coletor do arranjo. Este tipo de ligação entre os coletores solares permite que haja um aumento da vazão da água quente na saída do último coletor e, além disso, proporciona um maior rendimento do sistema quando comparado ao arranjo em série (CAMPANIÇO, 2010).

O esquema de um arranjo em paralelo dos coletores solares pode ser observado na figura 17.



Figura 17 - Esquema de um arranjo em paralelo de coletores solares. Fonte: CAMPANIÇO, 2010.

2.4.4. SISTEMAS DE CIRCULAÇÃO NO CIRCUITO PRIMÁRIO

No Brasil, os sistemas de aquecimento solares são aplicados, principalmente, no aquecimento da água utilizada no chuveiro. Estes sistemas podem ser classificados em dois tipos em relação à circulação da água (NETO et al., 2017):

- Sistemas de Circulação Natural ou Termossifão e
- Sistemas Ativos ou de Circulação Forçada;

2.4.4.1. SISTEMA DE CIRCULAÇÃO NATURAL OU TERMOSSIFÃO

Os sistemas de circulação natural por Termossifão são caracterizados pelo movimento natural da água nos componentes e nas tubulações do circuito primário dos sistemas de aquecimento solar devido à diferença de temperatura e de densidade da água que circula neste circuito. A radiação solar que incide nos coletores solares é convertida em energia térmica, que é transmitida, na forma de calor, para a água fria, aquecendo-a. Esta água aquecida, com menor densidade, é transportada até o reservatório térmico, se concentrando na parte superior dele ao passo que a água fria, com maior densidade, se concentra na parte inferior do reservatório (MEXA, 2011).

Devido ao princípio de funcionamento deste sistema, a vazão de circulação da água no circuito primário depende tanto do desnível entre a base do reservatório térmico e a parte superior dos coletores solares quanto da radiação solar que incide nos coletores solares, ou seja, quanto maior a incidência da radiação no coletor solar, maior será a vazão da água dos coletores para o reservatório térmico (INETI, 2006) e (MEXA, 2011).

Uma representação do circuito primário de um sistema de circulação natural por Termossifão pode ser observada na figura 18.

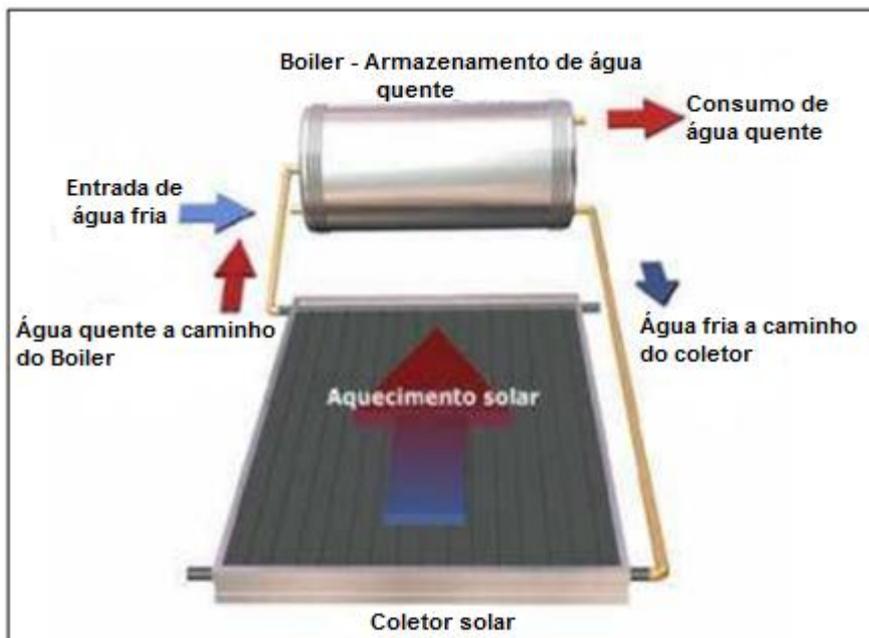


Figura 18 - Circuito primário de um sistema de Circulação Natural ou Termossifão.
Fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2008.

2.4.4.2. SISTEMAS ATIVOS OU DE CIRCULAÇÃO FORÇADA

Os sistemas de circulação forçada ou bombeado funcionam com o auxílio de uma bomba hidráulica, que tem a função de forçar a circulação da água no circuito primário deste sistema, ou seja, entre os coletores solares e o reservatório térmico. Ademais, este sistema é composto por um sensor diferencial de temperatura, que aciona a bomba hidráulica quando o fundo do reservatório térmico e a parte superior dos coletores atingem uma determinada diferença de temperatura pré-programada neste sensor (MEXA, 2011).

Uma representação do circuito primário de um Sistema Ativo ou de circulação forçada pode ser observada na figura 19.

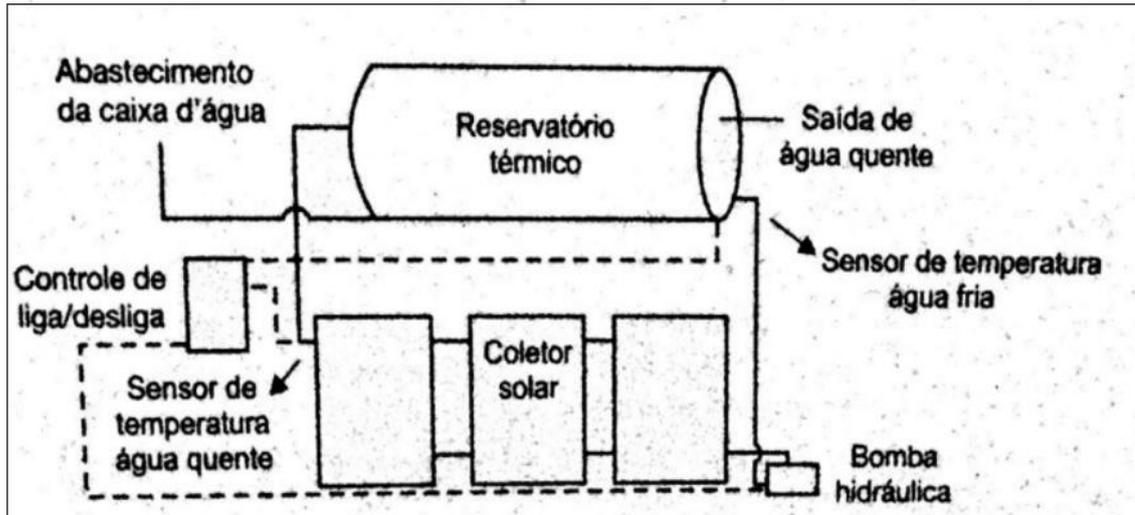


Figura 19 - Representação do circuito primário de um Sistema Ativo ou de circulação Forçada. Fonte: NETO et al., 2017.

Devido ao uso da bomba hidráulica, este sistema não possui limitação em relação a diferenças de cotas entre a base do reservatório térmico e a parte superior dos coletores solares e, conseqüentemente, estes reservatórios não necessitam estar próximos aos coletores solares e, dessa forma, existe a possibilidade de associação de um número maior de coletores solares. Portanto, devido ao arranjo destes tipos de sistemas, eles são bastante empregados em instalações hidráulicas de grande porte (NETO et al., 2017).

2.4.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Para realizar o dimensionamento do sistema de aquecimento solar é necessário, inicialmente, calcular o volume de consumo diário de água nos chuveiros dos leitos do hospital, por meio da expressão:

$$V_{co} = C_l \times Q_l \times 10^{-3} \quad (8)$$

Em que:

V_{co} : Volume de consumo diário em m³/dia;

C_l : Consumo diário de água por leito igual a 125 litros/leito.dia (Valor definido pela ABNT na NBR 7198:1993);

Q_l : Quantidade de leitos;

Com o valor do volume de consumo diário do Hospital, calcula-se o volume de água que será armazenado no reservatório. Dessa forma, sugere-se que o volume armazenado seja, no mínimo, igual a 75% do volume de consumo diário. Portanto, o volume de água do reservatório pode ser calculado pela expressão (ABNT, 2008):

$$V_{arm} = 0,75 \times V_{co} \quad (9)$$

Em que:

V_{arm} : Volume de água quente do reservatório em m³;

Depois de calculado o volume armazenado, calcula-se a temperatura de armazenamento da água por meio da expressão (NETO et al., 2017):

$$T_{arm} = \frac{[V_{co} \times (T_{co} - T_{amb})]}{V_{arm}} + T_{amb} \quad (10)$$

Em que:

T_{arm} : Temperatura de armazenamento da água em °C;

T_{amb} : Temperatura ambiente média anual do local de instalação em °C;

T_{co} : Temperatura de consumo da água no local de instalação em °C (Mínimo 40 °C);

Nesse momento, estima-se a energia térmica útil do sistema de aquecimento solar pela expressão (NETO et al., 2017):

$$Q = V_{arm} \times \gamma \times C_p \times (T_{arm} - T_{amb}) \times N_{dias} \quad (11)$$

Em que:

Q : Energia térmica útil do sistema em kWh/mês;

γ : Massa específica da água igual a 1000 kg/ m³;

C_p : Calor específico da água igual a 11,63 x 10⁻⁴ kWh/ kg. °C

N_{dias} : Número de dias no mês igual a 30 dias;

Depois de estimada a energia térmica útil, calcula-se a área coletora do sistema de aquecimento solar por meio da seguinte expressão (ROSA, 2013):

$$A_{SAS} = \frac{Q}{I_G \times \eta} \quad (12)$$

Em que:

I_G : Maior valor da irradiação média do ano em kWh/ m².dia;

η : Eficiência Energética média do coletor solar tabelado pelo INMETRO (%);

A_{SAS} : Área coletora do SAS em m²;

Dessa forma, calcula-se a quantidade de coletores solares necessários para o sistema de aquecimento solar por meio da expressão:

$$N_{col} = \frac{A_{SAS}}{A_{col}} \quad (13)$$

Em que:

N_{col} : Número de coletores solares;

A_{col} : Área externa dos coletores solares em m³;

Por fim, calcula-se a fração solar, que é a relação entre a quantidade da energia térmica útil suprida pelos coletores solares e pelo sistema de apoio, que, no caso do HUB, serão os resistores dos chuveiros elétricos existentes nos leitos da Unidade I e II.

Portanto, para obtenção da fração solar do sistema de aquecimento solar proposto, será necessário calcular as variáveis adimensionais X e Y da seguinte forma (COMGÁS, 2011):

$$X = \frac{A_{SAS} \times FrUL \times (T_{ref} - T_{amb})}{Q} \quad (14)$$

$$Y = \frac{A_{SAS} \times Fr(ta)n \times I_G \times N_{mês}}{Q} \quad (15)$$

Em que:

X : Variável adimensional;

Y : Variável adimensional;

$FrUL$: Produto do fator de remoção e coeficiente global de perdas térmicas do coletor solar, expresso em kW/ m².°C;

T_{ref} : Temperatura de referência constante e igual a 100 °C;

$Fr(ta)n$: Produto do fator de remoção, transmissividade e absortividade da tinta dos coletores;

$N_{mês}$: Número de dias no mês igual a 30;

A partir dos valores de X e Y obtidos, é possível calcular a fração solar do sistema de aquecimento solar de cada mês por meio da expressão (COMGÁS, 2011):

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (16)$$

Em que:

f : Fração solar

2.5 ANÁLISE FINANCEIRA DE INVESTIMENTOS

A análise financeira de um investimento se baseia na comparação entre os lucros que serão obtidos com o projeto e o investimento inicial necessário para a sua implementação, de modo que, seja possível decidir se o investimento vale a pena ou não. Dessa maneira, a decisão de realizar ou não um investimento é baseado em indicadores financeiros quantitativos, em que os mais conhecidos são: *Payback* simples e composto, o VPL e a TIR (JIMÉNEZ, 2017).

2.5.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO E TAXA INTERNA DE RETORNO

O valor presente líquido, um dos métodos mais utilizados na análise de investimentos, é calculado para analisar o ganho monetário que se teria ao realizar um investimento a uma determinada taxa de juros. De maneira complementar ao VPL, tem-se a Taxa Interna de Retorno, que é a taxa de desconto em que o valor presente das receitas se iguala ao valor presente dos desembolsos, ou seja, a taxa interna de retorno anula o valor presente líquido do investimento (OLIVEIRA, 2018).

2.5.2 PAYBACK SIMPLES E PAYBACK DESCONTADO

Em projetos de eficiência energética o período do *payback* simples é obtido levando-se em consideração o tempo necessário para que os investimentos iniciais sejam compensados pelas economias monetárias mensais ou anuais oriundas da implementação das alternativas energéticas mais eficientes (NETO et al., 2017)

Para o cálculo do período do *payback* simples de um projeto com recebimentos anuais constantes, basta analisar o fluxo de caixa em um determinado período até que o investimento inicial seja recuperado ou dividir o investimento inicial do projeto pelo valor do recebimento anual, de acordo com a seguinte equação (ZOT, 2008):

Dessa forma, o *payback* simples de investimentos em eficiência energética com recebimentos mensais constantes são calculados por meio da expressão:

$$\textit{Payback Simples} = \frac{\textit{Investimento Inicial Estimado (R\$)}}{\textit{Economia Monetária Anual (R\$/ano)}} \quad (17)$$

De maneira a tornar a avaliação do período de retorno do investimento mais real, utiliza-se o método do *payback* descontado, em que o valor do dinheiro no tempo é levado em consideração, ou seja, os fluxos de caixa devem ser analisados à valores presentes, por meio da equação (JIMÉNEZ, 2017):

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (18)$$

Em que:

VP: Valor do dinheiro no presente em R\$;

VF: Valor do dinheiro em um período no futuro em R\$;

i : Taxa de juros (SELIC ou IPCA);

n: Período futuro de análise em ano ou meses;

O *payback* descontado, nesse caso, é o último período em que o saldo do investimento ainda é negativo acrescido do resultado da divisão entre o módulo do último saldo negativo e o valor presente do fluxo de caixa no período em que o saldo se tornou positivo. Portanto, o *payback* descontado pode ser calculado pela expressão:

$$\textit{Payback Descontado} = P_N + \frac{|S_N|}{VP_{FC}} \quad (19)$$

Em que:

Payback Descontado: Período em que o investimento é recuperado em anos ou meses;

P_N : Último período em que o saldo do investimento ainda é negativo em anos ou meses;

S_N : Último saldo negativo em R\$;

VP_{FC} : Valor presente do fluxo de caixa no período em que o saldo se tornou positivo em R\$;

3. ESTUDO DE CASO – HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA

O Hospital Universitário de Brasília é uma instituição pública federal vinculada à Universidade de Brasília (UNB), mas que, desde 2013, é administrado pela EBSEH. O HUB é certificado como um hospital de ensino, onde os graduandos e

pós-graduandos do curso de medicina da UnB realizam pesquisas, estágios e programas de residência médica e profissional (EBSERH, 2017).

A EBSERH é caracterizada juridicamente como empresa pública dotada de personalidade jurídica de direito privado, vinculada ao Ministério da Educação e guiada pelas diretrizes e políticas estabelecidas pelo Ministério da Saúde. Além de outras atribuições, a EBSERH é responsável por administrar todas as unidades do HUB de modo a proporcionar serviços de assistência médico-hospitalar, ambulatorial e de apoio médico à população, no âmbito do SUS (BRASIL, 2011).

3.1. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E GEOGRÁFICAS

Os setores que constituem o HUB podem ser observados na imagem aérea representada na Figura 20.



Figura 20 - Imagem aérea do HUB. Fonte: *GOOGLE EARTH* Adaptado, 2018.

A partir da análise da Figura 20, têm-se as seguintes características de cada uma das coberturas numeradas:

- ÁREA 1 (Odontologia 1): Área da Odontologia. Apresenta um telhado com formato ondulado com a ausência de árvores ao redor.
- ÁREA 2 (Odontologia 2): Segunda área da Odontologia, valem as mesmas observações da ÁREA 1.
- ÁREA 3 (Ambulatório): Esses blocos são muito baixos e com muitas árvores ao redor. Possui uma cobertura de zinco em bom estado de conservação.
- ÁREA 4 (Ambulatório): Essa área é formada por uma cobertura vegetal de zinco em bom estado de conservação. No período da tarde, essa área fica submetida a muita sombra.
- ÁREA 5 (ICA): Essa área está com suas obras paralisadas sem previsão de retorno delas. A EBSEH não tem controle sobre essa área.
- ÁREA 6 (CACON): Está ocorrendo uma obra nessa área, Obra de expansão do CACON (Tratamento de Radioterapia).
- ÁREA 7: Telhado muito antigo, com muitas áreas de ventilação. Lado direito está sujeito a muita sombra da torre do outro bloco no período da manhã.
- ÁREA 8 (Cozinha): Telhado muito antigo, com muitas áreas de ventilação, muitas tubulações e equipamentos em sua cobertura.
- ÁREA 9 (Unidade I): Essa área da Unidade I. Este local é composto pelos leitos de internação. É uma área adequada para a instalação de coletores solares.
- ÁREA 10 (Unidade II): Essa é a área da Unidade II. Nos fundos dessa área, de forma protegida e coberta, estão localizados dois geradores elétricos. Além disso essa área complementa a Unidade I, onde estão localizados os outros leitos.
- ÁREA 11 (Administração): Esse é o telhado da Administração, ao lado dele tem um pequeno contêiner do Data Center e do outro lado estão localizados alguns transformadores.
- ÁREA 12 (DEC): Essa área é a da Engenharia, onde não há previsão de obras futuras.
- ÁREA 13(Data Center): Essa área é o Data Center. É uma área que foi construída recentemente e que apresenta uma cobertura de zinco em boas condições de conservação. A área ocupada por este setor no HUB é pequena.

De acordo com os dados disponíveis no *software Google Earth Pro*, Brasília possui uma latitude de 15,7° S e uma longitude de 47,929722° O. Estes dados são de suma importância para determinar a inclinação e a orientação dos coletores solares nos sistemas de aquecimento solares.

3.2. IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, INCLINADA E DIRETA REFERENTE AO PLANO PILOTO

Para obter uma média dos valores de irradiação solar Global, Inclinação e Direta foi utilizado o simulador Solar disponível no site da América do Sol (http://www.americadosol.org/simulador/simulation.php?id=272010&session=d68f6a50aa21295e57a87525cc78bc6e&id_s=1). Neste simulador os dados referentes às Irradiações (Global, Inclinação e Direta) são provenientes da base de dados do INPE/SWERA.

Os dados relativos às médias de Irradiação Global, Inclinação e direta durante cada mês do ano na região administrativa do Plano Piloto (Asa Norte - DF) estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores das Irradiações Solares na Região Administrativa do Plano Piloto (Asa Norte - DF). Fonte: SOL, 2018.

Mês	Irradiação Global	Irradiação Inclinação	Irradiação Direta
Janeiro	6,10 kWh/m ² /dia	5,59 kWh/m ² /dia	5,67 kWh/m ² /dia
Fevereiro	5,54 kWh/m ² /dia	5,43 kWh/m ² /dia	3,91 kWh/m ² /dia
Março	5,56 kWh/m ² /dia	5,75 kWh/m ² /dia	5,30 kWh/m ² /dia
Abril	5,56 kWh/m ² /dia	6,17 kWh/m ² /dia	6,46 kWh/m ² /dia
Mai	4,75 kWh/m ² /dia	5,56 kWh/m ² /dia	5,41 kWh/m ² /dia
Junho	3,76 kWh/m ² /dia	4,51 kWh/m ² /dia	4,14 kWh/m ² /dia
Julho	4,87 kWh/m ² /dia	5,90 kWh/m ² /dia	4,87 kWh/m ² /dia
Agosto	5,88 kWh/m ² /dia	6,70 kWh/m ² /dia	7,97 kWh/m ² /dia
Setembro	6,38 kWh/m ² /dia	6,75 kWh/m ² /dia	7,33 kWh/m ² /dia
Outubro	6,65 kWh/m ² /dia	6,60 kWh/m ² /dia	7,24 kWh/m ² /dia
Novembro	5,84 kWh/m ² /dia	6,60 kWh/m ² /dia	4,59 kWh/m ² /dia
Dezembro	5,34 kWh/m ² /dia	4,83 kWh/m ² /dia	3,46 kWh/m ² /dia

Ao analisar a Tabela 9, é possível perceber que o menor índice de Irradiação Solar Global ocorre no mês de junho e o maior valor ocorre em outubro. Além disso, por meio dos dados dispostos nesta tabela, é possível obter o valor da Irradiação Global média anual incidente na Região Administrativa do Plano Piloto (Asa Norte - DF), que será utilizada no dimensionamento do SAS por meio do método disposto na NBR 15569(ABNT, 2008).

3.3. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS TARIFÁRIAS

Do ponto de vista da tarifação de energia elétrica, o Hospital Universitário de Brasília é dividido em 4 setores: Unidade I e II, Ambulatório, Administração e Data Center, cada um destes setores pertence a uma modalidade tarifária diferente.

As características tarifárias de cada um dos quatro setores tarifados no HUB estão explicadas a seguir:

- Unidade I e II: Este setor pertence ao grupo Tarifário A e à modalidade tarifária horária azul.
- Data Center: Este setor pertence ao grupo Tarifário A e à modalidade tarifária horária verde.
- Ambulatório: Este setor pertence ao grupo Tarifário B e à modalidade tarifária monômnia.
- Administração: Este setor pertence ao grupo Tarifário B e à modalidade tarifária monômnia.

Dentre os setores supracitados, o Data Center foi escolhido para ser analisado no escopo deste trabalho, pois, a partir dos dados expostos na sua tarifa de energia elétrica, percebeu-se que este setor está produzindo uma Energia Reativa Excedente tanto no horário de ponta quanto no horário fora de ponta.

3.4. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE ILUMINAÇÃO

Os quatro setores tarifados pela CEB são constituídos, em sua maioria, por lâmpadas fluorescentes tubulares de 16,20,32 e 40 Watts e por poucas unidades de

lâmpadas incandescentes em locais isolados que são pouco utilizados pelos pacientes e profissionais do HUB. Ademais, os sistemas de iluminação das lâmpadas fluorescentes tubulares são compostos por reatores eletromagnéticos.

A análise da eficiência energética relativa ao sistema de iluminação do HUB abordada neste trabalho ocorrerá no setor da Administração, onde as lâmpadas utilizadas são do tipo fluorescente tubular T8 com reatores eletrônicos.

A composição e as características atuais do sistema de iluminação do HUB podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Composição e características do sistema de iluminação atual.

Sistema de Iluminação atual				
Térreo				
Tipo	Marca	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
Fluorescente T8	Philips	16	820	12
Fluorescente T8	Osram	20	1060	53
Fluorescente T8	Elgin	32	2250	40
Fluorescente T8	Philips	40	2500	50
Primeiro Pavimento				
Tipo	Marca	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
Fluorescente T8	Philips	16	820	20
Fluorescente T8	Osram	20	1060	35
Fluorescente T8	Elgin	32	2250	60
Fluorescente T8	Philips	40	2500	61
Lado Externo				
Tipo	Marca	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
Fluorescente T8	Philips	40	2500	26
Refletor LED	SuperLed	30	2400	9

3.5. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

No que diz respeito ao condicionamento do ar, os quatro setores tarifados pela CEB são constituídos por ares-condicionados do tipo *Split* e do tipo janela. A maioria destes ares-condicionados está funcionando normalmente, pois o setor de engenharia do HUB promove revisões periódicas deles nos diversos setores do hospital.

A análise da eficiência energética relativa ao sistema de condicionamento de ar ocorrerá no setor da Administração do HUB, em que a maioria dos ares-condicionados do tipo *Split* e do tipo Janela não pertencem a classe A de eficiência energética, de acordo com o critério adotado pelo INMETRO na ENCE.

A composição e as características atuais do sistema de condicionamento de ar da Administração do HUB podem ser observadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Composição e características do sistema de condicionamento de ar atual.

Sistema de condicionamento de ar atual					
Tipo	Quantidade	Potência Nominal (W)	Marca	Capacidade de Refrigeração (BTU/h)	Classificação PROCEL
Split	14	1190	ELGIN	12000	C
	2	2504	ELETROLUX	24000	D
	2	2640	ELGIN	24000	C
Janela	1	3813	CONSUL	30000	D

3.6. SETORES DO HUB E SUAS CARACTERÍSTICAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O aquecimento da água utilizada nos chuveiros elétricos dos leitos do HUB é realizado por meio da energia elétrica, ou seja, com o auxílio das resistências instaladas nos chuveiros elétricos convencionais. Ademais, o HUB não possui um sistema central de aquecimento de água (caldeira).

A análise da eficiência energética relativa ao sistema de aquecimento de água nos chuveiros elétricos do HUB abordada neste trabalho ocorrerá no setor da Unidade I e II, que é constituída por um total de 228 leitos para acomodação dos pacientes enfermos.

De acordo com a NBR 7198(ABNT, 1993), tem-se que a estimativa do consumo de água aquecida por dia no banho relativa a cada leito dos Hospitais é de 125 litros/leito.dia.

4. METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho será dividida em três partes: uma metodologia geral, uma metodologia para análise financeira dos investimentos e uma metodologia específica para o dimensionamento do banco de capacitores automático e para os sistemas propostos de iluminação, condicionamento de ar e de aquecimento solar.

4.1. METODOLOGIA GERAL

A metodologia adotada para a realização do referido estudo terá uma abordagem predominantemente quantitativa ao utilizar uma formulação matemática para se alcançar os resultados deste trabalho (SEVERINO, 2007).

A técnica que será utilizada neste trabalho para a coleta de dados será a observação participante, que consiste na percepção direta dos fatos, sem intermediação de terceiros (GIL, 2008). Esta técnica será utilizada por meio do exame técnico presencial dos sistemas que estão no escopo deste trabalho pelo pesquisador.

Ademais, este trabalho utilizará o Estudo de Caso como metodologia de pesquisa científica. No estudo de caso a pesquisa se baseia na escolha de um caso particular considerado representativo dentre um conjunto de casos análogos, que utiliza os mesmos procedimentos de análise e coleta de dados das pesquisas de campo (SEVERINO, 2007). Portanto, adotou-se o Hospital Universitário de Brasília como o local para a realização do estudo de caso relacionado à eficiência energética.

A partir de visitas técnicas e de pesquisas realizadas sobre o tema, a análise da eficiência energética do HUB será dividida em quatro setores: Análise da energia reativa excedente no Data Center, análise do sistema de condicionamento de ar e iluminação da Administração e análise do sistema de aquecimento de água nos chuveiros elétricos dos leitos da Unidade I e II.

Para o cálculo da economia percentual do sistema de condicionamento de ar, de iluminação LED e do sistema de aquecimento solar, será utilizada a expressão:

$$Economia\ Percentual\ (\%) = \left(1 - \frac{C_{SP}}{C_{SA}}\right) \times 100 \quad (20)$$

Em que:

C_{SP} : Consumo de Energia Elétrica Mensal do Sistema Proposto em kWh/mês;

C_{SA} : Consumo de Energia Elétrica Mensal do Sistema Atual em kWh/mês;

A adoção das metodologias descritas nos subtópicos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 permitirão a obtenção dos resultados desejados nesse trabalho de conclusão de curso.

4.2. METODOLOGIA PARA ANÁLISE FINANCEIRA DOS INVESTIMENTOS PROPOSTOS

A análise financeira das alternativas propostas nesse trabalho será realizada por meio da análise do *payback* simples e do *payback* descontado.

O cálculo do *payback* simples e do *payback* descontado da instalação do banco de capacitores automático no Data Center, da troca dos aparelhos de ar-condicionado e de iluminação na Administração e da instalação do SAS na Unidade I e II será realizada com o auxílio do *software Microsoft Excel 2013*.

4.3. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO

Ao analisar as tarifas de energia elétrica do Data Center entre janeiro e novembro dos anos de 2016 e 2017, foi percebido que este setor apresenta uma energia reativa excedente no horário de ponta e fora de ponta. Portanto, essa análise possibilitará a obtenção do pior fator de potência (abaixo de 0,92) praticado pelo setor e, a partir disso, será dimensionado um banco de capacitores automático para corrigir o fator de potência que está sendo desenvolvido no Data Center.

O equacionamento matemático necessário para o dimensionamento do banco de capacitores será realizado por meio da implementação de algoritmo no *software Matlab*.

4.4. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Ao analisar o sistema de iluminação atual da Administração, percebeu-se que este setor é composto por lâmpadas fluorescentes tubulares T8.

A atual quantidade de lâmpadas fluorescentes T8 e o projeto luminotécnico já estabelecido na Administração serão mantidos e usados como base para a proposição da solução aplicada ao sistema de iluminação desse setor. Dessa forma, será dimensionado um novo sistema composto por lâmpadas tubulares LED T8, que deverão possuir fluxo luminoso igual ou superior ao fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes T8 do sistema atual, ao mesmo tempo em que deverão possuir menor potência demandada em relação às lâmpadas fluorescentes T8 do sistema atual.

Após o dimensionamento do novo sistema de iluminação, será analisada a economia monetária mensal e a economia mensal da potência instalada e do consumo de energia elétrica obtidos por meio da implementação do novo sistema de iluminação. Essa análise será realizada por meio da observação dos dados disponibilizados pelos fabricantes das lâmpadas e dos dados contidos nas contas de energia elétrica deste setor.

4.5. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Ao analisar o sistema de condicionamento de ar atual da Administração, percebeu-se que a maioria dos ares-condicionados instalados neste setor não pertence a classe A de eficiência energética adotada pela ENCE.

A atual quantidade de ares-condicionados e a carga térmica de cada ambiente da Administração serão utilizados como base para a proposição da solução aplicada ao sistema de condicionamento de ar desse setor. Portanto, o novo sistema proposto para o condicionamento de ar será a substituição dos ares-condicionados ineficientes por outros com classificação PROCEL A, mantendo a mesma ou elevando a Capacidade de Refrigeração e reduzindo a potência demandada por eles.

Depois de dimensionado o novo sistema de condicionamento de ar, será analisada a economia monetária mensal e a economia mensal da potência instalada

e do consumo de energia elétricos obtidos por meio da implementação do novo sistema ar-condicionado. Essa análise será realizada por meio da observação dos dados contidos nos *Datasheets* e na ENCE dos ares-condicionados e, também, pela observação dos dados contidos nas contas de energia elétrica deste setor.

4.6. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar térmico será realizado por meio do método de cálculo exposto no tópico 2.4.5 deste trabalho.

Após o dimensionamento do sistema de aquecimento solar, será analisada a economia mensal do consumo de energia elétrica e a economia monetária mensal referente a implementação desse sistema na Unidade I e II do HUB. Essa análise será realizada por meio da observação dos dados contidos nas contas de energia elétrica deste setor.

5. RESULTADOS

Os resultados estão divididos em quatro etapas, em que a primeira etapa está relacionada com o dimensionamento do banco de capacitores automático e as demais relacionadas com os sistemas propostos de iluminação, de condicionamento de ar e de aquecimento solar. Por fim, será obtida a economia monetária mensal e anual com energia elétrica referente à adoção das alternativas de eficiências energéticas propostas nesse trabalho.

5.1. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL E ECONOMIA RELATIVOS AO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO APLICADO AO DATA CENTER

Nos tópicos 5.1.1 e 5.1.2 serão realizados, respectivamente, a caracterização e o dimensionamento da energia reativa do banco de capacitores automático aplicado ao Data Center do HUB e o cálculo do investimento inicial e da economia dessa alternativa.

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ENERGIA REATIVA DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO APLICADO AO DATA CENTER

O cálculo da potência reativa do banco de capacitores automático aplicado ao Data Center foi realizado por meio de uma função composta pelo conjunto de equações apresentadas no tópico 2.1.4.2.4.

O significado e a unidade de medida das variáveis de entrada da função estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 – Significado e unidade de medida das variáveis de entrada.

Variável de Entrada	Significado	Unidade de Medida
fpr	Fator de potência referência CEB	Adimensional
Ere	Energia Reativa Excedente	UFER
Ca	Energia Ativa Consumida	kWh
P	Demanda faturada	kW
fp2	Fator de potência desejado	Adimensional

O significado e a unidade de medida das variáveis de saída da função criada, ou seja, o valor do fator de potência original desenvolvido pelo Data Center e o valor da energia reativa do banco de capacitores necessário para correção desse fator de potência estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Significado e unidade de medida das variáveis de saída.

Variável de Saída	Significado	Unidade de Medida
fp1	Fator de potência original	Adimensional
Qc	Energia Reativa do Banco de Capacitores	KVAr

Para a obtenção dos resultados, os valores dos parâmetros desenvolvidos no Data Center, relativos ao pior fator de potência, foram inseridos na função. Esses valores podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores das variáveis de entrada.

Variável Entrada	Valor
fpr	0,92
Ere	2286 UFER
Ca	23233 kWh
P	120 kW
fp2	0,95

De acordo com os valores dispostos na Tabela 14, as variáveis de saída retornaram os valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores da Potência Reativa do banco de capacitores automático e do fator de potência original do Data Center.

Variável Saída	Valor
fp1	0,8376
Qc	38,24 kVAr

De acordo com o valor da potência reativa obtido, tem-se que um banco de capacitores automático trifásico de 40kVAr atende as necessidades de correção do

fator de potência desenvolvido atualmente no Data Center, pois está acima do valor dimensionado.

5.1.2. INVESTIMENTO INICIAL E ECONOMIA RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO

A partir do valor da Energia Reativa do Banco de capacitores obtido, foi solicitado, no dia 21 de março de 2018, à empresa *Woltec Energia* um orçamento de um banco de capacitores automático trifásico de 380VCA/60 Hz e potência total de 40 kVAr. Esse orçamento está disposto na Tabela 16.

Tabela 16 - Orçamento do Banco de Capacitores Automático de 40 kVAr.

Orçamento		
Item	Descrição	Investimento Inicial Estimado (R\$)
Banco automático de capacitores	Tensão: 380 VCA Frequência: 60 Hz Potência Total: 40 kVAr (4x10 kVAr)	5760,90
Mão de Obra para instalação	10 horas	

Atualmente, o gasto mensal médio com a Energia Reativa Excedente (EREX) nos horários de ponta e fora de ponta desenvolvidos durante o ano de 2017 e em janeiro de 2018 pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Gasto mensal médio com Energia Reativa Excedente no horário de ponta e fora de ponta.

Ano	Mês	EREX Ponta (R\$)	EREX Fora de Ponta (R\$)	Total Gasto - EREX Ponta + EREX Fora de Ponta (R\$)
2016	Setembro	87,96	566,03	653,99
2016	Outubro	103,13	654,99	758,12
2016	Novembro	108,41	689,49	797,90
2016	Dezembro	114,24	727,61	841,85
2017	Janeiro	114,59	729,7	844,29
2017	Fevereiro	114,29	727,64	841,93
2017	Março	115,55	735,17	850,72
2017	Abril	173,17	854,99	1028,16
2017	Agosto	126,6	776,21	902,81
2017	Setembro	1,48	21,48	22,96
2017	Outubro	41,2	258,55	299,75
2017	Novembro	33,98	227,77	261,75
2017	Dezembro	37,68	180,34	218,02
2018	Janeiro	0,77	22,64	23,41
Média				596,12

O objetivo da instalação do banco de capacitores é anular os gastos mensais com a Energia Reativa Excedente. Portanto, o gasto mensal médio com EREX é, na verdade, a economia monetária mensal oriunda da instalação do banco de capacitores proposto.

5.2. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED APLICADO À ADMINISTRAÇÃO

No tópico 5.2.1 serão realizados o dimensionamento e a caracterização do novo sistema de iluminação LED aplicado à Administração do HUB e no tópico 5.2.2 será realizado o cálculo do investimento inicial dessa alternativa proposta.

5.2.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED APLICADO À ADMINISTRAÇÃO

A composição e as características técnicas do novo sistema de iluminação formado por lâmpadas tubulares LED T8(6500K) aplicado à Administração do HUB está representado na Tabela 18.

Tabela 18 - Composição e Características técnicas do Sistema de iluminação LED proposto.

Sistema de Iluminação LED proposto					
Térreo					
Tipo	Marca	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
LED TUBULAR T8	WiseCase	T8LN-9-60-B	9	800	12
LED TUBULAR T8	Golden	ULTRALED TUBULAR PRO 9W 6500K	9	1000	53
LED TUBULAR T8	H2XTECH	HT-18W-Q	18	2100	40
LED TUBULAR T8	Lenharo	LMS-LT18W120-2300	18	2300	50
Primeiro Pavimento					
Tipo	Marca	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
LED TUBULAR T8	WiseCase	T8LN-9-60-B	9	800	20
LED TUBULAR T8	Golden	ULTRALED TUBULAR PRO 9W 6500K	9	1000	35
LED TUBULAR T8	H2XTECH	HT-18W-Q	18	2100	60
LED TUBULAR T8	Lenharo	LMS-LT18W120-2300	18	2300	61
Lado Externo					
Tipo	Marca	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade
LED TUBULAR T8	Lenharo	LMS-LT18W120-2300	18	2300	26
Refletor LED	SuperLed	SL-REF30	30	2400	9

Como o sistema atual é formado por lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e por reatores eletromagnéticos, tem-se que esses reatores aumentam a potência instalada original desse sistema em 15% (ROSA, 2013).

Dessa forma, a partir da análise dos dados disponíveis na Tabela 10 e na Tabela 18 e do valor da tarifa média de energia em 2017, disposto no Apêndice I, é possível comparar a potência total instalada, o consumo de energia elétrica mensal e o gasto mensal do sistema atual em relação ao novo sistema de iluminação LED proposto. Essa relação está representada na Tabela 19.

Tabela 19 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o sistema proposto.

Sistema	Potência Instalada (kW)	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh/mês)	Tarifa média mensal de Energia CEB (R\$/kWh)	Gasto Mensal (R\$/mês)
Atual (com 15% dos reatores eletromagnéticos)	12,91	3097,27	0,6729	2084,15
Proposto	5,62	1347,84	0,6729	906,96

O consumo de energia elétrica mensal foi obtido considerando-se que o sistema de iluminação do HUB funciona diariamente durante 8 horas em um mês composto por 30 dias.

A partir dos dados expostos na Tabela 19, foi possível obter a economia que será gerada com a implementação do novo sistema de iluminação composto pelas lâmpadas tubulares LED T8. Essa economia pode ser observada na Tabela 20.

Tabela 20 - Economia do Sistema de Iluminação LED.

	Potência Instalada (kW)	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh/mês)	Monetária mensal (R\$/mês)
Economia	7,29	1749,43	1177,19
Economia Percentual	56%		

5.2.2. INVESTIMENTO INICIAL ESTIMADO RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED NA ADMINISTRAÇÃO

Para a estimativa do investimento total foi realizada, no dia 25 de março de 2018, a tomada de preço das lâmpadas tubulares LED T8 propostos em quatro empresas: *Walmart*, *Leroy Merlim*, *Embralumi* e *Lenharo Mega Store*. No cálculo do investimento total estimado, a mão de obra não está contabilizada, pois o HUB possui equipe técnica especializada para instalação dos ares-condicionados.

O preço unitário de cada lâmpada tubular LED T8, o preço do frete e o investimento inicial estimado necessário para instalação do sistema de iluminação proposto pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21 - Orçamento do Sistema de Iluminação LED proposto.

Orçamento						
Empresa	Marca	Modelo	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Frete (R\$)	Preço Final (R\$)
Walmart	WiseCase	T8LN-9-60-B	32	29,99	24,84	984,52
Leroy Merlim	Golden	ULTRALED TUBULAR PRO 9W 6500K	88	40,73	-	3584,24
Embralumi	H2XTECH	HT-18W-Q	100	31,62	98,04	3260,04
Lenharo Mega Store	Lenharo	LMS-LT18W120-2300	137	165,00	51,46	22656,46
Investimento Inicial Estimado						30485,26

5.3. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR APLICADO À ADMINISTRAÇÃO

No tópico 5.3.1 serão realizados o dimensionamento e a caracterização do novo sistema de condicionamento de ar aplicado à Administração do HUB e no tópico 5.3.2 será realizado o cálculo do investimento inicial dessa alternativa.

5.3.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR APLICADO À ADMINISTRAÇÃO

A composição e as características do novo sistema de ar condicionado proposto para a Administração do HUB podem ser observadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Composição e Características técnicas do Sistema de condicionamento de ar proposto.

Sistema de condicionamento de ar proposto						
Tipo	Quantidade	Potência Nominal (W)	Marca	Modelo	Capacidade de Refrigeração (BTU/h)	Classificação Procel
Split	14	1020	ELGIN	SSFA/Q-12000-2	12000	A
	4	2173	ELGIN	45HVFI2 4B2IA/45 HVFE24 B2IA	24000	A
	1	2713	ELGIN	HLQI30B 2FA/HL QE30B2 NA	30000	A

A partir da análise da Tabela 11, da Tabela 22 e do valor da tarifa média de energia em 2017, disposto no Apêndice I, é possível comparar a potência total instalada, o consumo de energia elétrica mensal e o gasto mensal do sistema atual em relação ao novo sistema de condicionamento de ar proposto. Essa relação pode ser observada na Tabela 23.

Tabela 23 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o sistema proposto.

Sistema	Potência Instalada (kW)	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh/mês)	Tarifa média mensal de Energia CEB (R\$/kWh)	Gasto Mensal (R\$/mês)
Atual	30,761	7382,64	0,6729	4967,78
Proposto	25,685	6164,40	0,6729	4148,02

. O consumo de energia elétrica mensal foi obtido considerando-se que os ares-condicionados funcionam diariamente durante 8 horas em um mês composto por 30 dias.

A partir dos dados dispostos na Tabela 23, foi possível obter a economia que será gerada com a instalação do novo sistema de condicionamento de ar. Essa economia pode ser observada na Tabela 24.

Tabela 24 - Economia do Sistema de condicionamento de ar proposto.

	Potência Instalada (kW)	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh/mês)	Monetária mensal (R\$/mês)
Economia	5,076	1218,24	819,76
Economia Percentual	17%		

5.3.2. INVESTIMENTO INICIAL ESTIMADO RELATIVO A IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR NA ADMINISTRAÇÃO

Para a estimativa do investimento total foi realizada, no dia 10 de março de 2018, uma pesquisa de mercado dos ares-condicionados propostos em duas empresas: STR ar condicionado e Polo ar. No preço unitário de cada ar-condicionado está incluso o frete, porém a mão de obra não está contabilizada, pois o HUB possui equipe técnica especializada para instalação dos ares-condicionados.

O preço unitário de cada ar-condicionado e o investimento inicial estimado para implementação do novo sistema de condicionamento de ar podem ser observado na Tabela 25.

Tabela 25 - Orçamento do sistema de condicionamento de ar proposto.

Orçamento					
Empresa	Quantidade	Marca	Modelo	Preço Unitário (R\$)	Preço Final (R\$)
STR ar condicionado	14	ELGIN	SSFA/Q-12000-2	1381,56	19341,84
POLO AR	4	ELGIN	45HVFI24B21A/45HVF E24B21A	3392,18	13568,72
STR ar condicionado	1	ELGIN	HLQI30B2F A/HLQE30 B2NA	4243,13	4243,13
Investimento Inicial Estimado					37153,69

5.4. DIMENSIONAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO AO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR APLICADO AOS LEITOS DA UNIDADE I E II

Nos tópicos 5.4.1 e 5.4.2 serão realizados, respectivamente, o dimensionamento do sistema de aquecimento solar aplicado aos leitos da Unidade I e II do HUB e o cálculo do investimento inicial dessa alternativa.

5.4.1. DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR APLICADO AOS LEITOS DA UNIDADE I E II

O dimensionamento do SAS será realizado por meio do método de cálculo exposto no tópico 2.4.5. Portanto, inicialmente, foi escolhido o coletor solar cujas especificações estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Especificações do Coletor Solar. Fonte: INMETRO, 2018.

Marca	Modelo	Eficiência Energética Média (%)	Classificação	Fr(ta)n	FrUL	Área Externa (m ²)
BOSCH	FC220 – 2V	61,0	A	0,750	4,59	2,08

As variáveis e as constantes referentes ao sistema de aquecimento solar do HUB estão apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores das variáveis e das constantes do SAS.

Variáveis e constantes	Valor
C_l (litros/leito.dia)	125
Q_l	228
V_{co} (m ³ /dia)	28,5
T_{co} (°C)	40
T_{amb} (°C)	22
γ (kg/m ³)	1000
C_p (kWh/kg.°C)	$11,63 \times 10^{-4}$
I_G (kWh/m ² . dia)	6,65
η (%)	61,0
A_{col} (m ²)	2,08

A partir dos valores das variáveis e das constantes apresentados na Tabela 27, foram calculados os parâmetros que caracterizam o sistema de aquecimento solar aplicado ao HUB. Esses parâmetros podem ser observados na Tabela 28.

Tabela 28 - Parâmetros do SAS dimensionado.

Parâmetros	Valor
V_{arm} (m ³)	21,40
T_{arm} (°C)	45,90
Q (kWh/mês)	17897,10
A_{SAS} (m ²)	147,10
N_{col}	70

Depois de obtido os parâmetros que caracterizam o SAS proposto, foram calculados os valores das frações solares desenvolvidas em cada mês e da fração solar média mensal. Esses valores estão dispostos na Tabela 29.

Tabela 29 - Valor da fração solar de cada mês e da fração solar média mensal.

Mês	I_G (kWh/m ² . dia)	$N_{mês}$	Q (kWh/dia)	Q(kWh/mês)	X	Y	f
Janeiro	6,1	31	563,47	17467,68	2,82	1,13	0,71
Fevereiro	5,54	28	563,47	15777,26	3,13	1,03	0,64
Março	5,56	31	563,47	17467,68	2,83	1,03	0,66
Abril	5,56	30	580,05	17401,39	2,86	1,00	0,64
Mai	4,75	31	629,76	19522,69	2,60	0,79	0,51
Junho	3,76	30	696,05	20881,66	2,49	0,57	0,36
Julho	4,87	31	696,05	21577,72	2,41	0,73	0,49
Agosto	5,88	31	646,34	20036,45	2,54	0,95	0,62
Setembro	6,38	30	563,47	16904,21	2,92	1,19	0,74
Outubro	6,65	31	546,90	16953,92	2,89	1,27	0,78
Novembro	5,84	30	563,47	16904,21	2,92	1,09	0,68
Dezembro	5,34	31	563,47	17467,68	2,83	0,99	0,63
Média							0,62

O valor médio anual da participação do sistema de aquecimento solar de água para banho nos leitos da Unidade I e II do HUB é de 62%. Nesse caso, o percentual que será suprido pela energia elétrica é de 38%.

A partir da análise da Tabela 28, da Tabela 29 e do valor da tarifa média de energia no horário fora de ponta em 2017, disposto no Apêndice I, é possível comparar o consumo de energia elétrica mensal e o gasto mensal do sistema atual em relação sistema de aquecimento solar proposto. Essa relação pode ser observada na Tabela 30.

Tabela 30 - Relação da Potência Instalada, Consumo de Energia Elétrica Mensal e Gasto Mensal entre o sistema atual e o SAS proposto.

Sistema	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh/mês)	Tarifa média mensal de Energia CEB Fora de Ponta (R\$/kWh)	Gasto Mensal (R\$/mês)
Sistema Atual	17897,1	0,4671	8359,74
Sistema de Aquecimento Solar Proposto	6768,6		3161,61

A partir dos dados dispostos na Tabela 30, foi possível obter a economia que será estabelecida com a implementação do sistema de aquecimento solar. Essa economia pode ser observada na Tabela 31.

Tabela 31 - Economia do Sistema de Aquecimento Solar proposto.

	Consumo Elétrico mensal (kWh/mês)	Monetária mensal (R\$/mês)
Economia	11128,5	5198,13
Economia Percentual	62%	

5.4.2. INVESTIMENTO INICIAL RELATIVO À IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR NOS LEITOS DA UNIDADE I E II

O investimento total estimado do SAS dimensionado foi obtido, no dia 28 de março de 2018, por meio de uma pesquisa de mercado dos seus componentes nas lojas: Mercado Livre, Casa e Construção, Leroy Merlin, Lojas Americanas, Minha Casa Solar e Solar e Sol Aquecedores.

O preço unitário de cada equipamento, o preço do frete e o investimento inicial estimado para implementação do sistema de aquecimento solar podem ser observados na Tabela 32.

Tabela 32 - Orçamento do Sistema de Aquecimento Solar proposto..

Orçamento					
Empresa	Equipamento	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Frete (R\$)	Preço Total (R\$)
Leroy Merlim	Tubo Soldável Tigre PVC 32 mm x 3m	60	27,9	-	1674,0
Casa e Construção	Tê Soldável Tigre 32 mm	30	3,39	16,76	118,46
Casa e Construção	Curva Tigre 90° Soldável 32 mm	60	6,49	27,08	416,48
Solar e Sol Aquecedores	Reservatório Térmico Solar e Sol 5000 L	4	14159,25	-	56637,0
Solar e Sol Aquecedores	Reservatório Térmico Solar e Sol 2000 L	1	6528,6	-	6528,6
Leroy Merlim	Tubo de Cobre RAMO 32 mm x 2,5 m	60	126,9	-	7614,0
Lojas Americanas	Registro Misturador Externo Aquecimento Solar 50 cm	230	81,9	20	18857,0
Mercado Livre	Coletor Solar BOSCH FCC 220 - 2V	70	2350	200	164700,0
Minha Casa Solar	Suporte Fixação em Solo 30° - CK-SOLO-990X1	140	549	49,07	76909,07
Investimento Inicial Estimado					333454,61

5.5. ANÁLISE FINANCEIRA DAS ALTERNATIVAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICAS PROPOSTAS AO HUB

A análise do *payback* descontado relativas às alternativas de eficiência energética propostas ao HUB foi realizada utilizando o valor do investimento inicial estimado e os valores presentes do fluxo de caixa, que, nesse caso, é a economia monetária anual de cada alternativa proposta. Ademais, para esse cálculo, foi considerando o pior IPCA acumulado entre os anos de 2014 e 2017, cujo valor é de 10,71% (<http://abacusliquid.com/tag/ipca-2018-acumulado/>). Essa análise pode ser observada na Tabela 33.

Tabela 33 – Análise do *Payback* Descontado das alternativas de eficiência energética propostas ao HUB.

Sistema de Aquecimento Solar		
Ano	Valor Presente do Fluxo de caixa (R\$)	Saldo (R\$)
0	-333454,61	-333454,61
1	56363,57	-277091,04
2	50929,4	-226161,64
3	46019,16	-180142,48
4	41582,32	-138560,16
5	37573,26	-100986,9
6	33950,71	-67036,19
7	30677,43	-36358,76
8	27719,74	-8639,02
9	25047,2	16408,18
Banco de Capacitores Automático		
Ano	Valor Presente do Fluxo de caixa (R\$)	Saldo (R\$)
0	-5760,90	-5760,90
1	6463,76	702,86
Sistema de Iluminação LED		
Ano	Valor Presente do Fluxo de caixa (R\$)	Saldo (R\$)
0	-30485,26	-30485,26
1	12764,33	-17720,93
2	11533,68	-6187,25
3	10421,69	4234,44
Sistema de condicionamento de ar		
Ano	Valor Presente do Fluxo de caixa (R\$)	Saldo (R\$)
0	-37153,69	-37153,69
1	8888,7	-28264,99
2	8031,71	-20233,28
3	7257,35	-12975,93
4	6557,65	-6418,28
5	5925,41	-492,87
6	5354,13	4861,26

A partir da explicação disposta no tópico 2.5.2, foi calculado os *paybacks* simples e descontado de cada alternativa de eficiência energética proposta ao HUB. Essa relação entre os *paybacks* simples e descontado de cada investimento pode ser observada na Tabela 34 .

Tabela 34 – Relação entre o *Payback* Simples e Descontado dos Investimentos.

Sistema de Aquecimento Solar	
<i>Payback</i> Simples	<i>Payback</i> Descontado
5 anos e 4 meses	8 anos e 4 meses
Banco de Capacitores Automático	
<i>Payback</i> Simples	<i>Payback</i> Descontado
10 meses	11 meses
Sistema de Iluminação LED	
<i>Payback</i> Simples	<i>Payback</i> Descontado
2 anos e 2 meses	2 anos e 7 meses
Sistema de condicionamento de ar	
<i>Payback</i> Simples	<i>Payback</i> Descontado
3 anos e 9 meses	5 anos e 1 mês

5.5. ECONOMIA MONETÁRIA MENSAL E ANUAL COM ENERGIA ELÉTRICA REFERENTE ÀS ALTERNATIVAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PROPOSTAS AO HUB

De posse dos dados da economia monetária mensal de cada sistema proposto nesse trabalho e do valor da fatura de cada unidade consumidora em 2017, disposto no Apêndice II, foi possível obter a relação do gasto mensal com energia

elétrica nas unidades consumidoras do HUB entre o sistema atual e o sistema proposto. Essa relação pode ser observada na Tabela 35.

Tabela 35 - Relação do gasto mensal médio com energia elétrica nas unidades consumidoras do HUB entre o sistema atual e o proposto.

Gasto mensal médio com Energia Elétrica (R\$)				
Sistema	Unidade I e II	Administração	Data Center	Ambulatório
Atual	202897,34	11712,04	14796,12	7109,88
Proposto	197699,21	9715,09	14200,00	7109,88

O gasto mensal médio com energia elétrica do sistema proposto referente a cada unidade consumidora foi obtido por meio da diferença entre o valor do gasto mensal médio com energia elétrica do sistema atual e o valor da economia monetária mensal obtida por meio dos sistemas propostos em cada uma dessas unidades consumidoras, excetuando o Ambulatório.

A partir dos dados apresentados na Tabela 35 e da soma dos gastos desenvolvidos em cada unidade consumidora, foi obtida a relação do Gasto Monetário Total Mensal e Anual com energia elétrica no HUB entre o sistema atual e o sistema proposto. Essa relação está apresentada na Tabela 36.

Tabela 36 - Relação do Gasto Monetário Total Mensal e Anual com energia elétrica no HUB entre o sistema atual e o proposto.

Gasto Monetário Total (R\$)		
Sistema	Mensal	Anual
Atual	236515,38	2838184,56
Proposto	228724,18	2744690,16

Portanto, a economia monetária mensal e anual relativa à adoção das alternativas de eficiência energética propostas nesse trabalho está exposta na Tabela 37.

Tabela 37 - Economia monetária mensal e anual relativa às alternativas de eficiência energética propostas.

	Monetária mensal (R\$/mês)	Monetária anual (R\$/ano)
Economia	7791,20	93494,40

Ao analisar a Tabela 37, percebeu-se que a adoção das alternativas de eficiência energética propostas nesse trabalho poderá proporcionar, anualmente, uma economia de, aproximadamente, 93 mil reais aos cofres públicos.

6. CONCLUSÃO

A análise da eficiência energética implementada nesse trabalho foi realizada levando-se em consideração a proposição de alternativas que contribuíssem com a diminuição do consumo de energia elétrica e dos gastos monetários com energia elétrica nas três unidades consumidoras do HUB.

A proposta e o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, os gastos com energia elétrica foram alcançados por meio da proposição de um sistema de aquecimento solar na Unidade I e II, da diminuição da potência instalada nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar da Administração e, por meio da instalação de um banco de capacitores automático para a correção do fator de potência desenvolvido no Data Center.

Dentre as alternativas de eficiência energéticas analisadas nesse trabalho, a que apresentou a maior economia percentual (62%) foi o sistema de aquecimento solar aplicado aos leitos da Unidade I e II, pois os chuveiros elétricos são as principais cargas elétricas que compõe essa unidade consumidora.

Em relação à análise financeira, o sistema de aquecimento solar proposto foi o que apresentou o maior investimento inicial e o maior tempo de retorno do investimento, pois seus componentes ainda são vendidos no Brasil a preços elevados. Em contrapartida, a instalação do banco de capacitores automático apresentou o menor custo de investimento e o menor tempo de retorno desse investimento, pois essa tecnologia já é conhecida e pelo fato da empresa responsável pela instalação se localizar em Brasília- DF.

A elaboração desse trabalho abre portas para a elaboração de projetos futuros que proponham a análise luminotécnica do sistema de iluminação LED e a análise da carga térmica do sistema de condicionamento de ar propostos para Administração. Ademais, o estudo desse trabalho cria a possibilidade da elaboração de um projeto voltado para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico *on-grid* (conectado à rede elétrica) capaz de suprir as demandas energéticas do Hospital Universitário de Brasília.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABACUSLIQUID. **IPCA 2018 Acumulado**. Disponível em: <<http://abacusliquid.com/tag/ipca-2018-acumulado>>. Acesso em: 13 de julho de 2018.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. Tradução de José Lucimar do nascimento. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

ARAUJO, Eliete De Pinho. **Apostila de ar condicionado e exaustão**. Brasília: Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS – Arquitetura e Urbanismo, 2011. 72 f. Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro. 1993.

BARROS, B. F. de et al. **Eficiência energética: Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015. 152 p.

BEZERRA, Diego Barbosa. **Análise do potencial de conservação de energia elétrica do centro de tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Sistemas de Iluminação e Ar condicionado**. 2008. Trabalho de conclusão de

curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.550 de 15 de dezembro de 2011.** Autoriza o Poder Executivo a criar a empresa pública denominada Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares - EBSEH; acrescenta dispositivos ao Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 - Código Penal; e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2011.

CAMPANHOLA, F. P. et al. **Avaliação de Sistema de Condicionamento de Ar para salas de prédio público.** 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Educação a Distância da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2014.

CAMPANIÇO, Hugo Miguel Gil. **Sistemas Solares Térmicos Centralizados: Aplicação em Habitação Social.** 2010. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2010.

CARVALHO, G. A. et al. **Estudo de redução de custos de energia elétrica aplicado em supermercados utilizando medidas e conceitos de eficiência energética.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, Paraná. 2016.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.. **Termodinâmica.** Tradução de Paulo Maurício Costa Gomes. 7 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CEPEL, Centro De Pesquisas De Energia Elétrica; MME, Coordenador Ministério De Minas E Energia. Guia para efficientização energética nas edificações públicas. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 229 p.

CERVEIRA, Manuel. **Sistemas Térmicos de Energia Solar**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Automação e Comunicações em Sistema de Energia, Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2012.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Tradução de Anatólio Laschuk. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COMGÁS - Companhia De Gás De São Paulo. **Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação energia solar e gás natural: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural**. Março, 2011.

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CUSSEIALA, Manuel Ngola. **Modelação de sistemas de armazenamento de energia térmica para aumentar a penetração de energias renováveis na produção de electricidade**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico Lisboa. Lisboa, Portugal. 2013.

EBSERH. **Nossa história**. Disponível em:< <http://www.ebserh.gov.br/web/hub-unb/nossa-historia>>. Acesso em: 27 de outubro de 2017.

ELETROBRÁS/ PROCEL EDIFICA; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro. Setembro, 2013.

FILHO, João Mamede. **Instalações elétricas industriais**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

GANSLANDT, Rüdiger; HOFMANN, Harald. **Handbook of lighting design**. 1 ed. Alemanha: Erco Edition, 1992.

GEBRAN, Amaury Pessoa; RIZZATO, Flávio Adalberto Poloni. **Instalações elétricas prediais**. Porto Alegre: Bookman, 2017. 222 p.

GEHRING, Adriano De Araújo; LOPES, Lucas Fernando Da Silva; DALMOLIN, Rodrigo Schweitzer. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR). Curitiba, Paraná. 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação, IP. **Manual de Instalações Solares Térmicas: Curso de Instaladores de Equipamentos Solares Térmicos**. Lisboa, Portugal. 2006.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indiceno_vo.pdf >. Acesso em: 23 de novembro de 2017.

JIMÉNEZ, Jonathan Paúl Valverde. **Projeto e Dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado/Conectado à rede para atender a demanda de irrigação de uva**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia de Energia na Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, Paraná. 2017

KAMMLER, A. R. et al. **Curso básico de gestão de energia**. Florianópolis: SENAI/SC/DR, 2011. 206 p.

KOMEKO. **Manual do Usuário e de Instalação do Sistema de Aquecimento Solar Komeco**. 2017. 24 p.

LARA, Alexandre; FACHIN, Cassiano. **Sistema de Aquecimento e posicionamento de Painel Solar**. 2013. 60f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) – Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, Paraná. 2013.

LEITE, Antonio Dias. **Eficiência e desperdício da energia no brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 160 p.

MACHADO, I. D. S. et al. **Software para auxiliar na correção do fator de potência**. Sinergia, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 15-21, mar. 2016.

MEXA, Nuno Filipe dos Santos. **Sistemas Solares Térmicos – Simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2011.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasília, 2011.

MORAN, M. J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Tradução de Gisele Maria Ribeiro, Paulo Pedro Kenedi, Fernando Ribeiro da Silva. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MP – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Cartilha Energia: como analisar gastos com energia elétrica**. Brasília: MP, 2015. 24 p.

NERY, Norberto. **Instalações elétricas: Norma NBR 5410/04**. 3 ed. São Paulo: Eltec, 2005.

NETO, A. H. et al. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Organizado por José Roberto Simões Moreira. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

NISKIER, Julio; MACINTYRE, A. J. **Instalações elétricas**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 550 p.

OLIVEIRA, Mário Henrique da Fonseca. **A avaliação econômico-financeira de investimentos sob condição de incerteza: Uma comparação entre o método de Monte Carlo e o VPL Fuzzy**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 2008

PEDROSA, Rafael Garcia. **Estudo do modelo brasileiro de tarifação do uso da energia elétrica**. 2012. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo. 2012.

PESSOA, João Lorenço Novaes; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória**. Florianópolis, julho, 2013.
PÓVOA, Marcos Cortez Brito Leite. **Fatores de influência na eficiência energética**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, **Manual de Tarifação de Energia Elétrica, PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, Primeira Edição, Maio, 2001.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, **Manual de Iluminação**. Agosto, 2011.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, **Sistemas de Ar Condicionado**. Agosto, 2011.

ROSA, Armando. **Projecto e Dimensionamento de um Protótipo de uma instalação de Fabrico de Gelo com Energia Solar**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Energia, Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal, Portugal. 2012

ROSA, Felipe Iglesias. **Avaliação Energética da Policlínica Naval Nossa Senhora da Glória**. 2013. 67 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

SÁ, Ribeiro De. **Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética**. 3 ed. Espanha: Publindústria, 2016. 517 p.

SATYRO, Guilherme Vogel. **Revisão e modernização dos sistemas de iluminação e ar condicionado do Bloco A1 do edifício da CPRM no Rio de Janeiro**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez Editora, 2007. 304 p.

SILVA, Marcos César Isoni. **Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 2009.

SILVA, Mauri Luiz Da. **Luz, lâmpadas e iluminação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

SIQUEIRA, Débora Abrahão. **Estudo de Desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2008. 125 f. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Mestrado em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais. 2008.

SOLAREM. **6 dúvidas sobre temperatura da água no aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.aquecedorsolaragua.com.br/blog/6-duvidas-sobre-temperatura-da-agua-no-aquecimento-solar/>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

SOLETROL. **Registro Misturador Solar Soletrol**. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/produtos/acessorios/registro-misturador/>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SOUZA, A. D. et al. **Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico**. Revista Tecnologia e Sociedade, Paraná, v. 7, n. 12, p. 1-7, jan./abr. 2011.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar condicionado**. Tradução de José m. Saiz Jabardo et al. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

ZOT, Eduardo Dal. **Análise de Investimento: Estudo para a abertura de filial de rede de educação profissional**. 54 f. 2008. Trabalho de conclusão de Curso (Monografia) – Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2008.

WEBARCONDICIONADO. **Ar condicionado tipo janela**. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-tipo-janela>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

8. APÊNDICE

8.1 APÊNDICE I - VALORES DA TARIFA DE ENERGIA NO ANO DE 2017

Tabela 38 - Valor médio da tarifa de energia CEB em 2017.

Valor médio da tarifa de energia CEB no ano de 2017 (R\$/ kWh)		
Mês	Unidade I e II (Horário Fora de Ponta)	Administração
Janeiro	0,449893	0,65107
Fevereiro	0,447217	0,6472
Março	0,4577993	0,66646
Abril	0,4706229	0,6682
Maio	0,4551	0,66831
Junho	0,4802211	0,67303
Julho	0,4427	0,64768
Agosto	0,4768385	0,68268
Setembro	0,4750973	0,66982
Outubro	0,4775234	0,68549
Novembro	0,4797673	0,70587
Dezembro	0,4922422	0,70862
Média	0,4671	0,6729

8.2 APÊNDICE II – VALORES DA FATURA NO ANO DE 2017

Tabela 39 - Valor médio da fatura em 2017.

Valor médio da fatura no ano de 2017 (R\$)				
Mês	Unidade I e II	Administração	Data Center	Ambulatório
Janeiro	205496,49	13588,66	5987,23	6052,53
Fevereiro	188678,49	15306,04	6361,42	7078,2
Março	180974,2	13575,33	7154,39	6873,41
Abril	218127,77	13395,21	17043,90	6819,35
Maio	203070,34	12551,19	15364,25	7312,08
Junho	205548,51	10223,32	16664,41	7128,77
Julho	184664,99	8724,99	13686,39	7181,69
Agosto	197328,95	10758,72	8226,00	7466,40
Setembro	182278,46	10399,15	30375,78	7717,58
Outubro	225155,75	11016,09	16754,2	7340,66
Novembro	234350,72	10705,51	18418,68	7155
Dezembro	209093,44	10300,25	21516,74	7192,83
Média	202897,34	11712,04	14796,12	7109,88