

PROJETO DE GRADUAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DE *RETROFIT* EM SISTEMA DE ÁGUA GELADA

Por,

**Júlia Naves Lins
Vanessa de Souza Lima Caiafa**

Brasília, Junho de 2016.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
UNIVERSIDADE DE BRASILIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DE *RETROFIT* EM SISTEMA DE ÁGUA GELADA

POR,

Júlia Naves Lins
Vanessa de Souza Lima Caiafa

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. João Manoel Dias Pimenta, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Antonio Francisco Parentes Fortes, UnB/ ENM

Prof. Carlos Humberto Llanos Quintero, UnB/ ENM

Brasília, Junho de 2016.

RESUMO

A modernização tecnológica aliada a sustentabilidade dos componentes arquitetônicos, mecânicos ou elétricos, de forma que melhore a eficiência do sistema é conhecida como *retrofit*. Este conceito vem ganhando espaço no mercado brasileiro com o passar dos anos. A preocupação com a sustentabilidade contribui para a disseminação desse conceito e torna relevante o desenvolvimento de uma metodologia que oriente o processo de *retrofit*.

O presente trabalho tem o objetivo de desenvolver uma metodologia para realização de *retrofit* em sistemas de água gelada que permita ao usuário a aplicação de uma rotina passo-a-passo. Já o objetivo complementar é avaliar a possibilidade de implementação de *retrofit* visando uma potencial diminuição nos custos operacionais e por consequência tornando-o mais eficiente e ambientalmente amigável. O trabalho apresenta uma metodologia e um estudo de caso com a intenção de aprimorar a mesma

Palavra-chave: *retrofit, metodologia, sistema de climatização, chiller.*

ABSTRACT

The technological modernization allied with the sustainability of architectural, mechanical or electrical components in order to improve the efficiency of the system is known as *retrofit*. This concept has been gaining ground in the Brazilian market over the years. The concern with sustainability contributes to the spread of this concept and makes it important to develop a methodology to guide the *retrofit* process.

This study aims to develop a methodology for performing *retrofit* into ice water systems that allows the user an application of a step-by-step routine. The complementary objective is to evaluate the possibility of implementing *retrofit*, aiming a potential decrease in operational costs and, therefore making it more efficient and friendly environmental. The paper presents a methodology in a case study with the intention of improving the same

Keywords: *retrofit, methodology, climatization system, chiller.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	- 15 -
1.1	TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA.....	- 15 -
1.2	REVISÃO DA LITERATURA	- 16 -
1.3	OBJETIVO E METAS.....	- 20 -
1.4	METODOLOGIA	- 20 -
1.5	ESTRUTURA DO PRESENTE TRABALHO	- 21 -
2	SISTEMA DE ÁGUA GELADA.....	- 22 -
2.1	ASPECTOS GERAIS	- 22 -
2.2	CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO	- 23 -
2.3	<i>CHILLER</i>	- 25 -
2.3.1	Condensação a água.....	- 25 -
2.3.2	Condensação a ar	- 27 -
2.4	BOMBAS.....	- 27 -
2.5	<i>FAN-COIL</i>	- 28 -
2.6	TORRES DE RESFRIAMENTO	- 28 -
2.7	PARÂMETROS DE DESEMPENHO.....	- 29 -
2.7.1	Potência em equipamentos trifásicos	- 29 -
2.7.2	Coeficiente de performance (COP).....	- 29 -
2.7.3	<i>Integrated Part Load Value (IPLV)</i>	- 30 -
2.7.4	<i>Total Equivalent Warming Impact (TEWI)</i>	- 30 -
3	CONCEITOS ECONÔMICOS.....	- 32 -
3.1	MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA.....	- 32 -
3.1.1	Valor presente líquido (VPL).....	- 32 -
3.1.2	Taxa interna de retorno (TIR)	- 33 -

3.1.3	<i>Payback</i>	- 33 -
3.2	TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	- 34 -
4	CONCEITOS SOBRE <i>RETROFIT</i>	- 37 -
4.1	ASPECTOS GERAIS	- 37 -
4.2	RAZÕES PARA O <i>RETROFIT</i>	- 38 -
4.3	APLICAÇÕES DE <i>RETROFIT</i>	- 40 -
4.3.1	Arquitetônico	- 40 -
4.3.2	Iluminação.....	- 40 -
4.3.3	Acústico	- 40 -
4.3.4	Climatização	- 40 -
4.4	ALTERNATIVAS PARA <i>RETROFIT</i> DE CLIMATIZAÇÃO.....	- 42 -
4.4.1	Substituição de componentes	- 42 -
4.4.2	Termoacumulação.....	- 43 -
4.4.3	Recuperação do calor de condensação.....	- 44 -
4.4.4	Volume de ar variável.....	- 44 -
4.4.5	Sistema de controle digital (DDC).....	- 44 -
4.4.6	Reaproveitamento de calor em sistema com ar externo total.....	- 45 -
5	DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	- 46 -
5.1	VISÃO GERAL DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	- 46 -
5.2	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ÁGUA GELADA	- 48 -
5.2.1	Vistoria.....	- 50 -
5.2.2	Pesquisa documental	- 52 -
5.2.3	Questionário.....	- 54 -
5.2.4	Medições	- 55 -
5.3	ANÁLISE DOS DADOS	- 56 -
5.3.1	Limitações.....	- 57 -
5.3.2	Carga térmica	- 57 -
5.3.3	Componentes Críticos.....	- 59 -

5.4	PROJETOS CONCEITUAIS.....	- 60 -
5.5	AVALIAÇÃO DOS PROJETOS CONCEITUAIS	- 60 -
5.5.1	Viabilidade econômica.....	- 62 -
5.5.2	Sustentabilidade	- 63 -
5.5.3	Atende parcialmente os critérios do cliente	- 64 -
5.5.4	Prazo	- 64 -
5.6	TOMADA DE DECISÃO	- 64 -
6	ESTUDO DE CASO.....	- 65 -
6.1.	Seleção da instalação	- 65 -
6.1.1	Descrição da instalação.....	- 65 -
6.2.	Aplicação da Metodologia proposta.....	- 68 -
6.2.1	Diagnóstico do sistema	- 68 -
6.2.2	Análise dos dados.....	- 83 -
6.2.3	Projetos conceituais.....	- 91 -
6.2.4	Avaliação dos projetos conceituais	- 95 -
6.2.5	Tomada de decisão.....	- 102 -
7	CONCLUSÃO.....	- 103 -
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	- 104 -
	ANEXOS	- 108 -
A.1	<i>Datasheet dos chillers</i>	- 108 -
A.1.1	<i>Datasheet do chiller de 350 TR de condensação a água</i>	- 108 -
A.1.2	<i>Cargas parciais do chiller de 350 TR de condensação a água</i>	- 109 -
A.1.3	<i>Datasheet Chiller de 400 TR de condensação a água</i>	- 110 -
A.1.4	<i>Datasheet Chiller de 600 TR de condensação a água</i>	- 111 -
A.1.5	<i>Chiller de 400 TR de condensação a ar</i>	- 112 -
A.2	Tarifa de energia da CEB	- 113 -
A.3	Orçamentos de instalação	- 114 -

A.4 Planilha de custos de manutenção dos <i>chillers</i> atuais da PGR.....	- 116 -
APÊNDICE.....	- 117 -
B.1 Cálculo da carga térmica.....	- 117 -
B.2 Tabela do Método de Monte Carlo	- 130 -
B.3 Fluxo de caixa.....	- 131 -
B.3.1 <i>Chiller</i> de 400 TR de condensação a água	- 131 -
B.3.2 <i>Chiller</i> de 600 TR de condensação a água	- 131 -
B.3.3 <i>Chiller</i> de 400 TR de condensação a ar.....	- 132 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Perfil de consumo em prédios públicos (PROCEL, 2009).....	- 16 -
Figura 2. 1 - Sistema central de água gelada (JOHNSON CONTROLS, 2009).	- 23 -
Figura 2. 2 - Principais componentes do ciclo de refrigeração a vapor.	- 24 -
Figura 2. 3 - Diagrama Pressão – Entalpia.	- 25 -
Figura 2. 4 - Ciclo Condensação a água.	- 26 -
Figura 2. 5 - Chiller de condensação água da (YORK 2015).	- 26 -
Figura 2. 6 - <i>Chiller</i> de condensação a ar (YORK 2015).	- 27 -
Figura 2. 7 - Esquemático de uma torre de resfriamento (Electric representações, 2016)	- 28 -
Figura 3. 1 - Esquemático do fluxo de caixa (MOREIRA, 2006).	- 32 -
Figura 3. 2 - Triângulo de potência (PROCEL, 2010).....	- 35 -
Figura 4. 1 - Usuários do LEED (HERNANDES e DUARTE, 2007).....	- 39 -
Figura 4. 2 - Consumo de prédios comerciais (CYPRESS ENVIROSYSTEMS, 2010).....	- 41 -
Figura 4. 3 - Termoacumulação em sistemas de água gelada (TICONA, 2013).	- 43 -
Figura 5. 1 - Fluxograma macro da metodologia proposta.	- 48 -
Figura 5. 2 - fluxograma diagnóstico do Sistema.	- 49 -
Figura 5. 3 - fluxograma análise dos dados.	- 57 -
Figura 5. 4 - fluxograma avaliação dos projetos conceituais.....	- 61 -
Figura 6. 1 - Vista Superior dos blocos da sede da PGR	- 65 -

Figura 6. 2 – <i>Chiller</i> parafuso <i>York</i>	- 66 -
Figura 6. 3 - Modo de operação atual. (Pimenta et al, 2004).....	- 67 -
Figura 6. 4 – <i>Chillers</i> da PGR.....	- 69 -
Figura 6. 5 – Torre de resfriamento	- 70 -
Figura 6. 6 – Detalhe de corrosão na torre.....	- 70 -
Figura 6. 7 - Bombas de água condensada.....	- 72 -
Figura 6. 8 - Bombas de etileno glicol.....	- 73 -
Figura 6. 9 - Bombas primárias e secundárias	- 76 -
Figura 6. 10 - Interface do funcionamento da CAG do <i>software Envision for BACtalk</i>	- 82 -
Figura 6. 11 - Histórico de consumo da CAG	- 89 -

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Percentual anual de horas ponderado	- 30 -
Tabela 5. 1 - Vistoria de um equipamento.....	- 52 -
Tabela 5. 2 - <i>Check-list</i> de documentos.....	- 53 -
Tabela 5. 3 - Resumo de medições (SERVICE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO, 2015)-	- 56 -
Tabela 5. 4 – Vida útil teórica.....	- 60 -
Tabela 6. 1 - Vistoria dos <i>chillers</i>	- 68 -
Tabela 6. 2 - Vistoria das torres de resfriamento.....	- 69 -
Tabela 6. 3 - Resumo das quantidades das bombas da PGR	- 71 -
Tabela 6. 4 - Vistoria das bombas de água condensada (BAC).....	- 71 -
Tabela 6. 5 - Vistoria das bombas de etileno glicol (BEG)	- 72 -
Tabela 6. 6 – Vistoria de bomba de água gelada primária.....	- 73 -
Tabela 6. 7 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco A e B.....	- 74 -
Tabela 6. 8 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco C.....	- 74 -
Tabela 6. 9 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco D	- 75 -
Tabela 6. 10 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco E.....	- 75 -
Tabela 6. 11 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco F	- 76 -
Tabela 6. 12- Vistoria do <i>Fan-coil</i>	- 77 -
Tabela 6. 13 - <i>Check - list</i> dos documentos	- 78 -
Tabela 6. 14 - Dados <i>chillers</i>	- 80 -

Tabela 6. 15 - Dados das torres de resfriamento.....	- 80 -
Tabela 6. 16 - Dados das bombas	- 81 -
Tabela 6. 17 – Dados das bombas desligadas	- 82 -
Tabela 6. 18 - Dados do <i>Fan-coil</i>	- 83 -
Tabela 6. 19 - Perfil de carga térmica no verão	- 85 -
Tabela 6. 20 Perfil de carga térmica no inverno	- 85 -
Tabela 6. 21 - Vida útil real	- 86 -
Tabela 6. 22 - Cálculos dos equipamentos em funcionamento.....	- 87 -
Tabela 6. 23 - Cálculo das bombas reservas	- 87 -
Tabela 6. 24 - Consumo CAG mês de maio	- 89 -
Tabela 6. 25 - Valores dos investimentos	- 95 -
Tabela 6. 26 - Valores das despesas	- 96 -
Tabela 6. 27 - Consumo ao longo do dia de projeto para o verão	- 97 -
Tabela 6. 28 - Consumo ao longo do dia para o inverno	- 98 -
Tabela 6. 29 – Potencial de economia de energia.....	- 99 -
Tabela 6. 30 - Resultados da viabilidade econômica.....	- 100 -
Tabela 6. 31 – Comparação de TEWI para <i>chillers</i>	- 101 -

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

E	Consumo de energia anual	[kWh/ano]
Ed	Emissão Equivalente Direta de CO ₂	[kgCO ₂]
Ei	Emissão Equivalente Indireta de CO ₂	[kgCO ₂]
FCt	Fluxo de Caixa no Período t	[R\$]
GWP	Potencial de aquecimento global do refrigerante	
h	Entalpia	[kJ/kg]
I	Investimento Inicial	[R\$]
Ic	Corrente	[A]
L	Carga de Refrigerante Emitida por Ano	[kg]
m	Carga de Refrigerante	[kg]
n	Anos em operação	[Anos]
O	Operação Anual do Equipamento a Carga Plena	[Horas]
P	Pressão	[kPa]
Pt	Potência total trifásica	
Pot	Potência do equipamento	[kW]
Qo	Calor do evaporador	[W]
Qc	Calor do condensador	[W]
T	Tempo de Recuperação do Investimento	[Anos]
U	Tensão	[V]

Wc Trabalho do Compressor

[W]

Símbolos Gregos

α Fator de reciclagem do refrigerante

β Emissão de CO₂ na geração de energia

η Eficiência Energética

Siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ASHRAE *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

BAC Bomba de água de condensação

BAGS Bomba de água gelada secundária

BAGP Bomba de água gelada primária

BEG Bomba de Etileno Glicol

BIM *Building Information Modeling*

CAG Central de Água Gelada

CLTD *Cooling Load Temperatures Difference*

COP Coeficiente de Performance

CPO *Central Plant Optimization*

DDC Sistema de Controle Digital

EPE Empresa de Pesquisa Energética

IPLV *Integrated Part Load Value*

LEED *Leadership in Energy and Environmental Design*

MMC Método de Monte Carlo

NBR Norma Brasileira

ONU Organização das Nações Unidas

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia

TEWI *Total Equivalent Warning Impact*

TIR Taxa Interna de Retorno

TR Tonelada de refrigeração

TMA Taxa Mínima Atratividade

URL Unidade de resfriamento de líquido

USGBC *United States Green Building Council*

VAV Volume de Ar Variável

VPL Valor Presente Líquido

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

O consumo e a capacidade de geração de energia elétrica estão intimamente ligados à atividade econômica, por conseguinte quanto maior for o desenvolvimento, maior o consumo e maior a necessidade de energia. Ter um sistema energético organizado em bases sólidas e eficientes com maior participação das fontes renováveis é fundamental (LUCON e GOLDEMBER, 2009). Diante desta perspectiva, a ONU (Organização das Nações Unidas) está com a proposta de incentivar o alcance do acesso universal à energia sustentável até 2030. De acordo com o relatório apoiado pela própria instituição de maio de 2015, a taxa de energias modernas renováveis no mundo cresceu para 8,8% em 2012.

Seguindo a tendência mundial, os brasileiros, tanto o governo quanto a população, estão preocupados com a questão energética. A matriz elétrica do Brasil é caracterizada basicamente de geração hidrotérmico. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), uma fatia de 70,6% da eletricidade gerada no país, no ano de 2013, foi proveniente de fonte hidráulica, 27,1% de fonte térmica (incluem-se biomassa, gás, petróleo e carvão mineral), 2,4% de fonte nuclear, sendo o restante suprido por energia eólica e por uma porcentagem muito baixa de energia solar. Dado que nos últimos anos o país vem sofrendo com a escassez de chuvas, então as crises no setor elétrico vêm sendo mais frequentes. Uma vez que os baixos índices dos reservatórios nas usinas hidrelétricas fazem com que as usinas termoeletricas sejam cada vez mais utilizadas, isso ocasiona em energia mais cara.

A crise energética e os altos gastos com energia elétrica têm sido um propulsor para o desenvolvimento de maneiras mais inteligentes de usufruir este insumo. Por esse motivo, o termo “desenvolvimento sustentável” vem sendo muito utilizado. A sociedade contemporânea necessita de estabelecer parâmetros, normas e procedimentos para desenvolver práticas tecnológicas que não agridam o meio ambiente, um dos parâmetros desenvolvidos foi a sustentabilidade. Trata-se de uma tentativa de harmonizar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental, de maneira que as necessidades da geração atual sejam supridas, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (PINTO, 2005).

De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) a potência demandada por instalações de ar condicionado e refrigeração é da ordem de 14.000 MW, representando 11,8% da capacidade instalada no país. Segundo o Programa Nacional de Consumo de Energia Elétrica

(PROCEL, 2009) o consumo de ar condicionado em prédios públicos é responsável por uma parcela, 48%. A Figura 1. 1 mostra o perfil de consumo da energia em prédios públicos.

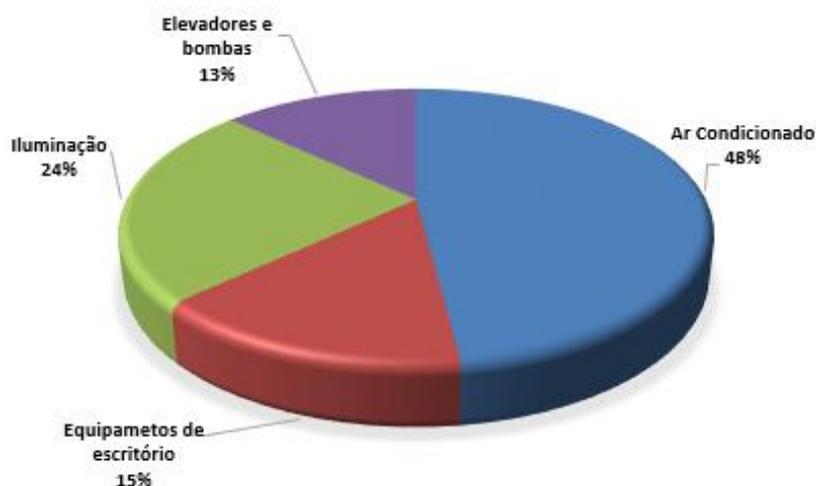


Figura 1. 1 - Perfil de consumo em prédios públicos (PROCEL, 2009).

Tendo como temática o desenvolvimento ambientalmente amigável, para um sistema de refrigeração adequado é indispensável que haja uma conservação relevante de energia elétrica. Um sistema inadequado ou mal dimensionado aumenta o potencial consumo, visto que ficará mais tempo ligado para atingir a temperatura desejada além do risco de diminuir a vida útil do equipamento.

A meta do presente trabalho é propor uma rotina de passos a serem seguidos que visa ter como *output* um diagnóstico para modernizar uma instalação termomecânica a fim de torná-la mais eficiente, com menor custo de energia e consequentemente ambientalmente amigável. A relevância do estudo realizado se apresenta na área de sustentabilidade de um sistema de climatização. O tema desenvolvido é uma metodologia para aplicação de *retrofit* em sistemas de água gelada.

Os componentes presentes em sistemas de água gelada possuem em média uma vida útil entre 15 e 25 anos, porém após um determinado prazo uma queda em sua eficiência energética pode ser observada. Diante disso, o *retrofit* é uma oportunidade de análise que busca aumentar a eficiência dos equipamentos e adicionar funcionalidades que garantem maior conforto, segurança e durabilidade, além de reduzir a energia utilizada. Tradicionalmente, *retrofits* são feitos de forma fragmentada, com componentes de construção individuais substituído um de cada vez, com pouca atenção dada às suas interações. (McWilliams e Walker, 2004).

1.2 REVISÃO DA LITERATURA

O século XX foi marcado pela globalização e pelo avanço do processo de urbanização. Consequentemente, algumas partes das cidades perderam características que, historicamente, lhes

deram origem. Na Europa, a reabilitação das construções que perderam sua funcionalidade conduziu ao estudo de desenvolvimento de metodologias e procedimentos técnicos de reabilitação das construções com propostas de intervenção adequando-as as novas necessidades.

O Brasil é um país jovem em comparação com a Europa, no entanto não significa que as edificações sejam modernas ou dispensem a reabilitação. Pode-se observar que a depreciação da infraestrutura, dos equipamentos e das edificações são evidentes em certos casos, colocando em discussão a questão da reabilitação urbana. Quando os edifícios são reabilitados corretamente, a região do entorno, geralmente, é revigorada e valorizada.

A luz desta temática, a modernização das edificações assim como dos sistemas de climatização é conhecida como *retrofit*. Este conceito vem ganhando destaque na literatura brasileira nos diversos ramos da engenharia. Alguns trabalhos focam na economia de energia elétrica com foco na modernização da edificação como um todo. Outros, especificam a modernização de uma área, como: a arquitetura, a iluminação ou climatização.

Ghisi (1997) defendeu sua tese de mestrado com o trabalho “Desenvolvimento de uma metodologia para *retrofit* em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina”. Basicamente, é um trabalho que apresenta uma metodologia para realização de *retrofit* em sistema de iluminação que visa a simplicidade e a objetividade requeridas à necessidade emergente de substituição de sistemas de iluminação composto por tecnologias ultrapassadas e energeticamente ineficientes existentes nas edificações. Este é um trabalho que servirá de base para a metodologia proposta no presente trabalho, apesar de não ter o mesmo foco.

Lamberts (1999) fez um estudo de viabilidade econômica de uma proposta de *retrofit* em um edifício comercial. Este trabalho apresenta a análise de investimento em uma proposta de *retrofit* para um edifício comercial da cidade de Florianópolis, SC, que proporcionará uma redução de 60% na conta de energia elétrica e 40% no consumo. O estudo de viabilidade econômica foi feito através do cálculo da Taxa Interna de Retorno, Método do Valor Presente, e *Payback* Corrigido, seguindo-se a metodologia do Projeto 6 Cidades - PROCEL/ELETROBRÁS.

Piper (2003) publicou um artigo onde abordava os oito fatores que executivos devem levar em consideração ao aplicar *retrofit* em sistemas de AVAC. Os oito fatores que devem ganhar atenção são: estudo da substituição dos componentes existentes no sistema de ar condicionado, aplicação de novas tecnologias, flexibilidade, performance de carga parcial dos equipamentos, manutenção, quadro geral do edifício e do sistema de climatização, ocupantes do edifício e programas de aprovação. Todos esses fatores vão elevar a vida útil do sistema, evitando assim processos de *retrofit* em futuros próximos.

Qualharini (2004) publicou o trabalho “*Retrofit* de construções: metodologia de avaliação” que visa investigar e identificar os postos-chave no processo de reabilitação, e propor uma metodologia para o atual estágio em que se encontra o *retrofit* no Rio de Janeiro e no Brasil, fazendo um paralelo com a situação europeia. Qualharini cria uma metodologia de aplicação de *retrofit* em edificações. Ela começa com o pré-diagnóstico onde deve-se identificar o que pode ser feito no edifício, em caso de possibilidade de *retrofit* e em seguida há a montagem do diagnóstico. O autor utiliza um fluxograma para detalhar os processos necessários. Ao final do estudo conclui-se que é necessário um conjunto de ações que facilitem a aplicação de *retrofit* em edificações.

McWilliams e Walker (2004) publicaram um estudo de caso de práticas para aplicação de *retrofit* em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) em residências. O guia consiste no diagnóstico dos componentes presentes nas residências e a interação entre eles, uma vez que o insuflamento de ar exterior, por exemplo, pode mudar a carga térmica do sistema AVAC. O estudo de caso foi feito para aprimorar as práticas existentes e para identificar os componentes chave. O estudo concluiu que uma das maiores barreiras para aplicação das práticas de *retrofit* eram as práticas dos profissionais responsáveis por alterar as instalações.

Vale (2006) publicou o trabalho de mestrado “Diretrizes para racionalização e atualização das edificações: segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do *retrofit*”. O objetivo maior do trabalho é a melhoria do conhecimento do produto final, “a edificação”, buscando o avanço dos processos da Indústria da Construção Civil, sob o conceito de “Qualidade” e segundo a ótica do “*Retrofit*”. Vale durante o estudo apresentou os conceitos relacionados a gestão da qualidade na construção civil.

Mendonça (2007) fez um estudo onde o principal objetivo é agregar valor a um edifício desvalorizado no hipercentro de Belo Horizonte. Para isso o trabalho apresenta soluções de reabilitação, readaptação e requalificação do edifício. A aplicação do *retrofit* visa a implantação de recursos e tecnologias que minimizem impactos ambientais. O estudo também faz relações entre os altos custos para aplicação de tecnologias sustentáveis no âmbito de uma economia capitalista, que sempre prioriza o lucro. O trabalho investigativo busca tornar a edificação sustentável através de três diretrizes: desenvolvimento econômico, desempenho ambiental e responsabilidade social que beneficie a sociedade.

Mukherjee (2009) apresentou diversos estudos de caso de aplicação de *retrofit* para sistemas centrais de AVAC. Os tópicos abordados foram opções de *retrofit*, como substituição de componentes obsoletos por outros mais eficientes, otimização do sistema de automação, mudança nos processos de climatização e utilização do calor desperdiçado. Para cada opção de *retrofit* citada, Mukherjee abordou um estudo de caso que teve esses como soluções. No primeiro caso houve a substituição de *chillers* antigos por outros mais novos e eficientes. No segundo caso foi aplicado variadores de frequência nas

bombas centrífugas. No terceiro caso foi aplicado cogeração, onde foi aproveitado o calor rejeitado pelo compressor parafuso do *chiller* para geração de água quente.

A iniciativa HVAC HESS (2010) publicou um estudo de caso do edifício *4 Mort Street* na cidade de Canberra, Austrália. O *retrofit* foi feito com diversas limitações, entre elas orçamento limitado e a presença dos ocupantes no prédio durante a modernização. De acordo com o estudo de caso, o edifício comercial construído a 45 anos, adquiriu o certificado NABERS de eficiência de energia, passando de 2,5 pontos para 4,5. Outros benefícios foram a redução anual de custos com energia, reduções de emissão de gases de efeito estufa e valorização do edifício.

Serafin (2010) publicou o trabalho “Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do *retrofit* no edifício sede da Eletrosul”. O estudo tinha como objetivo avaliar os resultados obtidos após a reforma feitas no edifício sede da Eletrosul, onde as intervenções foram feitas para reduzir a demanda e consumo de energia elétrica. Serafin concluiu que houve economias relevante nas áreas de iluminação e climatização e foram alcançadas graças a alta eficiência dos novos sistemas de ar condicionado e iluminação.

Moreira (2010) publicou o trabalho de pós-graduação com o tema “Método para *retrofit* em sistema de iluminação de hospitais públicos: estudo de caso no hospital público regional de Betim”. Neste sentido, o trabalho tem como objetivo propor um método para a análise da viabilidade técnica e econômica de se implementar um *retrofit* no sistema de iluminação de hospitais públicos, com vistas a torná-lo energeticamente eficiente e ao mesmo tempo proporcionar maior conforto luminoso a todos os usuários. A metodologia proposta compreende a avaliação da atual situação com relação à quantidade e qualidade da iluminação em diversos ambientes de um hospital. Compreende também a avaliação dos usos finais, avaliação da representatividade do uso final com iluminação em face do consumo total do estabelecimento e avaliação da possibilidade de se implementar um *retrofit*, em função da economia de energia resultante com o uso de equipamentos eficientes.

Stillwell e Webber (2013) publicaram um artigo onde criaram uma metodologia para avaliar a viabilidade econômica de aplicar *retrofit* em usinas de energia. O *retrofit* consistia na aplicação de tecnologias de refrigeração que usavam baixas quantidades de água. A partir do estudo de trinta e nove usinas de energia do Texas, o estudo concluiu que em três delas a aplicação da alternativa de tecnologia de arrefecimento eram viáveis economicamente.

Guimarães (2014) publicou o trabalho “O *retrofit* e a modelagem de informações como ferramenta na análise de projetos”. O trabalho tem o objetivo de apresentar as principais características dos processos de *retrofit* e do conceito de BIM (*Building Information Modeling*) e, através de um estudo de campo, pretende-se explorar a possibilidade de utilizar a modelagem de informações como ferramenta para

análise de projetos de *retrofit*, considerando o desempenho lumínico e térmico. Guimarães afirma que o BIM apresenta um grande potencial para análise de projetos ao longo da vida útil das edificações e é possível obter resultados próximos da realidade e avaliar possíveis mudanças que aumentem a performance do edifício.

1.3 OBJETIVO E METAS

O principal objetivo do presente trabalho é desenvolver uma metodologia para realização de *retrofit* em sistemas de água gelada que permita ao usuário uma simples aplicação de uma rotina passo-a-passo. Já o objetivo complementar é avaliar a possibilidade de implementação de *retrofit* visando uma potencial diminuição dos custos operacionais e por consequência tornando-o mais eficiente e ambientalmente amigável.

O *retrofit* proposto considerará a interação de diferentes componentes durante todo o processo de seleção do desenvolvimento da metodologia. Sendo assim, a intenção da metodologia proposta é gerar resultados que auxiliem na elaboração de soluções de *retrofit* e assim possibilitar o estudo da viabilidade técnica e econômica de cada solução.

Por fim, será proposto um estudo de caso de um sistema de água gelada para testar a metodologia proposta.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho para alcançar os objetivos e metas proposto é constituída de seis etapas.

A primeira etapa constitui a fundamentação e exposição do que já existe sobre a temática em estudo. Assim, a relevância do projeto fica mais clara e evidente.

A segunda etapa é essencial para a elaboração da metodologia que será proposta em razão de que constitui uma revisão de conceitos base. Tais conceitos seriam no âmbito de instalações termomecânica, com foco no funcionamento de sistema de água gelada, e de engenharia econômica, para fornecer a base de análise de tomada de decisão.

A etapa seguinte, a terceira, focar num estudo dos níveis de desempenho e eficiência energética dos componentes considerados críticos. Essa primeira análise informará, com base nos dados técnicos levantados, se o desempenho do sistema caiu desde sua instalação e a real necessidade técnica da reposição de seus componentes considerados críticos, que são o *chiller*, torre de resfriamento, bombas e *fan-coils*.

Devido as etapas anteriores, a quarta etapa visa desenvolver de fato as soluções de *retrofit* gerando assim projetos conceituais.

Posteriormente, na quinta etapa, será feita uma pesquisa de mercado de versões mais modernas das tecnologias propostas, pois elas devem consumir menos energia e possuir níveis de desempenho mais elevados, comparados com os dados do sistema pré-existente.

Na sexta etapa deste trabalho consiste em fazer uma análise econômica de um sistema de água gelada real, que visa exemplificar a proposta do trabalho. Assim, espera-se uma avaliação a longo prazo das vantagens do investimento no *retrofit*.

Diante a metodologia de trabalho, é possível inferir que este projeto visa a criação da metodologia sem a intenção de alterar o projeto original de climatização. Parâmetros como sistema de iluminação, tipos de vidros e sombreamento, que caso alterados possam a vir diminuir a carga térmica do *chiller*, não serão analisados. No entanto, cabe a metodologia informar ao usuário sobre possíveis ações que possam vir a diminuir o consumo energético, estas ações serão focadas somente no sistema de água gelada e não em mudanças arquitetônicas ou em sistemas de iluminação.

1.5 ESTRUTURA DO PRESENTE TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos. Onde o capítulo inicial apresenta a introdução ao assunto abordado no trabalho, sua relevância e objetivos a serem atingidos.

No capítulo 2 é feito uma revisão dos conceitos de instalações termomecânicas, como ciclos de refrigeração, componentes críticos de um sistema de água gelada e parâmetros de desempenho energético e ambiental.

O capítulo 3 apresenta a revisão dos conceitos de engenharia econômica como: valor presente líquido (VLP), taxa interna de retorno (TIR) e *payback*. Tais indicadores serão importantes para a análise de tomada de decisão. As noções gerais sobre tarifação de energia elétrica também são abordadas neste capítulo.

O capítulo 4 é destinado ao aprofundamento dos conceitos de *retrofit*, tais como: razões para a sua implementação, aplicação e algumas alternativas para *retrofit* de climatização.

O capítulo 5 apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento de aplicação de *retrofit* em um sistema de água gelada.

O capítulo 6 exhibe um estudo de caso que testa a metodologia proposta. Este capítulo é muito importante para o aprimoramento da metodologia.

O capítulo 7 contém a conclusão acerca dos itens mostrados ao longo do trabalho e indicação de sugestões para aprofundamento das análises em trabalhos futuros.

2 SISTEMA DE ÁGUA GELADA

2.1 ASPECTOS GERAIS

De acordo com a ASHRAE, o ar condicionado é entendido como o processo de tratamento do ar através do ajuste simultâneo de temperatura, umidade, grau de pureza e circulação, permitindo assim manter condições desejáveis para um espaço climatizado. No entanto, o campo de ar condicionado é autônomo ao da refrigeração, mas também é complementar (STOECKER e JONES, 1985).

A forma de refrigeração é basicamente igual nos equipamentos de ar condicionado, no entanto há diferença clássicas quanto o porte e a forma de distribuir o “frio”. Podemos dividir os tipos de ar condicionado em quatro: sistema central para um prédio inteiro, sistema *split*, sistema *self* e sistemas individuais (JOHNSON CONTROLS, 2009).

O foco do presente trabalho está no sistema de água gelada que é o sistema de ar condicionado central mais conhecido. Assim, podemos nos referenciar a este sistema como CAG – central de água gelada. Geralmente, são aplicados em projetos de grande porte, pois apresentam um alto custo. No entanto, a longo prazo são mais eficientes no consumo da energia elétrica (JOHNSON CONTROLS, 2009).

Sistemas de água gelada podem ser divididos em condensação a ar e condensação a água, neste último o sistema é composto basicamente por torre de resfriamento, *chiller*, bombas, tubulação de água gelada, *fan-coils* e válvulas. No caso do sistema de condensação a ar não há a necessidade da torre de resfriamento. Dentre os componentes citados, o *chiller* é considerado o principal e tem a função de arrefecer a água usada para condicionar o ar. Os conceitos acerca de CAG serão aprofundados nas seções 2.3.1 e 2.3.2.

O sistema de água utiliza a água como agente de aquecimento ou refrigeração, mesmo que a transferência de calor no espaço condicionado seja realizada pelo ar (STOECKER e JONES, 1985). É um sistema de expansão indireta, ou seja, o fluido de trabalho é um fluido secundário, no caso a água, enquanto o refrigerante fica restrito ao local que se encontra os resfriadores. A água que circula por toda a rede de tubulações troca calor com o fluido refrigerante nos refrigeradores, ou *chillers*. A Figura 2. 1 retirada do artigo de colaboração técnica da *Johnson controls* a seguir ilustra como é um sistema de expansão.

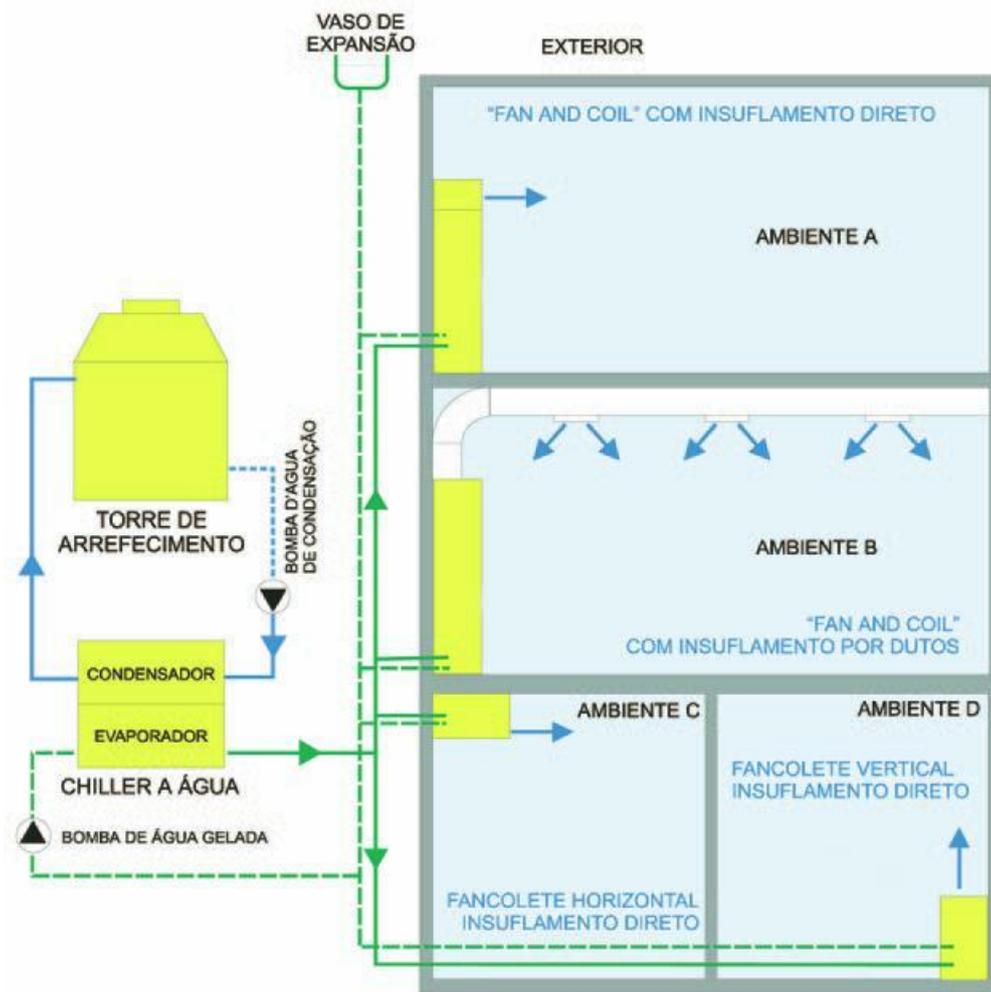


Figura 2. 1 - Sistema central de água gelada (JOHNSON CONTROLS, 2009).

2.2 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO

O ciclo de refrigeração a vapor é o mais utilizado na prática nas mais diversas aplicações. Nesse ciclo, o fluido é submetido a 4 estágios: compressão, condensação, expansão, em que há uma queda de pressão de forma que em seguida o fluido possa evaporar a baixa pressão (STOECKER e JONES, 1985). Logo, os principais componentes desse tipo de ciclo é o compressor, o evaporador, a válvula de expansão e o condensador. A Figura 2. 2 a seguir apresenta de forma esquemática tais componentes.

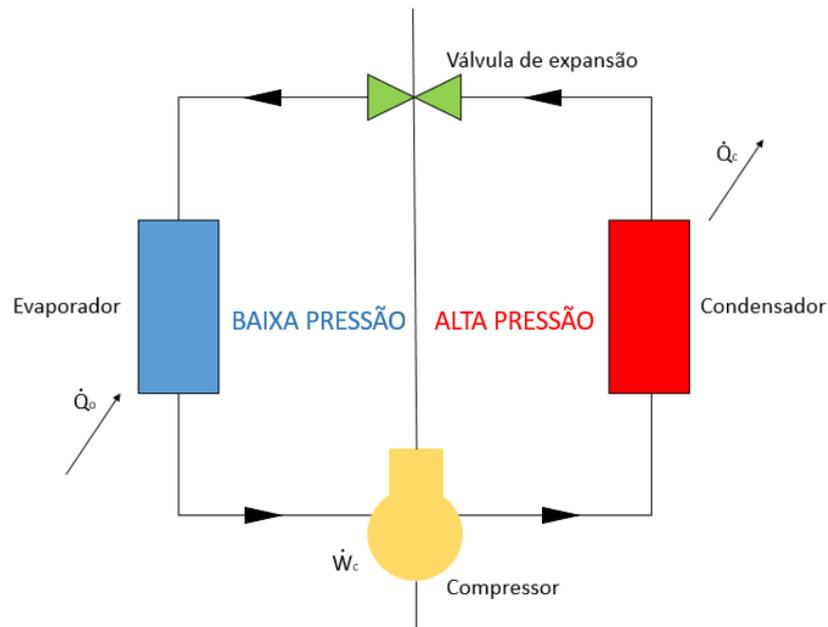


Figura 2. 2 - Principais componentes do ciclo de refrigeração a vapor.

Basicamente, a Fig. 2.2 acima representa de forma ilustrativa a ideia de que o refrigerante ao passar pela válvula de expansão sofre uma queda de pressão e temperatura e em seguida se encaminha para a evaporadora para poder absorver o calor, nesse processo o fluido passa do estado líquido saturado para vapor. O refrigerante aquecido é em seguida aspirado pelo compressor, onde é comprimido tendo sua pressão e temperatura aumentadas. Depois de passar pelo compressor, o refrigerante vai para condensadora onde o calor é liberado e volta a sua fase líquida. Posteriormente o fluido arrefecido vai para a válvula de expansão dando continuidade ao ciclo.

O diagrama pressão versus entalpia ilustra o comportamento de diversos fluidos a diferentes pressões e entalpias, no estudo de refrigeração é o mais usual. A representação do ciclo de compressão a vapor no diagrama P-h pode ser vista na Figura 2. 3. O ponto 3 ao ponto 4 informa uma queda de pressão, que no ciclo é a expansão do gás refrigerante, este sai da fase líquida saturada para ir para mistura de líquido mais vapor. Do ponto 4 ao ponto 1 o fluido se aproxima do ponto de vapor saturado, pois há ganho de calor. O ponto 1 ao ponto 2, há um grande aumento de pressão, o que representa a compressão do refrigerante, este em seguida chega ao ponto de vapor superaquecido. Para finalizar o ciclo há perda de calor do ponto 2 ao ponto 3 que representa a condensação do refrigerante.

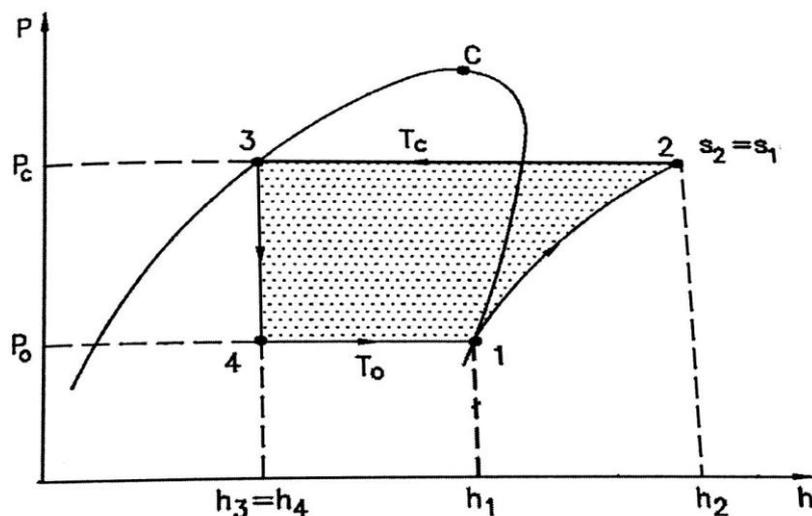


Figura 2.3 - Diagrama Pressão – Entalpia.

2.3 CHILLER

O *chiller* é o coração de uma CAG e é nele que ocorrem as trocas de calor. Os diversos tipos de *chillers* presentes no mercado se diferenciam de acordo com a forma que ocorre a troca de calor em sua condensadora, o tipo de compressor integrado e a carga térmica requerida pelo projeto.

O *chiller* de compressão pode ser classificado quanto ao tipo de compressor e quanto ao tipo de compressão. Os principais compressores são scroll, centrífugo e parafuso. Já a condensação pode ser dividida entre condensação a água ou condensação a ar. Cada tipo de *chiller* tem suas vantagens e desvantagens e são escolhidos conforme detalhes de locação, disponibilidade de espaço para instalação, capacidade térmica necessária.

O sistema central de água gelada pode ser subdividido em dois tipos. O primário onde o fluido circula pelo resfriador e o secundário onde o fluido circula pelo prédio após a saída do *chiller*, para retornar em seguida para o sistema primário, fechando o ciclo.

2.3.1 Condensação a água

Nos *chillers* de condensação a água o refrigerante libera calor para a água em seu condensador. A água vem de uma torre de resfriamento que troca calor com o ambiente e tem como função esfri-la após ser aquecida pelo refrigerante na condensadora. O refrigerante arrefecido vai para a válvula de expansão dando continuidade ao ciclo. A Figura 2.4 mostra de forma esquemática como é o ciclo por condensação a água.

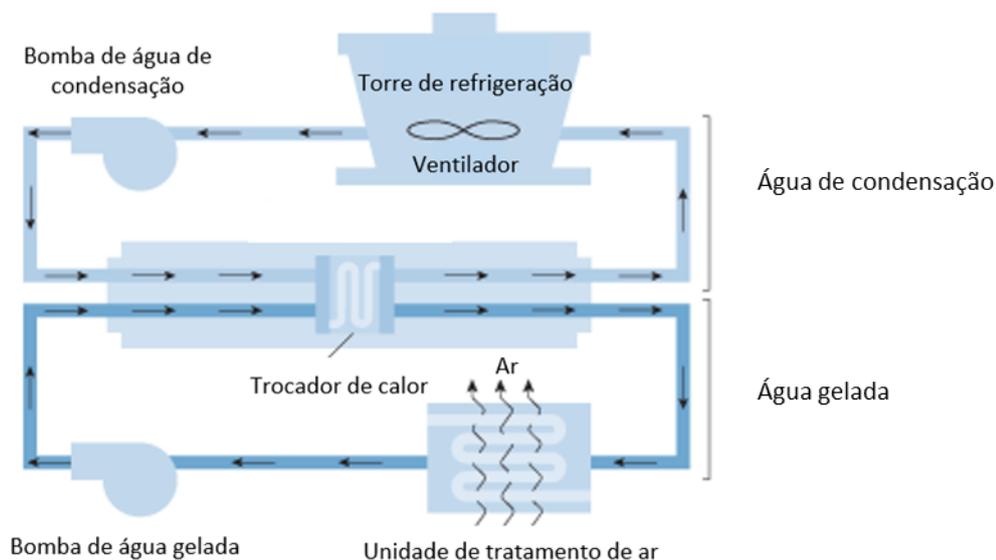


Figura 2. 4 - Ciclo Condensação a água.

O *chillers* desse tipo de condensação possuem cargas térmicas maiores, e assim são preferencialmente usados em projetos de grande porte. A instalação deste componente é flexível já que pode ser em qualquer lugar, como por exemplo no subsolo da edificação (LOPES, 2014).

A condensação a água apresenta inúmeras vantagens, como: alta flexibilidade com relação a escolha da localização e da quantidade de *fan-coils*; se comparado aos sistemas unitários a carga elétrica instalada é menor; e permite termoacumulação. Em contrapartida, também apresenta algumas desvantagens, como: maior consumo de água devido a evaporação na torre; e custo mais elevado da instalação e da manutenção.



Figura 2. 5 - Chiller de condensação água da (YORK 2015).

2.3.2 Condensação a ar

A principal diferença entre os *chillers* de condensação a ar e a água é justamente o processo de troca de calor na condensadora. O *chiller* de condensação a ar utiliza a passagem de uma corrente de ar pelo condensador para trocar calor com o fluido refrigerante, arrefecendo-o. A circulação do ar é feita por ventiladores localizados na parte superior do refrigerador. Por este motivo, não há a necessidade de torre de resfriamento; então, esse tipo CAG utiliza menos espaço físico e por isso deve ser sempre instalado em locais abertos para o ambiente.

As principais vantagens e desvantagens se assemelham com a condensação a água. No entanto, comparativamente o *chiller* a ar é mais limitado, uma vez que apresenta capacidades menores, tem a restrição de ser instalado em ambientes externos e conseqüentemente a eficiência do processo de rejeição de calor depende da temperatura ambiente (LOPES, 2014).



Figura 2. 6 - *Chiller* de condensação a ar (YORK 2015).

2.4 BOMBAS

As bombas usadas em sistemas de ar condicionado são do tipo centrífugas e são responsáveis por manter a circulação da água por todo o sistema. Usualmente são utilizadas de quatro a seis bombas, sendo que de duas a três são reservas. Entretanto, conforme detalhes de instalação, preocupação com a eficiência energética e preferência do projetista podem mudar tal configuração.

As bombas podem ser primárias, secundárias e de condensação. A primária tem a função de aspirar e bombear a água proveniente do prédio para a evaporadora do *chiller*, onde será arrefecida ao trocar calor com o fluido refrigerante. Após a saída do *chiller* a água é encaminhada para o resto do sistema pela bomba secundária. Já as bombas de condensação são usadas somente em *chiller* de condensação a água, onde tem a função de fazer circular a água que vai da condensadora para a torre de resfriamento e posteriormente volta para condensadora. As bombas possuem mecânica similar, porém se diferenciam na vazão e na pressão. Cada uma deve ter uma bomba reserva em caso de falha da mesma.

2.5 FAN-COIL

Fan-coils são unidades de tratamento de ar, composto por um ventilador e um trocador de calor. Entende-se por tratamento do ar a função de resfriar, desumidificar e filtrar o ar (LOPES, 2014). Cinco componentes formam um *fan-coil*. O componente 1 é uma caixa com finalidade de misturar o ar de retorno do ambiente condicionado com o ar externo. O componente 2 é uma serpentina de resfriamento, na qual circula água gelada, proveniente do *chiller*, para resfriar o ar que chega da caixa de mistura. O componente 3 representa um umidificador, o qual faz a umidificação do ar quando existe a necessidade dependendo da umidade relativa desejada. O componente 4 é um dispositivo para aquecer o ar, o qual pode ser usado quando as cargas latentes forem altas ou para fazer um ajuste fino na temperatura da zona. O último (componente 5) é o ventilador responsável pelo insuflamento do ar dentro da zona (BARBOSA, 2004).

2.6 TORRES DE RESFRIAMENTO

As torres de resfriamento são utilizadas para o resfriamento da água aquecida vinda do condensador do *chiller*. A água aquecida vinda do *chiller* entra pela parte superior da torre e em seu interior a água é dispersa dentro do enchimento (Electric representações, 21016). O ventilado é o responsável pela troca de calor, pois o mesmo promove o fluxo de ar externo. A água cai na bacia, em seguida retorna para a condensadora e assim inicia o ciclo novamente. A Figura 2. 7 ilustra o funcionamento simplificado de uma torre de resfriamento. É importante ressaltar que há perdas de água por arraste de gotas finas pelos ventiladores e por evaporação durante o funcionamento da torre. Esta perda pode ser de até 2% de sua vazão de água em circulação (Alpina equipamentos, 2016).

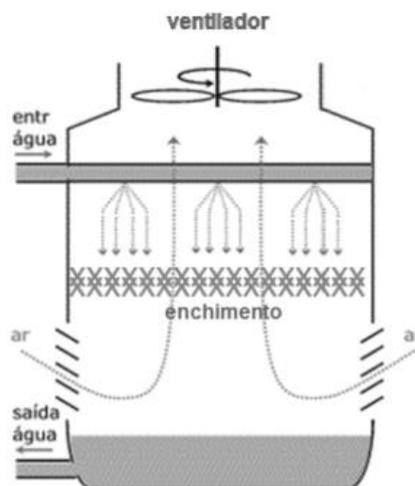


Figura 2. 7 - Esquemático de uma torre de resfriamento (Electric representações, 2016)

2.7 PARÂMETROS DE DESEMPENHO

2.7.1 Potência em equipamentos trifásicos

O cálculo da potência de equipamentos pode ser dividido entre circuitos de corrente contínua e circuitos de corrente alternada. Porém o atual projeto irá focar somente no cálculo de potência de motores de indução, que são motores de corrente alternada trifásicos. No sistema trifásico a potência em cada fase é calculada como se fosse um sistema monofásico independente, como mostrado na Equação 2.1, e sua potência total será a soma das três fases (WEG, 2016).

$$P = U_f I_f \quad (2.1)$$

O sistema trifásico pode ser ligado em triângulo ou em estrela, porém o cálculo da potência total para ambos os casos será o mesmo. O fator de potência é o ângulo de fase entre a tensão e a corrente em motores de indução e essa defasagem influencia diretamente na potência total do motor. Com isso o cálculo da potência do motor de indução é descrito na Equação 2.2 (WEG, 2016).

$$P_t = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.2)$$

Em que U é a tensão de linha, I é a corrente de linha e $\cos\varphi$ é o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente de fase.

2.7.2 Coeficiente de performance (COP)

O desempenho de um ciclo de refrigeração pode ser definido pela razão do efeito útil e o trabalho que deve ser exercido para obter o efeito útil almejado. Tal razão é conhecida como COP. A Equação 2.3 a seguir representa tal conceito.

$$COP = \frac{\text{efeito útil}}{\text{trabalho necessário}} \quad (2.3)$$

Geralmente, o COP é um bom recurso para avaliação e comparação entre sistemas de refrigeração concorrentes. Desta forma, é desejável um COP elevado, pois indica que o efeito útil será atingido com um menor trabalho (PIMENTA, 2012).

2.7.3 Integrated Part Load Value (IPLV)

O COP depende basicamente das temperaturas de evaporação e condensação, e durante a operação de um *chiller* seu valor irá variar ao longo da operação diária-anual, pois as temperaturas variam de acordo com as oscilações de ambiente e carga. Apenas em alguns momentos a carga plena é observada, momento quando o COP é máximo (PIMENTA, 2008).

Para avaliar o desempenho de um *chiller* em diferentes níveis de cargas IPLV é utilizado e pode influenciar no uso de energia e custos operacionais ao longo da vida útil do equipamento. (FABIAN, 2010). A Equação 2.4 do IPLV pode ser determinada da seguinte forma (PIMENTA, 2008).

$$IPLV = \frac{1}{\frac{0,01}{A} + \frac{0,42}{B} + \frac{0,45}{C} + \frac{0,12}{D}} \quad (2.4)$$

A Tabela 2. 1 apresenta o percentual ponderado anual de horas de operação.

Tabela 2. 1 - Percentual anual de horas ponderado

Variável	Carga	Percentual anual de horas
A	100%	1%
B	75%	42%
C	50%	45%
D	25%	12%

2.7.4 Total Equivalent Warning Impact (TEWI)

TEWI é um dos índices de impacto ambiental usados para informar os efeitos da emissão de gás carbônico (CO₂). Para calcular o TEWI deve-se somar o efeito da descarga direta do refrigerante na atmosfera com o efeito da emissão de dióxido de carbono devido a energia usada ao longo da vida do equipamento. Como o impacto do refrigerante excede a vida do equipamento, usa-se 100 anos como horizonte de tempo. O TEWI depende do sistema, pois a eficiência e vazamentos não dependem do refrigerante em si. A Equação 2.5 é determinada da seguinte forma (MAYKOT et al, 2004).

$$TEWI = E_d + E_i \quad (2.5)$$

Em que:

E_d: emissão equivalente direta de CO₂

E_i : emissão equivalente indireta de CO_2

Emissão equivalente direta representa o impacto de vazamentos do gás refrigerante e é dada pela Equação 2.6.

$$E_d = GWP.L.n + GWP.m.(1 - \alpha) \quad (2.6)$$

Em que:

E_d : emissão equivalente direta de CO_2

m: carga de refrigerante no produto (kg);

L: Taxa anual de vazamento de refrigerante (kg/ano);

n: Anos em operação (anos);

GWP: Potencial de aquecimento global do refrigerante (kgCO_2/kg refrigerante);

α : Fator de reciclagem do refrigerante (%).

Emissão equivalente indireta representa o impacto do consumo da energia que gera o dióxido de carbono e pela Equação 2.7.

$$E_i = n.E.\beta \quad (2.7)$$

Em que:

E_i : emissão equivalente indireta de CO_2 ;

E: Consumo de energia anual (kWh/ano);

β : Emissão de CO_2 na geração de energia ($\text{kg CO}_2/\text{kWh}$).

Com o aumento dos cuidados com o ambiente, o valor do fator de reciclagem (α) cresceu nos últimos anos, então para edifícios comerciais considera-se o valor de $\alpha = 75\%$. A taxa anual de vazamentos de refrigerante (L) em aplicações comerciais é considerada $L=10\%$. Para determinar o valor da emissão de CO_2 na geração de energia (β) deve-se ter conhecimento de como esta é gerada, porém pode também adotar uma média por país. O Brasil apresenta o valor médio de $\beta=248 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$. (Maykot et al, 2004).

3 CONCEITOS ECONÔMICOS

Para cada componente do sistema de água gelada será feita uma análise econômica que justifique ou não o investimento nas diversas soluções de *retrofit*. A viabilidade econômica do projeto de *retrofit* será determinada por indicadores, como o valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback*. O item 3.1.1 ao item 3.1.3 descrevem com mais detalhes os indicadores.

3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA

3.1.1 Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) tem como finalidade medir o valor presente das receitas periódicas geradas pelos componentes ao longo de sua vida útil. O VPL informa se o investimento será viável ou não para o patrocinador a partir da diferença entre o investimento inicial a rentabilidade absoluta a determinada taxa de desconto. Para o VPL menor ou igual a zero o investimento não será financeiramente atraente e para o VPL positivo o projeto será viável economicamente (SAMANEZ, 2009).

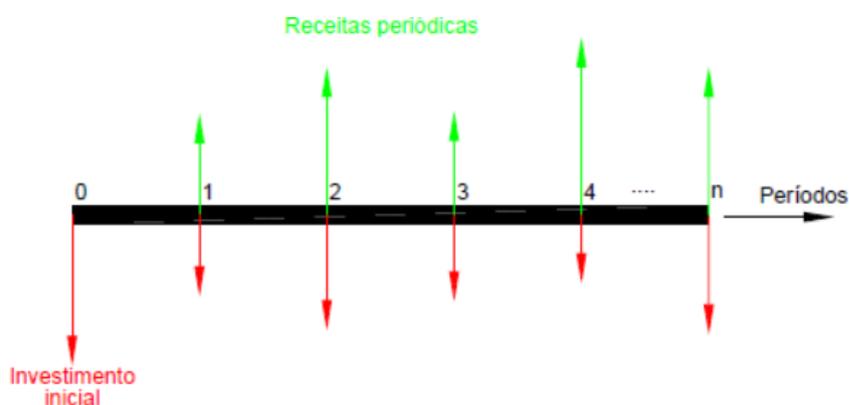


Figura 3. 1 - Esquemático do fluxo de caixa (MOREIRA, 2006).

O fluxo de caixa consiste no saldo esperado entre os custos operacionais antes do *retrofit* e depois do *retrofit* ao longo de um mesmo período, conforme a Figura 3. 1 ilustra. A Equação 3.1 define o VPL.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} \quad (3.1)$$

Em que:

I: investimento inicial necessário para implantação de *retrofit*;

FC_t: saldo esperado antes da aplicação de *retrofit* e após a aplicação do *retrofit*;

TMA: taxa mínima de atratividade ou taxa de desconto;

t : número de anos considerado para vida útil;

n: horizonte de planejamento.

3.1.2 Taxa interna de retorno (TIR)

O método da taxa interna de retorno (TIR) é a taxa intrínseca de rendimento no é entrada quando o VPL é nulo. O TIR é a taxa mínima que o investimento que o investidor irá considerar que está tendo ganhos financeiros. A Equação 3.2 permite efetuar os cálculos do TIR.

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (3.2)$$

Em que:

I: investimento inicial necessário para implantação de *retrofit*;

FC_t: saldo esperado antes da aplicação de *retrofit* e após a aplicação do *retrofit*;

TIR: taxa mínima interna de retorno;

t: número de anos considerado para vida útil;

n: horizonte de planejamento.

3.1.3 Payback

O *payback* tem como finalidade informar em quanto tempo o investimento inicial irá se igualar ao valor presente dos fluxos de caixa previstos. O cálculo é baseado na taxa mínima de atratividade e a partir do momento em que há essa igualdade o projeto começa a apresentar lucros. A desvantagem do *payback* é que não apresenta dados após o início dos lucros. (SAMANEZ, 2009). A Equação 3.3 permite efetuar o cálculo do *payback*.

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_T}{(1 + TMA)^T} \quad (3.3)$$

Em que:

I: investimento inicial necessário para implantação de *retrofit*;

FC_t: saldo esperado antes da aplicação de *retrofit* e após a aplicação do *retrofit*;

TIR: taxa mínima interna de retorno;

T: Tempo de recuperação do investimento.

3.2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A partir do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001, o poder público e a opinião civil direcionaram suas preocupações para a redução do consumo de eletricidade por meio de equipamentos, edificações e hábitos de uso mais eficientes. Entende-se por eficiência energética a capacidade de transformar menor quantidade de energia possível para a geração da máxima quantidade de trabalho possível (CHUNG et al., 2006, p.2).

O entendimento de como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores das faturas de energia elétrica, emitidas mensalmente pelas concessionárias, é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de *retrofit* com foco na eficiência energética. A partir de informações de consumo (kWh) e demanda (kW) é possível concluir os hábitos e consumo de determinada instalação: comercial, residencial ou industrial. Tal resultado é fundamental para o estabelecimento da relação contratual entre o cliente e a empresa concessionária.

A explicação de definições e conceitos a seguir apresenta noções básicas sobre as formas de tarifação e se baseou no “Manual de tarifação de da energia elétrica” publicado pela PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e na resolução 456 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, publicada no Diário Oficial em 29 de novembro de 2000.

Simplificadamente, energia elétrica é o produto da potência elétrica pelo intervalo de tempo de utilização de um equipamento ou de funcionamento de uma instalação (residencial, comercial ou industrial). Já a potência é a quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo. A potência vem escrita nos manuais dos aparelhos, sendo expressa em watts (W) ou quilowatts (kW), que corresponde a 1000 watts. Todo equipamento possui uma determinada potência que é o quanto ele necessita de energia para operar em determinada condição que é chamada de condição nominal.

O consumo de energia elétrica é dado pela quantidade de potência elétrica (kW) consumida em um intervalo de tempo (kWh) ou em pacotes de 1000 unidades (MWh). No caso de um equipamento elétrico o valor é obtido através do produto da potência do equipamento pelo seu período de utilização.

A definição de alguns horários é fundamental para a definição da fatura de energia elétrica. Desta forma, saber apenas o consumo de energia elétrica não é o suficiente para definir o valor a ser cobrado. Primeiramente, o horário de ponta é o período de 3 horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrica e geralmente apresentam preços mais elevados. Logo, o horário fora de ponta corresponde às demais 21 horas do dia, que não sejam referentes ao horário de ponta. Há também o período seco que é compreendido pelos meses de maio a novembro (7 meses) que geralmente é um período com poucas chuvas e assim as tarifas deste período apresentam valores mais elevados. Por fim, o período úmido é compreendido pelos meses de dezembro a abril (5 meses) e geralmente apresenta mais chuvas.

Portanto, a tarifa é o preço da unidade de energia elétrica (R\$/MWh) e/ou da demanda de potência ativa (R\$/kW). Já a fatura de energia elétrica é a nota fiscal que apresenta a quantia total que deve ser paga pela prestação do serviço público de energia elétrica, referente a um período especificado, discriminando as parcelas correspondentes.

Energia elétrica, definida anteriormente, é composta de duas parcelas distintas: energia reativa e energia ativa. A energia ativa é responsável pela execução de tarefas, enquanto que a energia reativa é a responsável pela formação de campos magnéticos, necessário ao funcionamento de alguns aparelhos que possuem motor ou indutor. Para melhor compreender a ocorrência de energia reativa em um sistema, visualize a figura abaixo, Figura 3. 2, onde um vagão é tracionado para se deslocar sobre os trilhos por ação de uma força não paralela à direção do deslocamento.

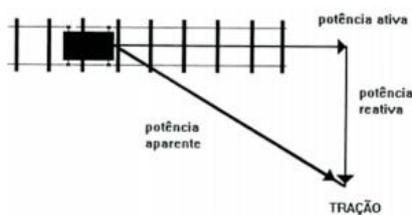


Figura 3. 2 - Triângulo de potência (PROCEL, 2010).

Logo, podemos definir o fator de potência (FP) como numericamente igual à razão entre a potência ativa e a potência aparente como mostrado na Equação 3.4.

$$FP = \frac{\text{Potência ativa (kW)}}{\text{Potência reativa (kVA)}} \quad (3.4)$$

O valor encontrado do FP representa um índice de verificação do desempenho de um sistema elétrico. Os equipamentos elétricos que possuem alto fator de potência, liberam o sistema elétrico para transportar mais energia ativa (kW). Pela legislação vigente conforme DECRETO n. 479 de 20/03/92 o fator de potência das instalações elétricas deve ser mantido sempre o mais próximo possível de 1,0.

4 CONCEITOS SOBRE *RETROFIT*

4.1 ASPECTOS GERAIS

Restauração, reforma e *retrofit* são tipos de intervenção que visam a reabilitação nos diferentes níveis de degradação. Os objetivos são o que diferenciam os diferentes processos de intervenção, porém os limites não são perfeitamente delimitados. A restauração é um conceito muito utilizado em patrimônios históricos, onde a imagem e concepção original não podem ser alterados. Na reforma tem-se como meta restituir algo a sua condição original de funcionamento, porém não há o compromisso em manter as características originais. E o *retrofit* é uma combinação dos dois, uma vez que a modernização tecnológica de um edifício ou sistema de ar condicionado não altere suas principais características (GUIMARÃES, 2014).

O conceito de *retrofit* (“retro”, do latim, significa movimentar-se para trás e *fit*, do inglês, adaptação, ajuste) surgiu ao final dos anos 90 nos Estados Unidos e na Europa. Sua origem foi na indústria aeronáutica e o termo *retrofit* era usado para se referir a modernização de componentes das aeronaves. Em seguida o conceito ganhou espaço em outros ramos, como o da construção civil, tendo foco na modernização e atualização de edifícios (VALE, 2006).

O objetivo do *retrofit* é a modernização tecnológica de componentes arquitetônicos, mecânicos ou elétricos, de forma que melhore o conforto, segurança e funcionalidade para os usuários, aumente a eficiência energética dos equipamentos e aumente sua vida útil. Um bom desempenho energético deve equilibrar fatores com iluminação, climatização, ventilação e acústica. Logo, o *retrofit* leva em consideração características, como material e vida útil, de vários componentes prediais como pisos, luminárias, elevadores, ar condicionado, automação, fachadas, pavimentação, entre outros. (GUIMARÃES, 2014).

Segundo Guimarães (2014), o conceito de *retrofit* vem ganhando espaço no mercado brasileiro, uma vez que a necessidade de modernização de edifícios e seus componentes cresce com o passar dos anos. Além de que a preocupação com a sustentabilidade torna relevante o desenvolvimento de metodologias que permitam a avaliação da eficiência dos materiais empregados nos processos de *retrofit*. Esse caráter sustentável é outro fator que contribui para sua disseminação, uma vez que ao modernizar os componentes possibilita a inserção de novas tecnologias sustentáveis, tornando-os ambientalmente amigáveis.

4.2 RAZÕES PARA O RETROFIT

Instalações que apresentarem de alguma forma uma operação onerosa acabam consumindo mais energia e não fornecem o conforto e qualidade adequados para os ocupantes do edifício, assim são passíveis de “retrofit”. Os principais candidatos a *retrofit* são: edifícios comerciais, hotéis, hospitais, supermercados, shopping centers e instalações industriais.

A ideia do *retrofit* é muito vantajosa e por consequência é simples justificar a sua aplicação. Um dos principais motivos para tal é a proposta de adequar tecnologicamente o edifício e aproveitar a infraestrutura já existente para aumentar a sua vida útil. A incorporação dos avanços tecnológicos permite que as instalações sejam integradas e automatizadas, afim de simplificar, aumentar o controle da gestão do edifício, redução do consumo de energia e dos gastos de maneira geral.

Uma grande vantagem de se aplicar o *retrofit* é a obtenção da Certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que de acordo com *Green Building Council Brasil* (2014) é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, que possui o objetivo de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações. A certificação LEED propõe que o edifício economize despesas e recursos, enquanto promove conceitos como sustentabilidade e energia limpa.

Ao se adotar os critérios da certificação o investidor terá benefícios econômicos, sociais e ambientais. Nos benefícios estão inclusos diminuição dos custos operacionais, valorização do imóvel, modernização do edifício, aumento do bem-estar dos usuários, redução do consumo de energia e água, uso de tecnologias de baixo impacto ambiental, entre outros, estão entre as vantagens de se investir na obtenção do certificado.

Dados de 2006 do *United States Green Building Council* (USGBC) mostram que a participação dos Estados Unidos em projetos com certificação LEED está crescendo com os incentivos de seu governo. A abaixo ilustra quem tem ganhado espaço no âmbito sustentável do certificado LEED (HERNANDES e DUARTE, 2007).

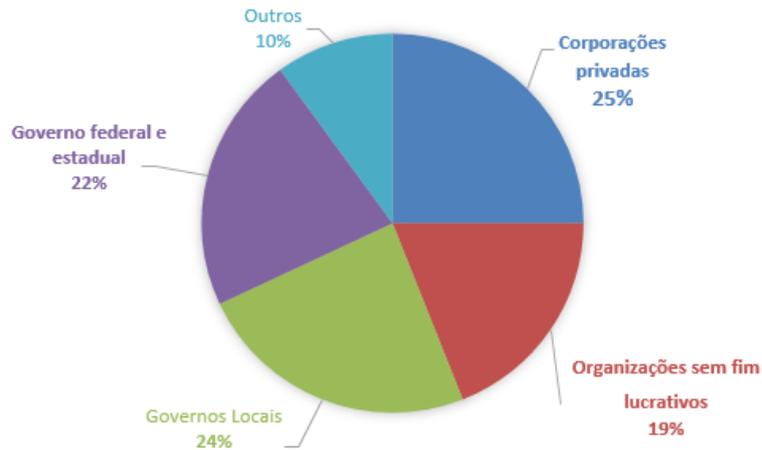


Figura 4. 1 - Usuários do LEED (HERNANDES e DUARTE, 2007).

Um dos casos mais famosos e completos de *retrofit* é o do *Empire State Building* (ESB) na cidade de *Nova York* nos Estados Unidos. O projeto que ainda está em execução irá possibilitar a economia de energia em até 38%, economia de custos anual de \$4,4 milhões de dólares e diminuição em 105.000 toneladas de emissões de carbono pelos próximos 15 anos (NESLER, 2013). O *retrofit* do ESB está modernizando as áreas de arquitetura, iluminação, automação e climatização, onde poucas alterações são visíveis por fora do edifício ou por visitantes.

Apesar de ser um conceito em crescimento, no Brasil já existem diversos casos de *retrofit*, como o caso do edifício sede dos Correios de Salvador. A fabricante *Johnson controls* foi responsável por fornecer os equipamentos utilizados na modernização do sistema atual de ar condicionado. Para tal, três resfriadores de líquido de condensação a água, totalizando a carga térmica em 1500 TR, substituíram a central de água gelada que estava operando a 24 anos. Além da adição de novos *chillers*, houve também a substituição dos antigos *fan-coils* e a implantação de automação. A aplicação de *retrofit* no sistema de ar condicionado possibilitou a adequação do edifício aos padrões de preservação ambiental, atendendo as exigências das normas NBR 16401 e pôde receber a certificação do LEED.

Outro caso de *retrofit* é o do shopping Casa Park, localizado em Brasília. Em 2011 iniciou-se o projeto de modernização do sistema de climatização, onde três *chillers* de 200 TR cada foram substituídos por um *chiller* de 600 TR. De acordo com a fabricante Trane, responsável pelo *retrofit*, houve redução de 30% nos gastos de energia e o *payback* do investimento do *retrofit* seria de 3 ano.

4.3 APLICAÇÕES DE RETROFIT

4.3.1 Arquitetônico

O termo *retrofit* arquitetônico é uma solução de revitalização das áreas urbanas e atualização das edificações para infraestruturas obsoletas. É uma prática que foca na ideia de maximizar a vida útil através da incorporação de avanços tecnológicos e da utilização de materiais e processos de última geração para a readequação do edifício às necessidades dos novos usuários. É uma saída que busca valorizar velhas edificações, como patrimônios históricos, além de ser mais econômico e eficiente do que soluções drásticas como a demolição. Países como Itália e França chegam ao índice de 50% das obras destinadas a esta modalidade (MORAES e QUELHAS, 2012). A importância dos processos de *retrofit* é evidenciada na preservação dos valores arquitetônicos e paisagísticos das cidades. (VALE, 2006). Logo, é considerado uma ferramenta de intervenção limpa e confiável que possibilita a reocupação segura abrangendo os aspectos históricos, econômicos e ecológicos. Desta forma, tem uma aplicabilidade bem ampla, como: áreas hospitalares, residenciais, hotelaria, escolares, etc. (MORAES e QUELHAS, 2012).

4.3.2 Iluminação

A iluminação é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica em edificações, principalmente naqueles não condicionados artificialmente. Instalações desta natureza permitem uma maior facilidade de redução de consumo, correção de eventuais falhas no sistema e nos níveis de iluminação. O estudo do sistema de iluminação artificial a partir dos equipamentos já instalados e das iluminâncias permite a avaliação da possibilidade de realização de *retrofit* por meio da adoção de tecnologias energeticamente eficientes ou pelo aumento do uso de iluminação natural no ambiente. A alteração de sistemas ineficientes de iluminação pode ser responsável por reduções significativas de energia e poder ter uma economia de até 40% no consumo total da edificação. (GHISI, 1997)

4.3.3 Acústico

O conforto acústico é um dos quesitos fundamentais para a sensação de bem-estar, de tranquilidade emocional, de amenidade nos momentos de trabalho ou de repouso, pois sem este conforto as pessoas são submetidas a maiores distrações. Assim sendo, existe uma relação direta entre a produtividade e os níveis sonoros no ambiente. A maioria dos *retrofits* acústico foca na utilização de materiais que irão tratar acusticamente o ambiente ou bloquear a transmissão das ondas sonoras (BARRIENTOS, 2004).

4.3.4 Climatização

Os sistemas de ar condicionado são responsáveis por parte considerável nos gastos energéticos, nos Estados Unidos são responsáveis por 43% do consumo e no Canadá e Reino Unido o consumo passa

de 60% (SOOKOOR et al, 2012). Consequentemente as tecnologias para climatização tiveram grande crescimento nos últimos anos, tendo foco na área de eficiência energética e sustentabilidade. A implantação de sistemas de automação, variadores de frequência e gases não agressores a camada de ozônio são alguns dos exemplos de tecnologias que beneficiam as duas áreas de grande crescimento. A Figura 4. 2 deixa claro a importância de investimentos em novas tecnologias para aumentar a eficiência energética (CYPRESS ENVIROSYSTEMS, 2010).

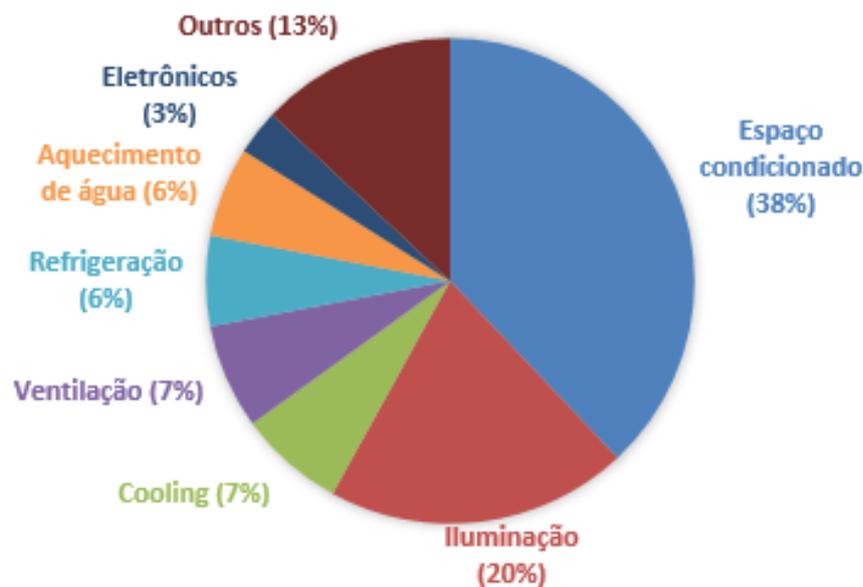


Figura 4. 2 - Consumo de prédios comerciais (CYPRESS ENVIROSYSTEMS, 2010).

Vários fatores devem ser levados em conta ao se aplicar o *retrofit* e primeiramente deve-se observar a necessidade de aplicar no sistema de ar condicionado. Estes possuem uma vida útil entre 15 e 25 anos, se propriamente cuidado, porém durante esse período é possível que os equipamentos apresentem sinais de que mudanças são necessárias. As mudanças podem ser mais invasivas ou menos invasivas, onde depende do nível da necessidade do sistema.

As mudanças mais invasivas envolvem a substituição de componentes que se fadigaram ou se tornaram obsoletos por novos que apresentem tecnologias mais elevadas. A vida útil do sistema como um todo pode aumentar significativamente, porém um estudo sobre a viabilidade econômica deve ser feito antes da troca, assim como uma avaliação técnica sobre a real carga térmica do edifício para evitar sistemas mal dimensionados. Com o passar dos anos o edifício pode ter sofrido mudanças, como quantidade de pessoas, quantidade de eletrônicos ou aplicação de *retrofits* arquitetônicos e lumínico e esses fatores podem aumentar ou diminuir a real carga térmica do sistema.

As mudanças menos invasivas envolvem a implantação de sistemas como de controle digital ou sistemas de volume de ar variável onde os equipamentos existentes não sofrerão mudanças físicas. Estão sendo mundialmente aplicadas em novas construções e são considerados essenciais para se ter um ambiente econômico e sustentável (PIPER, 2003).

Após anos de funcionamento a CAG apresentará sinais de desgaste. O nível de estrago dos componentes pode variar conforme as condições de operação e na ocorrência ou não de manutenções preventivas ao longo dos anos. Elevação nos custos operacionais para manter o pleno funcionamento do sistema é uma consequência natural da deterioração. As manutenções corretivas também tendem a ser mais recorrentes, conforme o equipamento se aproxima final de sua vida útil.

Ao se aplicar *retrofit* no sistema de climatização espera-se que haja aumento em sua vida útil como um todo. Apesar dos componentes como bombas e *chillers*, por exemplo, terem diferentes vidas, o aumento na eficiência mecânica de um componente pode influenciar diretamente na operação dos demais, diminuindo o seu desgaste.

Outra consequência importante do *retrofit* é a redução de custos operacionais, uma vez que a modernização do sistema diminuirá a frequência de manutenções corretivas.

4.4 ALTERNATIVAS PARA *RETROFIT* DE CLIMATIZAÇÃO

Existem diversas técnicas ao se aplicar o *retrofit* de climatização, onde a intervenção pode ser mais invasiva ou menos invasiva ao sistema original de água gelada. A mais invasiva consiste na substituição de componentes do sistema que serão trocados devido à baixa eficiência energética e necessidade de modernização tecnológica, são mais comumente substituídos ao chegar perto do final de seu ciclo de vida. Essa substituição pode envolver um ou vários componentes do sistema de climatização, porém uma avaliação técnica e econômica deve ser feita para averiguar a necessidade e possibilidade de *retrofit*. O *retrofit* menos invasivo consiste na modernização com a adição de novas tecnologias, de forma que essas ações não alterem nenhum componente existente no sistema. As seções 4.4.1 a 4.4.6 informam algumas das principais ações ao se aplicar *retrofit* em sistemas de climatização (MATOS, 2008).

4.4.1 Substituição de componentes

De acordo com a revisão de literatura, a substituição de componentes da CAG é o método mais comum de *retrofit* de climatização. A necessidade de substituição dos componentes da CAG pode ser causada por diversos fatores, como por exemplo: queda significativa de desempenho e/ou falhas

recorrentes. Com o passar dos anos, os equipamentos tendem a se deteriorar, diminuindo a eficiência e aumentando os custos operacionais.

4.4.2 Termoacumulação

O conhecimento e a utilização de sistemas de termoacumulação de água gelada são relativamente antigos no setor de condicionamento de ar e apresentam utilização ampla e grande importância. A termoacumulação pode ser de frio ou calor tem como finalidade principal a transferência no tempo de cargas elétricas que são indesejáveis em determinados momentos, e que podem ser manuseadas com relativa facilidade e conveniência nos horários de ociosidade do sistema elétrico (MATOS, 2008).

Uma possibilidade para suprir os sistemas de água gelada nos horários de pico de temperatura e também horário de ponta em relação ao consumo de energia é justamente a termoacumulação. A energia é mais cara nos horários de ponta, portanto a ideia é diminuir o consumo de energia nesse período, utilizando frio acumulado em horários em que o sistema não está operando para o conforto.

Os mais conhecidos sistemas de termoacumulação são sistemas de armazenamento de calor latente e calor sensível (TICONA, 2013). A operação com calor latente consiste no acúmulo de água gelada para resfriamento, onde parte da água gelada produzida é bombeada para o tanque de acumulação e quando necessário a mesma é bombeada do tanque para o sistema e posteriormente retorna novamente para o tanque. A termoacumulação com calor sensível opera com o acúmulo de gelo no tanque, onde pode ser armazenado em cápsulas cheias de água, mais conhecidas como *iceballs*, e com a passagem de água a temperaturas negativas permite com que a água contida nas *iceballs* congele. O gelo também pode ser acumulado em serpentinas, onde a água do tanque só é usada somente para acumular energia e o fluido dentro do tubo é responsável pela passagem absorção ou liberação do calor (TICONA, 2013). Como consequência a água que vai para o sistema é resfriada ao passar pelo tanque. A termoacumulação possibilita o desligamento *chiller* ou redução de sua carga, reduzindo assim o consumo energético. A Figura 4. 3 ilustra o funcionamento de termoacumulação em sistemas de água gelada.

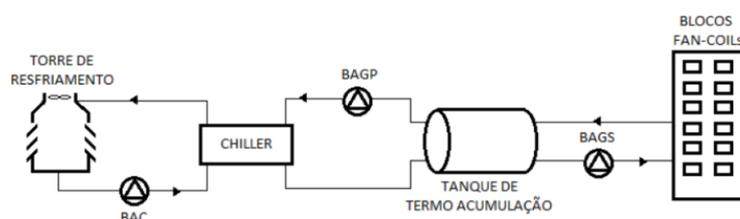


Figura 4. 3 - Termoacumulação em sistemas de água gelada (TICONA, 2013).

4.4.3 Recuperação do calor de condensação

Recuperação do calor de condensação é um processo de reuso da água e do calor sensível contido no condensado descarregado. O gás quente do compressor seria usado para o aquecimento da água e a mesma aquecida pode ser usada em diversas aplicações, como: aquecimento do ar. Desta maneira, o custo do aquecimento é quase nulo, já que o calor do condensado seria liberado para o meio externo. Portanto, as vantagens podem ser enumeradas em cadeia: o reuso do condensado quente leva à uma redução do consumo de combustível exigido e causará uma menor poluição, o processo de reutilizar a água e por consequência apresenta um impacto positivo no meio ambiente além da considerável economia de energia. Neste caso, o investimento inicial consiste no “recuperador” que nada mais é que um trocador de calor entre o compressor e condensador com a função de aproveitar a alta temperatura dos gases na descarga do compressor (MATOS, 2008).

4.4.4 Volume de ar variável

O sistema de volume de ar variável (VAV) é um tipo de distribuição de ar aos diversos ambientes a serem condicionados. De maneira geral, a distribuição é realizada através de tubulações, fabricadas geralmente em chapas metálicas e denominadas normalmente de sistema de dutos ou rede de dutos. Sendo mais específico, o VAV é aquele que promove a circulação de ar satisfazendo basicamente a temperatura do ambiente através do controle do montante de fluxo de ar, volume insuflado, com a temperatura de insuflamento do ar mantida constante. Tais características dos sistemas VAV fazem variar a vazão total de ar em função da demanda térmica. Logo, que o seu funcionamento eficaz é preciso que haja um controle preciso das pressões e vazões de ar tanto na Unidade Central de Tratamento de Ar, quanto nas Unidades Terminais. É um sistema capaz de realizar boas economias de energia, já que a vazão pode ser diminuída devido a redução da carga térmica exigida e assim reduz a carga de resfriamento da serpentina (MATOS, 2008).

4.4.5 Sistema de controle digital (DDC)

Os sistemas de controle digital direto (DDC) são usados em muitas instalações de ar condicionado e também incorporados as mesmas devido a aplicação de *retrofit*. O DDC tem a função de monitorar o funcionamento do sistema de ar condicionado. As principais funções são identificar a localização de pequenos componentes como válvulas e grelhas e controlar o funcionamento de ventiladores, bombas e *chillers*, onde possibilita o domínio sobre a velocidade e capacidade de carga dos equipamentos no sistema e o controle sobre os horários de funcionamento. Ao se aplicar o DDC deve-se levar em consideração o material utilizado, como sensores, atuadores, cabos, fios e conduítes, em que podem representar grande parcela do valor total (MATOS, 2008).

O DDC pode ser aplicado em residências, prédios comerciais e indústrias, onde o principal objetivo é controle sobre o sistema e maior eficiência energética. Outra grande vantagem ao se instalar sistemas de automação em sistema de ar condicionado é a possibilidade de maior acumulo de créditos para obtenção da certificação LEED (COOPERMAN et al, 2012).

4.4.6 Reaproveitamento de calor em sistema com ar externo total

O reaproveitamento de calor em sistema com ar externo total visa diminuir o consumo energético ao reduzir a carga térmica do ar externo de renovação. Os regeneradores de calor têm como objetivo realizar trocas de calor do ar frio retirado da sala condicionada com o ar quente obtido do ambiente externo, isso diminui a temperatura do ar exterior. O consumo energético irá reduzir conseqüentemente, uma vez que o equipamento de climatização vai retirar uma menor quantidade de calor do ar da mistura. A roda entálpica é um dos equipamentos utilizados para recuperar energia e sua eficiência é função das condições operacionais de umidade e temperatura (PIMENTA e VALVERDE, 2014). A Figura 4.4 ilustra o funcionamento de uma roda entalpia.

5 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

5.1 VISÃO GERAL DA METODOLOGIA PROPOSTA

O presente capítulo é destinado à apresentação da metodologia proposta para a aplicação de *retrofit* em sistema de água gelada. A metodologia a seguir é baseada em Barrientos e Qualharini (2004) e Moreira (2010). O principal objetivo da metodologia deste projeto é criar uma série de medidas, o mais abrangente possível, que conduzam a uma elaboração de um projeto final para aplicação de *retrofit* de climatização.

Um fluxograma é uma forma de representar de maneira encadeada as etapas da metodologia. Desta maneira, a Fig 5.1 mostra esquematicamente e de forma genérica a metodologia proposta para elaboração de um *retrofit* em sistema de água gelada. A visão macro da rotina de passos é composta por etapas que serão detalhadas ao decorrer do capítulo.

Primeiramente, deve haver uma demanda pela necessidade de melhoria do sistema de climatização do edifício. Desta forma, o responsável pelo edifício a receber o “*retrofit*” deverá procurar a ajuda de um especialista na área com um problema inicial. Tais problemas podem ter de diversas naturezas, uma vez que pode ser: degradação dos componentes, baixo desempenho do sistema, gastos excessivos com manutenções e com energia, necessidade de otimizar o sistema etc.

A partir do “Problema Inicial” (Fig. 5.1), o responsável pelo edifício provavelmente terá metas (“Metas do Cliente, Fig. 5.1) com alguns objetivos específicos a serem atingidos e algumas limitações. É nesta etapa em que o cliente deve esclarecer as intenções dele com o *retrofit* para restringir o leque de opção das possíveis soluções. Existem muitas razões para realizar *retrofit* em um edifício e torná-lo ambientalmente amigável, econômico e tecnologicamente moderno, no entanto na prática a melhor solução para isso vai depender do cliente. Limitações de prazo, orçamento são importantes na hora de fechar um contrato e o contrato é elaborado a partir de um projeto conceitual que leva em consideração a meta do cliente. Um cliente pode ter como meta apenas a economia de energia, ou apenas adaptar o edifício para obter uma certificação de sustentabilidade, ou tem a intenção de realizar uma modernização em um rápido período de tempo, ou uma modernização barata, ou ainda uma combinação de metas. Por isso, é fundamental entender e registrar a meta do cliente pois será um limitante de extrema importância.

Feita a identificação clara das metas do cliente, o responsável pelo *retrofit* deve iniciar o “Diagnóstico do Sistema de Água Gelada” (Fig. 5.1). Este diagnóstico deve ser feito de forma muito criteriosa e ampla, em razão de que será a fonte geradora dos dados que servirão de suporte para a

confecção do projeto conceitual. A partir do levantamento dos dados, o responsável pelo *retrofit* pode identificar alguma incoerência ou impossibilidade na meta do cliente, por este motivo é primordial uma “Confirmação da Meta” (Fig 5.1) para seguir na metodologia. Se a meta permanecer, pode prosseguir para a próxima etapa. Todavia, se a meta for alterada, é preciso fazer uma revisão dos dados já que possível que surja a necessidade de levantar algo a mais que não tenha sido gerado inicialmente.

A etapa de “Análise dos Dados” (Fig. 5.1) é o momento em que os dados são tratados para que o executor do projeto chegue a conclusões relevantes que serão utilizadas para a confecção dos projetos conceituais. Com base nas informações recebidas da coleta de dados, devem ser feitos alguns cálculos para determinar parâmetros de desempenho e carga térmica. Além dos cálculos, esta etapa gera conclusões qualitativas de limitações físicas que irão restringir algum possível projeto conceitual de *retrofit*.

Depois do tratamento dos dados o responsável por elaborar o projeto de *retrofit* provavelmente já possui informações suficientes para elaborar algumas soluções. A formalização destas soluções vai gerar alguns “Projetos Conceituais” (Fig 5.1).

Concluído o “Projeto Conceitual” será possível estimar o potencial de economia produzida pelas alterações no sistema, que deverá ser mais eficiente e mais sustentável, e a consequente desoneração dos custos operacionais. Cada projeto apresentará características com diferentes graus de complexidade de execução, custo e tempo. A partir destes critérios, cabe ao avaliador eleger dentre os possíveis projetos o que mais se adequam as necessidades propostas pelo cliente. No fluxograma da Fig. 5.1 esta etapa foi definida como “Avaliação dos Projetos Conceituais”. Desta forma, esta etapa deverá fornecer informações suficientes para a “Tomada de decisão” (Fig. 5.1).

Por fim, depois que o avaliador escolheu um projeto conceitual deve-se desenvolver e aprofundar a solução. Desta forma, surge o “Projeto Final” (Fig. 5.1). O responsável também deve elaborar um cronograma de trabalho para atingir o objetivo com maior sucesso. Depois do “Projeto Final” concluído está pronto para a “Execução”.

Como explicado anteriormente, o fluxograma macro da metodologia de *retrofit* para aplicação em sistema de água gelada é composto por vários blocos. A seguir, entraremos em mais detalhes nas etapas “Diagnóstico do sistema de água gelada”, “Análise dos dados” e “Avaliação dos projetos conceituais”.

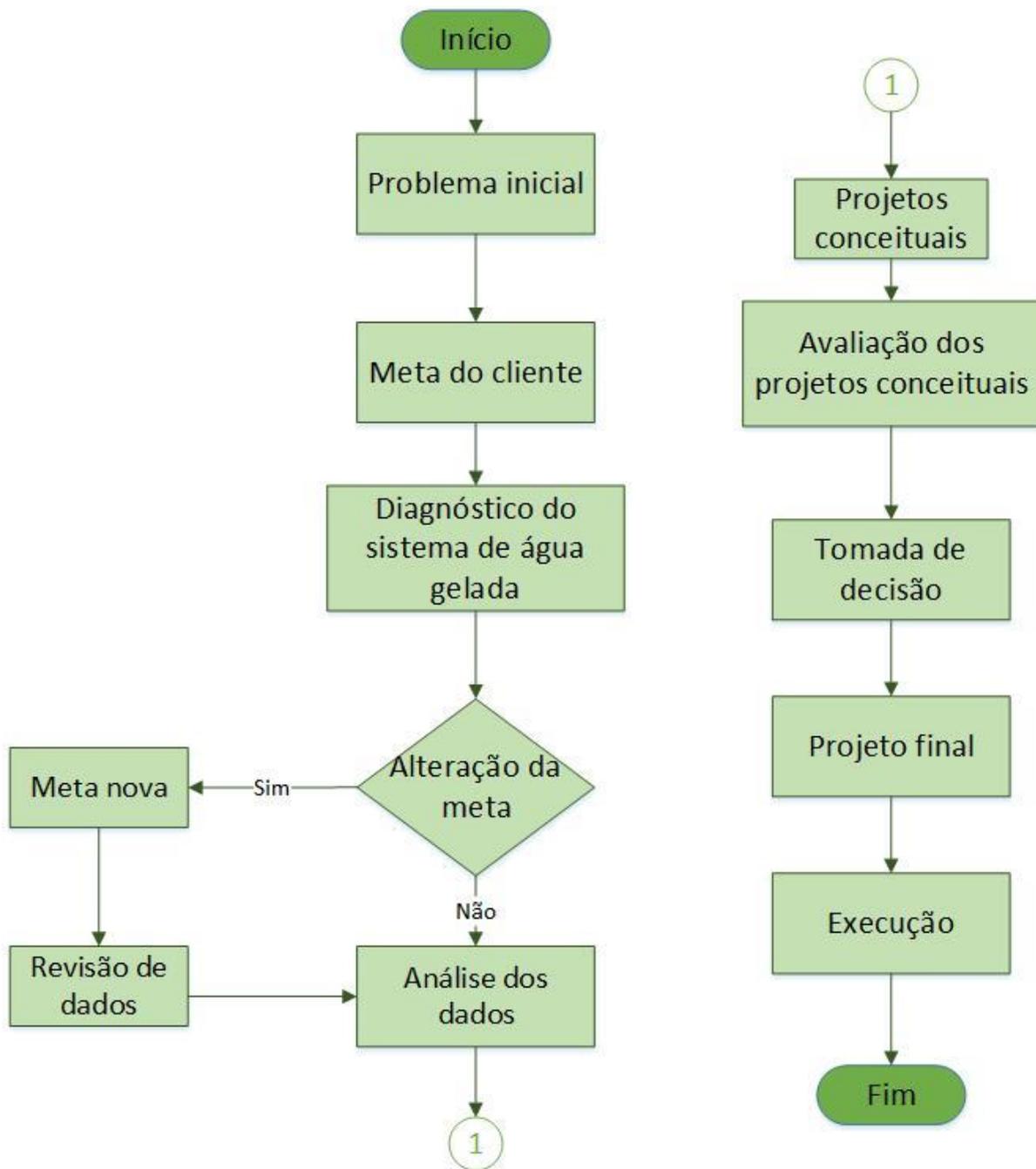


Figura 5. 1 - Fluxograma macro da metodologia proposta.

5.2 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ÁGUA GELADA

O “Diagnóstico do Sistema de Água Gelada” (Fig. 5.2) é o processo destinado ao levantamento dados. Para isso quatro etapas serão fundamentais: vistoria, pesquisa documental, questionário e medições físicas. As etapas podem ser feitas simultaneamente e em qualquer ordem. No entanto,

recomenda-se que a vistoria seja a primeira para que o engenheiro responsável pelo levantamento de dados tenha uma noção maior da instalação.

O objetivo deste diagnóstico é ter como *output* os seguintes dados: dados qualitativos da instalação, dados qualitativos dos equipamentos, dados técnicos dos componentes críticos, projeto de climatização, projeto arquitetônico, histórico das contas de energia, histórico de manutenção e informações do questionário.

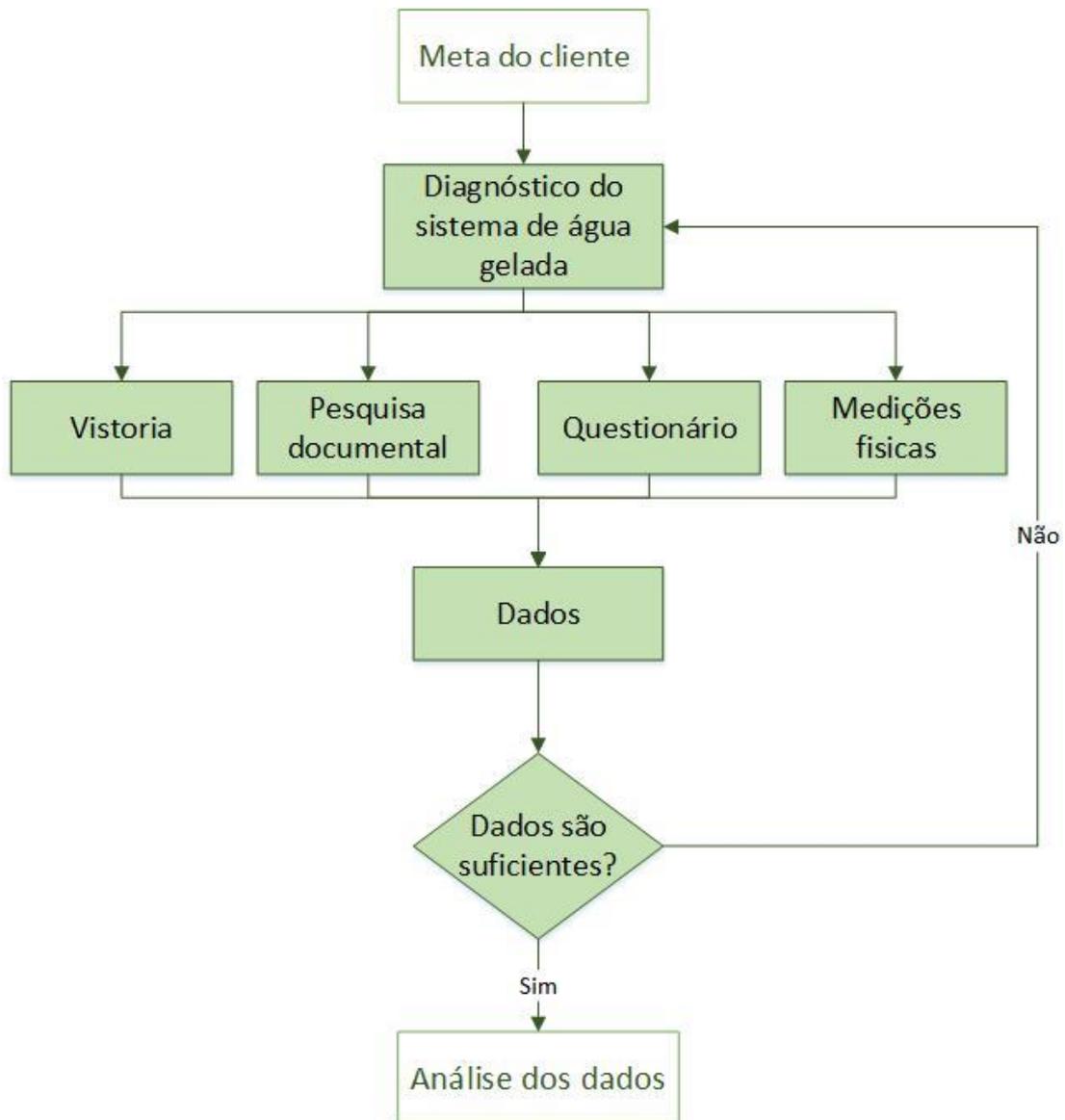


Figura 5. 2 - fluxograma diagnóstico do Sistema.

5.2.1 Vistoria

A vistoria é a primeira atividade do profissional responsável pelo *retrofit*. Esta etapa consiste em coletar dados qualitativos dos componentes críticos do sistema de água gelada, assim como do ambiente em que se encontra. Para fins didáticos, os componentes críticos para este trabalho são os *chillers*, as torres de resfriamento, as bombas e os *fan-coils*. Além do mais, é importante vistoriar o sistema de automação. No entanto, numa aplicação real do método, faz necessário analisar também outros componentes como: válvulas, tubulações e dutos.

A vistoria é destinada a entender melhor o sistema de maneira prática e subjetiva. É nesta etapa que a opinião do profissional acerca das condições do sistema e sobre o que foi visto se torna fundamental para as futuras análises. No entanto, ela deve ser feita de forma orientada a fim de levantar o máximo de informações úteis sobre as condições do sistema. Portanto, é importante que o engenheiro responsável tenha uma escala para se basear e quantificar a sua avaliação. A escala sugerida para este trabalho varia entre 0,0 e 1,0, em que 1,0 é sempre o caso mais otimista. Por simplicidade, apenas um nível intermediário será considerado, sendo este 0,5. Por exemplo, se o equipamento analisado estiver funcionando de acordo com as características esperadas, deve-se avaliar com a nota 1,0. Se o equipamento apresentar níveis de corrosão, deve-se atribuir outra nota menor que 1,0 para este critério.

As principais características a serem observadas são: funcionamento adequado, níveis de corrosão, níveis de vazamento, manutenção, ruído e vibração, além dos dados de fabricante, modelo e quantidade. É fundamental que o engenheiro responsável tenha um senso crítico na interpretação dos critérios para o diagnóstico.

Funcionamento: neste caso, o avaliador só tem duas opções de pontuação, 0,0 ou 1,0. Se o equipamento estiver funcionando a nota atribuída é 1,0 e se o equipamento não estiver funcionando devido a avarias é 0,0. É importante salientar que um componente pode estar simplesmente desligado e nesta situação cabe ao avaliador verificar tal informação.

Níveis de corrosão: uma avaliação 0,0 ou o pior caso de corrosão deve ser entendida como uma corrosão que se processa na maior parte da superfície dos equipamentos sendo uma corrosão generalizada e de fácil localização. Já a corrosão com grau regular ou 0,5 deve ser pontual e inspeção visual detalhada deve ser feita no equipamento para sua identificação. Por fim, 1,0 ou melhor caso de corrosão pode apresentar a presença de degradação do metal, porém em quantidades bem pequenas e sua identificação deverá ser difícil.

Níveis de vazamento: o grau 1,0 ou bom é interpretado como a ausência de líquidos no piso ou em volta do equipamento. O grau 0,5 ou regular pode ser identificado pela presença de umidade ou

baixas quantidades de líquido ao redor do equipamento, pois o gotejamento deve ser lento e consequentemente sua identificação demanda observação por um maior intervalo de tempo. Já o grau 0,0 ou ruim possui gotejamento de fácil identificação, uma vez que ao redor do equipamento é comum encontrar poças e a frequência das gotas será grande.

Níveis de ruído e vibração: a nota 0 ou ruim deve ser atribuída quando for identificado ruídos que não forem característicos do funcionamento normal dos equipamentos, esses ruídos podem ser identificados com facilidade. A nota ruim também deve ser atribuída se for identificado vibrações excessivas, caso o equipamento esteja se movimentando muito se comparado com outros de mesma ou maior capacidade presentes no sistema, pode ser um indício de que há desbalanceamento, falta de rigidez mecânica, folga, etc. (ARCO-VERDE, 20008). Caso não seja identificado vibrações excessivas e ruídos não característicos deve-se atribuir a nota 1.

O parâmetro de ruído/vibrações não será atribuído a nota 0,5 uma vez que utilizando somente os sentidos humanos para seu estudo não é suficiente para classificar o funcionamento do equipamento como regular. Caso ruídos estranhos ou fortes vibrações sejam identificados é um indicativo de que o funcionamento do equipamento se encontra em uma situação adversa e preocupante. Contudo, é importante que o profissional tenha familiaridade com os componentes presentes em sistemas de água gelada, uma vez que equipamentos de grande capacidade apresentam vibrações mais fortes naturalmente e não são indícios de avaria. Como o foco do presente projeto não é a análise de vibrações excessivas, somente a nota será atribuída. Porém, assim que indicativos de ruídos e vibrações se apresentarem é recomendável que interrompa a operação do equipamento para manutenção corretiva, reduzindo assim a possibilidade de danos permanentes.

Manutenção: quando existe um controle de manutenções preventivas é uma prática comum encontrar uma folha anexada ao equipamento. Desta forma, se o avaliador encontrar esta folha e a data da última manutenção não for recente, então a nota a ser atribuída é 1,0 ou um bom grau de manutenção. Caso a data não seja recente, intervalo maior do que dois meses, é indício de que as manutenções não estão sendo feitas de forma correta, neste cenário dá-se nota 0,5 ou regular. Se não houver folha de controle, o avaliador deve investigar com algum responsável pela instalação a frequência de manutenções. Se for constatado que não há, então a nota 0 ou ruim deve ser atribuída. É importante atentar-se que a manutenção esta interligada com os outros critérios. Por exemplo: quando um equipamento apresenta níveis de vazamento, mesmo que pequeno, aumentará as chances de corrosão por oxidação. Isso pode ser um indício de que a manutenção do mesmo não está ocorrendo com frequência ideal.

A seguir, a tabela 5.2 ilustra uma sugestão para resumir os dados que devem ser levantados na fase de vistoria de um equipamento.

Tabela 5. 1 - Vistoria de um equipamento

Equipamento			
Fabricante			
Modelo			
Vazão			
AMT			
Quantidade			
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			
Ruído/Vibração			
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			
Corrosão			
Manutenção			
Observações:			

A vistoria foca muito no levantamento dos dados dos equipamentos, no entanto também é importante que o engenheiro responsável pela mesma observe o sistema de automação e o estado da CAG como um todo.

5.2.2 Pesquisa documental

Na pesquisa documental é importante levantar o maior número de documentos possíveis, pois estes podem dar uma maior agilidade ao processo de investigação, já que diminui o número de levantamentos a serem feitos. No entanto, se não for possível adquirir qualquer documento sugerido, o método prevê uma solução alternativa que poderá ser levantado nas outras etapas do diagnóstico. A seguir, uma sugestão de documentos a serem coletados:

- Memorial técnico descritivo do projeto de climatização: é importante para verificar se a instalação está de acordo com as recomendações do projetista, além de conter dados da carga térmica de projeto. Este documento é usado como base comparativa, portanto se não for possível obter o mesmo continue com a metodologia.
- Planta do projeto de climatização: é fundamental para visualizar o sistema de climatização instalado no prédio, para fazer o levantamento dos equipamentos, para averiguar o caminho

da tubulação e para analisar a área livre disponível. Se não for possível obter tal documento, o engenheiro responsável pela aplicação de *retrofit* pode fazer as verificações na etapa de Vistoria.

- Plantas arquitetônicas das edificações atualizadas: é usado para revisão da carga térmica. Se não for possível obter tal documento, deve-se fazer medição das dimensões da área total climatizada.
- O *datasheet* dos equipamentos: é o documento em que é possível obter todas as informações a respeito das especificações técnicas dos equipamentos. Se não for possível obter tal documento, deve-se fazer este levantamento na vistoria e a partir do fabricante, modelo e número de série é possível adquirir o *datasheet* com o fabricante.
- Histórico de contas de energia da Concessionária: é o documento que informa o consumo real do sistema de climatização. Se não for possível obter tal documento, pode-se calcular o consumo de cada equipamento através da medição de tensão e corrente ao longo do dia.
- Contrato de manutenção: informam valores cobrados para manutenção do sistema de água gelada.
- Histórico de manutenção preventiva e corretiva: podem informam sobre a queda de desempenho do sistema ao longo do tempo.

A Tabela 5. 2 a seguir resume em um *check-list* os documentos a serem obtidos:

Tabela 5. 2 - *Check-list* de documentos

Nº	Lista de Documentos	Check-list
1	Memorial técnico descritivo do projeto de climatização	
2	Planta do projeto de climatização	
3	Plantas arquitetônicas	
4	Contas passadas de energia da Concessionária	
5	Contrato de manutenção do sistema de climatização	
6	Histórico de manutenção preventiva	
7	Histórico de manutenção corretiva	
8	<i>Datasheet Chiller</i>	
9	<i>Datasheet Torres de resfriamento</i>	
10	<i>Datasheet Bombas</i>	
11	<i>Datasheet Fan-coil</i>	
12	Outro:	
13	Outro:	
14	Outro:	

5.2.3 Questionário

Nesta etapa, o profissional deve elaborar um conjunto de perguntas referentes ao diagnóstico do sistema de água gelada. O objetivo do questionário é buscar informações relevantes ao *retrofit*, que podem ser observações pessoais dos entrevistados, além de dados que não podem ser encontrados na vistoria e na pesquisa documental.

O questionário deve ser direto e simples. O mais indicado é que seja aplicado ao proprietário do edifício, administrador, equipe de engenharia e equipe de manutenção. Durante a vistoria, indivíduos que possam fornecer informações relevantes à pesquisa deverão ser identificados para participar dos questionários. O questionário pode ser escrito ou oral, mas no caso deste último é necessário que haja um registro posterior.

Sugestão de perguntas a serem feitas:

1. Quando o sistema de água gelada entrou em operação?
2. Houve mudança de equipamentos no sistema de água gelada desde o início de sua operação?
3. Caso tenha respondido sim na questão anterior, quais?
4. Houve alterações arquitetônicas no edifício desde o ano que o sistema de climatização entrou em operação?
5. Caso tenha respondido sim na questão anterior, quais?
6. Houve mudanças no sistema de água gelada em relação ao memorial técnico descritivo do projeto de climatização?
7. Caso tenha respondido sim na questão anterior, quais?
8. Quais os horários de funcionamento do sistema de climatização?
9. Quais os horários de funcionamento do edifício?
10. O sistema de climatização atende a demanda de carga térmica do edifício?
11. Caso tenha respondido não na questão anterior, em quais horários do dia e épocas do ano o sistema de climatização não atende a demanda de carga térmica do edifício?
12. Houve aumento de carga térmica?
13. Caso não tenha um estudo válido de carga térmica, na sua opinião, quais são os motivos pelo aumento de carga térmica?
14. Existe um estudo válido de carga térmica atual?
15. Caso tenha respondido não na questão anterior, na sua opinião qual a carga térmica atual?
16. Existe equipamento (s) desativado (s)? Por que?
17. Caso tenha respondido sim na questão anterior, quais e desde quando?
18. Existe sistema de automação integrado com o ar condicionado?

19. Caso tenha respondido sim na questão anterior, como funciona a automação?
20. Há contrato de manutenção?
21. Caso tenha respondido sim na questão anterior, desde quando?
22. Algum equipamento apresenta problemas sistematicamente?
23. Caso sim para questão anterior, quais equipamentos?
24. Caso sim para questão anterior, quais tipos de problemas?
25. Os medidores locais apresentam valores confiáveis?
26. Caso tenha respondido não na questão anterior, quais medidores não são confiáveis?
27. Existe perspectiva de expansão futura?

5.2.4 Medições

As medições são extremamente importantes, uma vez que informam acerca de características físicas do sistema. Caso os projetos necessários não estejam disponíveis, as medições como dimensões de tubulações. No levantamento, planilhas devem ser usadas para registrar as características dos equipamentos como fabricante, modelo, quantidade, potência, entre outras características disponíveis. Nesta etapa, também são feitas medições com os devidos instrumentos que objetivam identificar o consumo atual e desempenho de cada componente.

Como o foco do presente trabalho é o estudo dos componentes considerados críticos em sistema de água gelada, somente estes serão considerados na Tabela 5. 3. Contudo, componentes como válvulas, rede de tubulação de água gelada e rede de dutos também deverão ser avaliados. A Tabela 5. 3 foi inspirada de acordo com o relatório de manutenção da empresa Service Engenharia de Manutenção.

Tabela 5.3 - Resumo de medições (SERVICE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO, 2015)

Componente	O que medir	Instrumentos de medição	Finalidade
<i>Chiller</i>	Temperatura da água gelada e água de condensação	Termômetro e sensor de temperatura do <i>chiller</i>	Verificar se as temperaturas estão ideais
	Tensão e corrente de cada compressor	Multímetro	Consumo em kWh
	Pressão de água gelada de entrada e saída	Manômetro	Verificar perda de pressão
Bombas	Pressão na saída da bomba	Manômetro (manovacuômetro)	Verificar se a pressão está ideal
	Vazão da água	Analizador de pressão na válvula de balanceamento	Verificar se a bomba está dentro de seu padrão de vazão
	Tensão e corrente	Multímetro	Consumo em kWh
<i>Fan-coil</i>	Vazão de insuflamento do ar	Anemômetro	Verificar se a vazão esta conforme especificado no catálogo técnico
	Temperatura do ar de insuflamento e retorno	Termômetro	Verificar se as temperaturas estão ideais
	Pressão de água gelada de entrada e saída	Manômetro	Verificar perda de pressão
	Temperatura de chegada da água gelada	Termômetro	Verificar se as temperaturas estão ideais
	Tensão e corrente	Multímetro	Consumo em kWh
Torre de resfriamento	Temperatura de entrada e saída da água de condensação	Termômetro	Verificar se as temperaturas estão ideais
	Tensão e corrente	Multímetro	Consumo em kWh

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

A “Análise de dados” é fundamental para o processo de interpretação dos dados coletados na etapa do “Diagnóstico do Sistema de Água Gelada”. As limitações físicas, o cálculo da carga térmica e a análise dos componentes críticos servirão de subsídio para a elaboração das soluções de *retrofit*. A Fig 5.3 ilustra o processo.

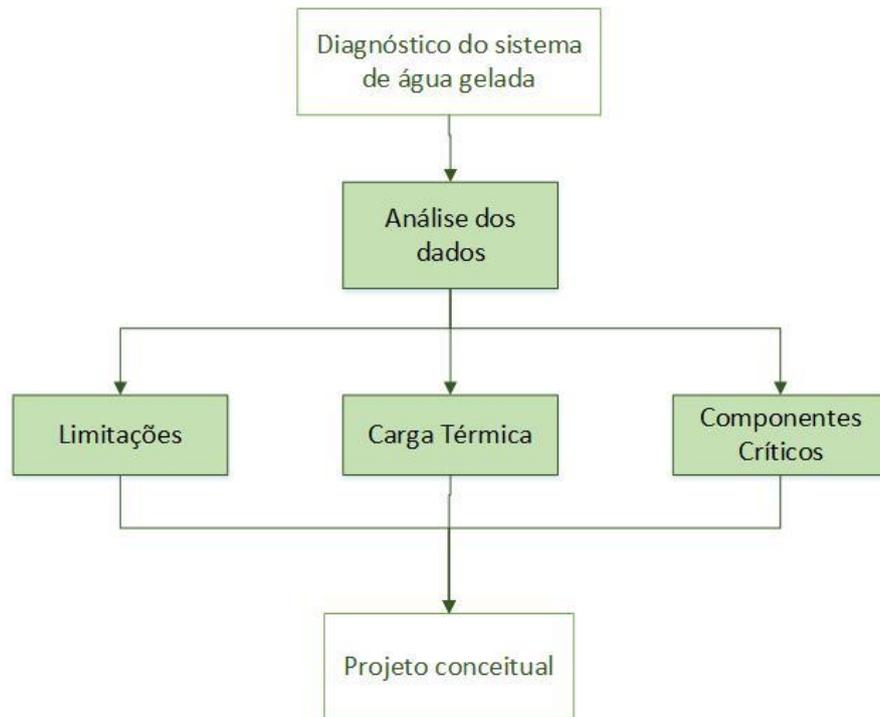


Figura 5.3 - fluxograma análise dos dados.

5.3.1 Limitações

As limitações físicas devem ser consideradas na elaboração de um projeto para aplicação de *retrofit*. Em geral, são observadas através da vistoria feita pelo profissional e da análise dos projetos arquitetônicos e de ar condicionado. O levantamento de tais limitações é relevante já que pode impedir que algumas soluções sejam executadas, como por exemplo a falta de espaço para a adição de novos equipamentos na instalação.

5.3.2 Carga térmica

A carga térmica do edifício deve ser revisada para verificar se o atual sistema atende as necessidades do edifício. Caso a instalação de água gelada seja antiga é possível que mudanças tenham ocorrido ao longo dos anos, como quantidade de indivíduos, de eletrônicos, mudanças no tipo de iluminação, de vidro, entre outros. Todos esses fatores tem uma influência significativa na carga térmica atual. Substituir os atuais componentes por outros de mesma capacidade sem esse estudo pode acarretar em gastos excessivos, uma vez que o sistema pode estar subdimensionado ou superdimensionado.

Para o cálculo da carga térmica informações como áreas de fachadas, tetos e ambientes climatizados podem ser obtidos utilizando as plantas arquitetônicas e de climatização, caso não seja possível se dispor destas, o profissional deve medir o perímetro do edifício, o pé direito de cada andar e a área aproximada que é climatizada.

Fatores como a densidade de calor de pessoas, equipamentos e iluminação podem ser obtidos pelo memorial técnico descritivo do projeto de climatização, se este não estiver disponível ou for observado que houve aumento ou diminuição da demanda dos fatores citados acima, deve-se utilizar outros parâmetros para essa análise. O presente projeto recomenda-se a utilização da NBR 16401-1:2008, pois através desta é possível classificar o tipo de edifício e recomendações de valores de densidade de dissipação de calor para pessoas, equipamentos e luminárias. Para a definição de dados climáticos recomenda-se novamente a mesma norma, nesta encontra-se dados climáticos de projeto relativos a um dia típico do mês mais quente e mês mais frio do ano para diferentes cidades.

Para a revisão da atual carga térmica do edifício, o presente projeto recomenda a utilização de *softwares* que forneçam o valor de carga térmica crítica e perfis de carga térmica ao longo do dia. Caso não tenha disponibilidade de um *software*, recomenda-se que o profissional calcule a carga térmica utilizando o método *Cooling Load Temperatures Difference (CLTD/CLF)*, devido a sua simplicidade aliado a confiabilidade (ASHREA, 2001).

A rotina para a definição do perfil de carga térmica começa com a definição da temperatura de bulbo seco hora a hora do dia. Para isso utiliza-se a Equação 5.1

$$TBS(h) = TBS_{estação\ 1} - (Amplitude_{estação\ 1} \cdot f) \quad (5.1)$$

Em que:

$TBS(h)$: Temperatura de bulbo seco em determinado horário;

$TBS_{estação\ 1}$: Temperatura de bulbo seco média da estação considerada;

$Amplitude_{estação\ 1}$: Variação da temperatura diária;

f : fração da variação média diária da temperatura para cada hora do dia. Estes valores são encontrados na norma NBR 16401/2008.

A partir dos valores correspondentes de $TBS(h)$ para cada hora do dia, calcula-se a carga térmica com o novo valor de temperatura. Ao final deste processo, obtém-se um valor de carga térmica para cada horário e isso é conhecido com o perfil de carga térmica.

5.3.3 Componentes Críticos

A partir da coleta dos dados é possível analisar os componentes críticos do sistema. O presente projeto irá se ater somente aos dados destes componentes, porém o profissional deverá analisar todo o sistema de água gelada.

Sistemas de água gelada têm vida útil entre 15 e 25 anos (PIPER, 2003), porém esses valores não são absolutos, uma vez que podem variar com as condições de operação ao longo dos anos e da manutenção. Por esse motivo é essencial a observações pessoais do profissional responsável pelo diagnóstico do sistema na “Vistoria” e o Histórico de manutenção obtido na “Pesquisa Documental”.

A partir das avaliações feitas na “Vistoria” o engenheiro responsável pelo diagnóstico do sistema atribui uma nota de funcionamento, níveis de corrosão, níveis de vazamento, ruído, vibração e manutenção para cada equipamento crítico. Como explicado anteriormente, a escala sugerida neste trabalho apresenta três níveis, 0,0, 0,5 e 1,0. Desta forma, tais avaliações serão usadas nesta etapa para definir a depreciação da vida útil, já que a vida útil diminui com a falta de operação não adequada e manutenção. Logo, a Equação 5.2 para este cálculo indicada por esta metodologia é:

$$Vida\ útil_{real} = (N_F \cdot 0,2 + N_C \cdot 0,2 + N_V \cdot 0,1 + N_{R/V} \cdot 0,2 + N_M \cdot 0,3) \cdot Vida\ útil_{teórica} \quad (5.2)$$

Onde:

N_F : Nota atribuída ao funcionamento

N_C : Nota atribuída a corrosão

N_V : Nota atribuída ao vazamento

$N_{R/V}$: Nota atribuída ao ruído e vibração

N_M : Nota atribuída a manutenção

Os pesos relacionados a cada nota foi definido de acordo com o nível de importância exigido para este trabalho.

A Tabela 5. 4 a seguir resume os dados de vida útil recomendada de alguns componentes do sistema de água gelada.

Tabela 5. 4 – Vida útil teórica

Componente crítico	Vida útil teórica
<i>Chiller</i> de cond. à água	20 anos
<i>Chiller</i> de cond. à ar	15 anos
Bombas	20 anos
Torre de resfriamento	20 anos
<i>Fan-coils</i>	20 anos
Dutos	40 anos

Importante salientar que o tempo de uso do equipamento não é só definido pela vida útil do mesmo. As questões normativas também devem ser consideradas. Se um *chiller* de condensação à água usar um refrigerante que está previsto a erradicação, então o tempo considerado será o tempo da erradicação. Por exemplo, de acordo com o protocolo de Montreal os gases R-141b e o R-22 deverão ter uso extinto até 2020.

Além da vida útil, outros fatores importantes para ser analisado nos componentes críticos são os parâmetros de desempenho. Eles indicam se estão dentro da faixa definida pelo fabricante no início de sua vida ou se o seu rendimento diminuiu muito ao longo dos anos. Neste último caso, se torna relevante o estudo para substituição do equipamento por um mais eficiente.

5.4 PROJETOS CONCEITUAIS

A “Análise de dados” resultará na elaboração de projetos conceituais de *retrofit* que se adequam as necessidades do sistema e com as do cliente. Como explicado na seção 5.3, as soluções de *retrofit* podem ser: substituição de componentes, termoacumulação, recuperação de calor de condensação, volume de ar variável, sistema de controle digital, reaproveitamento de calor em sistema com o ar externo total, entre outras. Entretanto, outras soluções devem ser estudadas pelo profissional responsável pelo projeto.

5.5 AVALIAÇÃO DOS PROJETOS CONCEITUAIS

A etapa anterior gerou opções de “Projetos Conceituais”. No entanto, é necessário fazer a “Avaliação dos Projetos Conceituais” para a “Tomada de Decisão”. A partir deste último processo o responsável pelo *retrofit* pode seguir com o “Desenvolvimento do Projeto Final”. A Tabela 5. 4 ilustra de forma esquemática esta etapa.

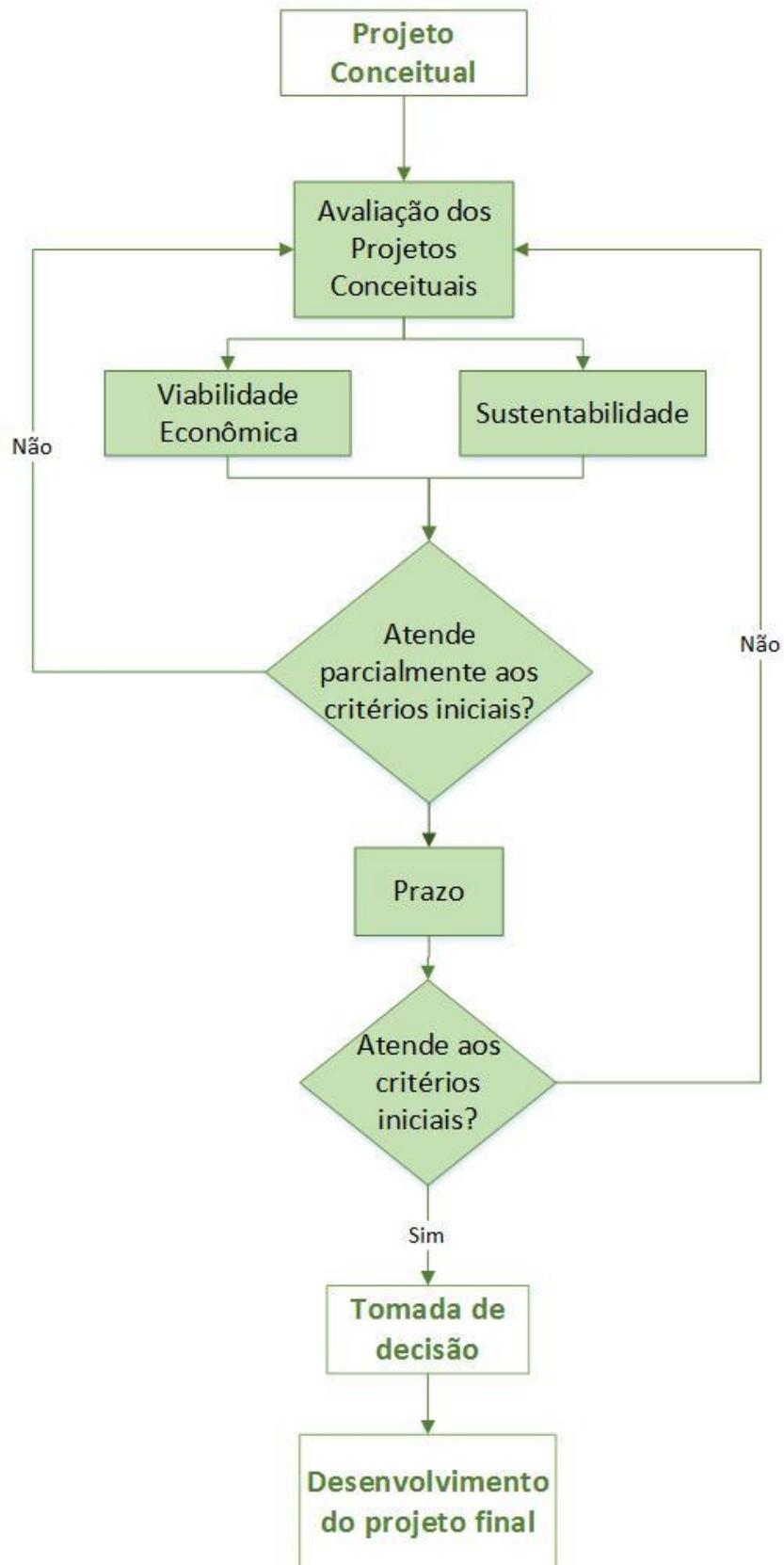


Figura 5.4 - fluxograma avaliação dos projetos conceituais.

5.5.1 Viabilidade econômica

Toda análise de viabilidade econômica de um projeto conceitual qualquer deve começar com a definição de algumas premissas para determinar os investimentos, gastos e as receitas que irão compor o fluxo de caixa. Portanto, é fundamental que o profissional responsável detalhe ao máximo os gastos e receitas envolvidos em cada projeto.

Como o objeto de estudo da metodologia é o sistema de água gelada, é possível prever os investimentos necessários, gastos e as receitas envolvidos nas soluções de *retrofit* proposta. A lista a seguir apresenta os prováveis gastos e receitas:

- I. **Potencial de economia:** é considerado uma receita. O *retrofit* tem como um dos principais objetivos reduzir gastos excessivos. Desta forma, qualquer redução em custos e despesas, se comparado à atual realidade, se torna receita no fluxo de caixa. O consumo de energia é considerado um custo, porém após aplicação de retrofit espera-se que sua economia se torne receita.
- II. **Preço da tecnologia:** é considerado um investimento. Esta tecnologia varia de acordo com o projeto conceitual proposto, por exemplo pode ser um equipamento ou um sistema de automação. Recomenda-se que o profissional que irá aplicar o *retrofit* faça uma pesquisa de mercado, pois os preços podem variar dependendo do fabricante.
- III. **Preço da Instalação:** é considerado um investimento. O profissional deve fazer uma pesquisa de mercado para verificar o menor preço de instalação do mercado. Espera-se que neste valor esteja incluso a instalação do equipamento, bem como o material utilizado e a mão de obra exigida para tal serviço. A facilidade de execução está intimamente ligada a este valor, uma vez que uma adequação do equipamento mais complexa deve exigir adaptações na CAG, como troca de algum componente ou tubulação ou reforma na estrutura.
- IV. **Preço do projetista:** é considerado uma despesa. Dependendo da alteração proposta no projeto conceitual de *retrofit* haverá a necessidade de um projetista. Por exemplo, se houver a precisão de substituir algum componente por outro de diferente capacidade será necessário um estudo aprofundado sobre os impactos dessa mudança na CAG. Esse estudo deverá ser feito por um projetista.
- V. **Preço de manutenção:** pode ser considerado uma despesa, uma receita ou indiferente. Este conceito é variável, pois é um valor comparado com a situação atual, uma vez que é um custo comum às situações. Se a nova proposta de *retrofit* apresentar um valor de manutenção superior ao presente contrato, então haverá um aumento da despesa. Agora, se a proposta de *retrofit* manter o valor de manutenção, então não haverá despesas adicionais e nem diminuição das despesas. Por fim, se a proposta de *retrofit* apresentar um contrato de manutenção inferior ao

da situação atual, então haverá uma economia e assim este valor será considerado receita no fluxo de caixa.

Os indicadores financeiros, como valor presente líquido (VPL), taxa de retorno do investimento (TIR) e *payback*, são fundamentais neste estudo. Tais parâmetros foram detalhados na seção 3.1. Eles fornecem informações para prosseguir com o estudo da avaliação econômica que possibilita a implementação de *retrofit*.

A TMA utilizada na antecipação de créditos para o VPL foi igualada ao menor retorno previsto hoje no mercado financeiro, a poupança. Como última cotação o rendimento foi de 0,6991 ao mês, o valor de TMA adotado então será de 8,72% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2016). Para variar a receita ao longo do horizonte de tempo, o presente projeto irá utilizar o Método de Monte Carlo (MMC). Este é um método estatístico, que procura fazer previsões a longo e curto prazo. São gerados diversos números aleatórios para a realização da simulação das previsões. A ferramenta utilizada para gerar os valores de MMC foi o *Microsoft Excel*. A tabela criada se encontra no Apêndice, seção 0.

5.5.2 Sustentabilidade

Atualmente, conceito de sustentabilidade tem sido levado mais em consideração e isto estimula a busca por respostas rápidas e positivas no que diz respeito aos aspectos da eficiência energética, conforto do ambiente construído e a eficiência dos materiais utilizados. Desta forma, é importante considerar tal conceito na escolha da melhor solução de *retrofit*.

Os princípios bioclimáticos integrados a climatização artificial para o controle térmico dos espaços internos da edificação devem contribuir para minimizar o impacto ambiental. Assim, a proposta de autosustentabilidade energética é fundamental. O *retrofit* deve agregar valor ambientalmente amigável à tecnologia voltada para a climatização.

O TEWI, parâmetro de desempenho ambiental explicado na seção 2.7.4, deve ser usado para informar os efeitos da emissão de gás carbônico. Além de servir como indicador para comparar o grau de sustentabilidade de cada “Projeto Conceitual”.

Para o cálculo do TEWI o profissional deve ter conhecimento do tipo de gás refrigerante e a carga necessária do *chiller*. Esse conhecimento é adquirido na pesquisa documental, seção 5.2.2, através do *datasheet* do equipamento, ou através da vistoria, seção 5.2.1, no qual dados técnicos se encontram em placas fixadas no equipamento. O consumo de energia anual é determinado na seção 5.3.3 e deve ser usado no cálculo do TEWI.

Além do TEWI como fator de sustentabilidade, é importante observar o consumo de água das torres de resfriamento em sistemas de água gelada com condensação a água. O profissional deve ater-se que este consumo pode aumentar ou diminuir, conforme mudança das torres. Por exemplo: caso sua vazão aumente, seu consumo de água irá aumentar.

5.5.3 Atende parcialmente os critérios do cliente

O projeto selecionado nesta primeira triagem deverá ser a combinação dos fatores de potencial de economia, sustentabilidade e viabilidade econômica. Existirão casos em que os potenciais de economia serão elevados, porém podem ser inviáveis financeiramente. Logo, este caso não seria adequado para seguir para a próxima avaliação. Cabe ao profissional, analisar cuidadosamente as vantagens e desvantagens de todos os fatores e suas combinações.

5.5.4 Prazo

O prazo para a entrega do projeto e para a execução deste também é essencial. É importante que sejam curtos, pois é de interesse do cliente diminuir os gastos excessivos de operação o mais rápido possível. O responsável deve prever todos os imprevistos de cada solução. Projetos que apresentem similaridades entre si de sustentabilidade, potencial de economia e viabilidade econômica, devem ter como fator de desempate para a seleção o tempo.

O profissional pela seleção dos projetos deve ter conhecimento do prazo de entrega dos equipamentos, uma vez que a demora destes pode acarretar em atrasos para finalizar os serviços. Caso algum componente demore muito para ser entregue, o projeto pode se tornar inviável para o cliente. O tempo médio de execução de cada tarefa também deve ser previsto para poder calcular o prazo mínimo necessário.

5.6 TOMADA DE DECISÃO

A tomada de decisão é a etapa destinada a conclusão de qual projeto conceitual será desenvolvido em um projeto final e por fim ser executado. O processo anterior, de “Análise dos projetos conceituais”, serve de fundamentação para a tomada de decisão. Além disso, servirá de filtro, pois provavelmente algum projeto conceitual será excluído nesta análise. Desta forma, se mais de um projeto passar pela triagem da etapa anterior será necessária uma tomada de decisão. A tomada de decisão terá como base a melhor combinação dos critérios avaliados na “Análise dos projetos conceituais”.

6 ESTUDO DE CASO

6.1. Seleção da instalação

Este capítulo se destina a aplicação da metodologia proposta a fim de levantar feedback para fundamentar possíveis melhorias. Desta forma, faz necessário o estudo de uma instalação real. A instalação escolhida foi o sistema de água gelada da sede da Procuradoria Geral da República de Brasília. A equipe de engenharia se mostrou solícita e interessada no tema em estudo.

O sistema da PGR apresenta grande complexidade se comparado com outros sistemas de água gelada. É composto por *chillers*, torres, bombas primárias, secundárias, bombas de água condensada e de etileno glicol, além de um sistema de termoacumulação. Portanto, a aplicação da metodologia proposta no presente trabalho irá englobar todos os componentes considerados críticos.

6.1.1 Descrição da instalação

A sede da Procuradoria Geral da República (PGR) é um complexo seis blocos, interligados por passarelas e pelo subsolo e possui uma área total de 71.873,73 m². Localizado na cidade de Brasília, Setor de Administração Federal Sul, Quadra 4, Conjunto C. É constituído de escritórios, auditórios, restaurante, serviços de apoio e áreas técnicas.

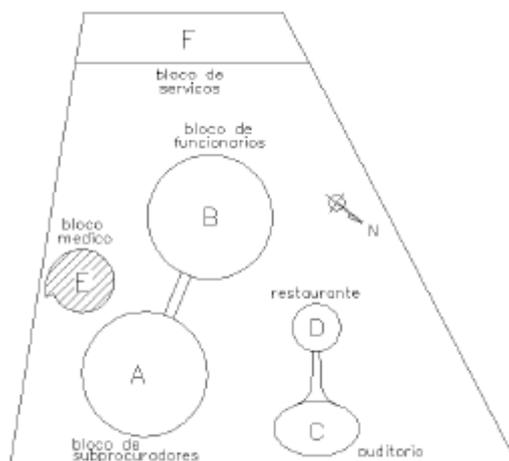


Figura 6. 1 - Vista Superior dos blocos da sede da PGR

Os edifícios da PGR são característicos pela sua arquitetura moderna e arrojada, condizente com um projeto de Oscar Niemeyer. O complexo arquitetônico foi definido pela ONU como Patrimônio Cultural da Humanidade, logo ele deve ser preservado para gerações futuras.

O sistema de água gelada da PGR foi projetado pela Empresa Brasileira de Sistemas no ano de 2001 e o sistema entrou em operação em 2002. A CAG é constituída de três *chillers* de condensação a água da marca *York* e cada um possui capacidade de 350 TR, totalizando em 1050 TR. A Figura 6. 2 ilustra os *chillers* presentes no local.



Figura 6. 2 – Chiller parafuso York

O sistema também é constituído de um trocador de calor de placas, três torres de resfriamento, 22 bombas centrífugas em operação e dois tanques de termoacumulação desativados.

No ano de 2003 os tanques de termoacumulação pararam de funcionar, devido a falha nas *iceballs*. Consequentemente o presente projeto irá somente abordar o sistema no modo de operação direta, onde as unidades resfriadoras de líquido (URL) atendem a toda demanda térmica exigida. Devido à ausência da termoacumulação as duas bombas de reposição de solução e a bomba de inventário não estão operando.

A Figura 6. 3 ilustra a operação atual da CAG, onde é possível observar que são 3 sistemas independentes entre si.

A linha verde ilustra o caminho da água de condensação, que interliga somente os *chillers* com as torres de resfriamento. Dentro das condensadoras dos *chillers* a água de condensação absorve o calor liberado pelo fluido refrigerante e em seguida segue para as torres de resfriamento para ser arrefecida. A circulação da água é feita pelas bombas de condensação.

A linha representada pela cor azul escuro ilustra a água que passa pelo trocador de calor e pelos *chillers*. Na evaporadora da URL a água é arrefecida ao liberar calor para o fluido refrigerante.

Posteriormente segue para o trocador de calor onde irá absorver o calor da água aquecida proveniente dos blocos.

A linha azul claro é o caminho da água que passa pelo trocador de calor e pelos *fan-coils* que atendem os seis blocos. O trocador de calor recebe a água de retorno dos blocos e está libera o calor para a água proveniente dos *chillers*.

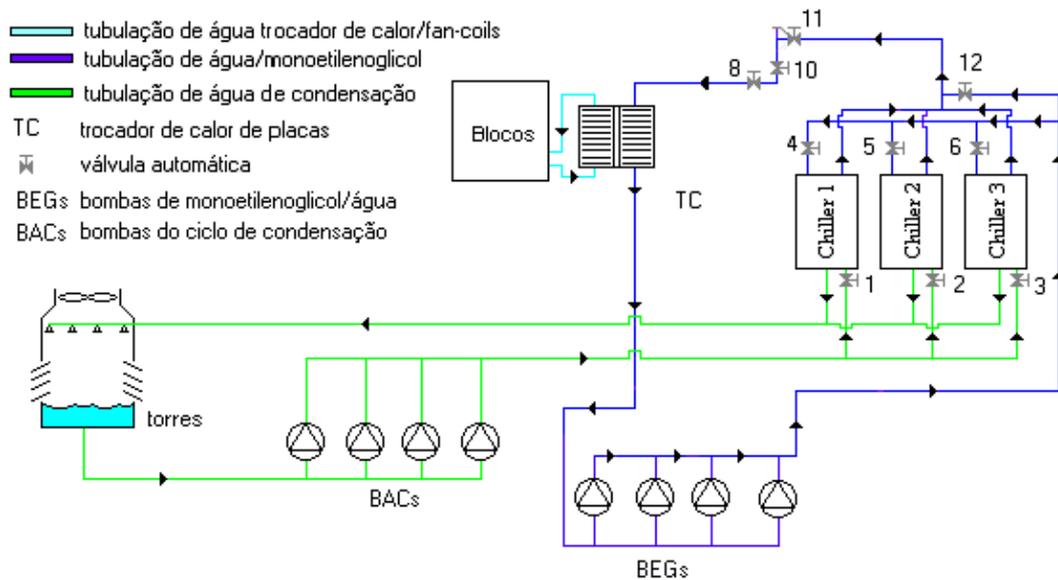


Figura 6. 3 - Modo de operação atual. (Pimenta et al, 2004)

A PGR possui 125 *fan-coils* e 4 *fancoletes* espalhados pelos seis blocos, dentro de casa de máquinas. Apenas os *fan-coils* apresentam unidades de vazão de ar variável (VAV) e variadores de frequência. Dutos em chapas com isolamento térmico e dutos flexíveis são usados para a passagem do ar. Grelhas e difusores em alumínio são usados para o insuflamento e retorno de ar.

As seções seguintes são referentes a aplicação da metodologia proposta pelo presente projeto. Como citado anteriormente, somente os componentes considerados críticos serão avaliados. Rede de hidráulica, rede de dutos, válvulas e sensores são serão estudados.

6.2. Aplicação da Metodologia proposta

6.2.1 Diagnóstico do sistema

6.2.1.1 Vistoria

A vistoria foi realizada em duas etapas. No dia 18 de abril de 2016, foi o primeiro contato com CAG e foram fornecidos pelas equipes de engenharia e manutenção detalhes acerca de seu funcionamento. A visita foi feita de forma objetiva e crítica a fim de levantar o máximo de informações visuais acerca das condições do sistema. No dia 28 de maio foi realizada a segunda vistoria com o foco em levantar informações remanescentes do sistema e coletar imagens.

De acordo com a metodologia proposta, é importante que o engenheiro responsável pela vistoria faça uma avaliação dos componentes mais críticos, como: *chiller*, torre de resfriamento, bombas e *fan-coils*, além do sistema de automação e observações. Por simplicidade, o presente trabalho não irá inspecionar válvulas, tubulações de água e dutos de ar. No entanto, em uma aplicação real todos os sistemas e os componentes devem ser julgados criticamente.

A. CHILLERS

A instalação é composta por três *chillers* idênticos de parafuso da fabricante *York*. Desta forma, todos os *chillers* foram inspecionados. Como todos apresentaram as mesmas condições de uso e estado, por conveniência os dados foram abordados em uma tabela única, na Tabela 6. 1. A Figura 6. 4 ilustra o estado de conservação dos *chillers* da PGR.

Tabela 6. 1 - Vistoria dos *chillers*

Equipamento	<i>Chiller 1, 2 e 3</i>		
Fabricante	<i>York</i>		
Modelo	YSDACAS3-CME		
Capacidade	350 TR		
Compressor	Parafuso		
Gás refrigerante	R22		
Quantidade	3		
Nota	0,0		1,0
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão		X	
Manutenção			X



Figura 6. 4 – Chillers da PGR

B. TORRES DE RESFRIAMENTO

A instalação da PGR contém três torres de resfriamento, ambas do mesmo modelo e fabricante *Alfaterm*. Assim, como no caso dos *chillers*, por conveniência os dados foram agrupados em uma tabela, uma vez que apresentaram mesma condição de uso e estado de conservação. A Tabela 6. 2 apresenta os resultados da vistoria e a Fig. 6.5 e Fig. 6.6 registram as torres de resfriamento.

Tabela 6. 2 - Vistoria das torres de resfriamento

Equipamento	Torres de resfriamento 1, 2 e 3		
Fabricante	<i>Alfaterm</i>		
Modelo	ASP -1400/3/15/4 - BG		
Vazão de água	231,6 m ³ /h		
Quantidade	3		
Nota	0,0	0,5	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão	X		
Manutenção			X
Observações:			



Figura 6. 5 – Torre de resfriamento



Figura 6. 6 – Detalhe de corrosão na torre

C. BOMBAS

O sistema de climatização da PGR exige uma grande quantidade de bombas para diversas finalidades. Mais especificamente, existem três tipos de bombas na instalação. As bombas de água condensada (BAC) servem para manter a circulação de água entre as torres de resfriamento e o *chillers*. As bombas de etileno glicol (BEG) que servem para manter a circulação da água na evaporadora. Por fim, as bombas de água gelada (BAG) que podem ser primárias (BAGP) ou secundárias (BAGS). No caso das BAGP servem para receber a água que volta do edifício e bombeiam para o trocador de calor.

E no caso da BAGS servem para receber a água do trocador de calor e bombeiam para o edifício. A tabela 6.3 resume as quantidades de bombas do sistema da PGR.

Tabela 6. 3 - Resumo das quantidades das bombas da PGR

Tipo	Quantidade
BAC	4
BEG	4
BAGP	3
BAGS	11

Vale apenas salientar que todas as BAC são do mesmo modelo entre si, assim como as BEG e as BAGP. Entretanto, existem cinco modelos diferentes de BAGS. Para fins de praticidade, as bombas que forem no mesmo modelo e do mesmo tipo serão agrupadas na mesma tabela de vistoria. As tabelas de 6.4 à 6.11 apresentam os dados da vistoria e as figuras 6.7 à 6.9 ilustram as bombas instaladas na PGR.

Tabela 6. 4 - Vistoria das bombas de água condensada (BAC)

Equipamento	BAC 1, 2, 3, 4		
Fabricante	Mark Peerless		
Modelo	DN 125/25		
Vazão	232 m ³ /h		
AMT	22 mca		
Quantidade	4		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento	X		
Ruído/Vibração	X		
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento	X		
Corrosão	X		
Manutenção	X		
Observações: Bomba de água condensada			



Figura 6. 7 - Bombas de água condensada

Tabela 6. 5 - Vistoria das bombas de etileno glicol (BEG)

Equipamento	BEG 1, 2, 3, 4		
Fabricante	Mark Peerless		
Modelo	DN 125/32		
Vazão	314 m ³ /h		
AMT	38 mca		
Quantidade	4		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bomba de Etileno Glicol			



Figura 6. 8 - Bombas de etileno glicol

Tabela 6. 6 – Vistoria de bomba de água gelada primária

Equipamento	BAGP 1, 2, 3		
Fabricante	Mark Peerless		
Modelo	DN 125/35		
Vazão	256 m ³ /h		
AMT	19		
Quantidade	3		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações:			

Tabela 6. 7 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco A e B

Equipamento	BAGS 1, 2, 3		
Fabricante	<i>Mark Peerless</i>		
Modelo	DN 125/40		
Vazão	219 m ³ /h		
AMT	67		
Quantidade	3		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bombas atendem aos blocos A e B			

Tabela 6. 8 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco C

Equipamento	BAGS 4, 5		
Fabricante	<i>Mark Peerless</i>		
Modelo	DN 40/32		
Vazão	16 m ³ /h		
AMT	43		
Quantidade	2		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bombas atendem ao bloco C			

Tabela 6. 9 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco D

Equipamento	BAGS 6, 7		
Fabricante	<i>Mark Peerless</i>		
Modelo	DN 32/25		
Vazão	10 m ³ /h		
AMT	22 mca		
Quantidade	2		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bombas atendem aos blocos D			

Tabela 6. 10 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco E

Equipamento	BAGS 8, 9		
Fabricante	<i>Mark Peerless</i>		
Modelo	DN 40/32		
Vazão	28 m ³ /h		
AMT	44 mca		
Quantidade	2		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bombas atendem aos blocos E			

Tabela 6. 11 - Vistoria das bombas de água gelada secundárias (BAGS) do bloco F

Equipamento	BAGS 10, 11		
Fabricante	Mark Peerless		
Modelo	DN 40/32		
Vazão	23 m ³ /h		
AMT	40 mca		
Quantidade	2		
Nota	0,0		1,0
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão			X
Manutenção			X
Observações: Bombas atendem aos blocos F			



Figura 6. 9 - Bombas primárias e secundárias

D. FAN-COILS

Por levantamento dos componentes do sistema de climatização, verifica-se que na PGR existem 125 *fan-coils* da fabricante York e quatro *fancoletes* da fabricante Hitachi, todos de variadas capacidades.

Como este é um número muito elevado de equipamentos, para o presente projeto uma vistoria selecionando somente um modelo será feita. A Tabela 6. 12 apresenta os dados de vistoria do *fan-coil*.

Tabela 6. 12- Vistoria do *Fan-coil*

Equipamento	<i>Fan-coil</i> 01B		
Fabricante	York		
Modelo	Y3DBW		
Capacidade	18 TR		
Quantidade	1		
Nota	0,0	1,0	
Funcionamento			X
Ruído/Vibração			X
Nota	0,0	0,5	1,0
Vazamento			X
Corrosão		X	
Manutenção			X
Observações: <i>Fan-coil</i> localizado no 1° andar do bloco B			

E. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

A PGR apresenta automação integrada com a CAG no qual fornece dados referentes a temperaturas, pressões e vazões. Além dos equipamentos presentes na CAG, a automação engloba também os *fan-coils* e VAV. O monitoramento e controle é feito por um microcomputador e o *software* utilizado é o *Envision for BACTalk*.

F. OBSERVAÇÕES

- A CAG ocupa inteiramente o espaço em que se encontra, conseqüentemente não possui áreas disponíveis para adição de novos equipamentos.
- A CAG possui três sistemas de água independentes que são: o sistema de água condensada, o sistema de água com etileno glicol e o sistema de água dos blocos. A Figura 6. 3 ilustra claramente os sistemas.
- O sistema com etileno glicol e o sistema de água que alimenta os blocos trocam calor através de um trocador de calor de placas.
- Há dois tanques de termoacumulação de gelo com *iceballs*, porém foi identificado nos tanques documentos que atestam que manutenções preventivas ainda são feitas.
- Há três bombas desativadas, que são as bombas de reposição de solução e uma bomba de inventário

6.2.1.2 Pesquisa Documental

A pesquisa documental foi realizada no 20 de maio de 2016. Esta etapa é fundamental para agilizar o processo de coleta de dados. No entanto, o que não for possível coletar nesta fase, deverá ser obtido nas demais etapas do diagnóstico do sistema. A Tabela 6. 13 apresenta um resumo dos documentos que foram disponibilizados pela equipe de engenharia responsável pelo sistema de climatização.

Tabela 6. 13 - Check - list dos documentos

N°	Lista de Documentos	Check-list
1	Memorial técnico descritivo do projeto de climatização	X
2	Planta do projeto de climatização	X
3	Plantas arquitetônicas	X
4	Histórico de contas de energia da Concessionária	X
5	Contrato de manutenção	X
6	Histórico de manutenção preventiva	-
7	Histórico de manutenção corretiva	-
8	<i>Datasheet Chiller</i>	X
9	<i>Datasheet Torres de resfriamento</i>	-
10	<i>Datasheet Bombas</i>	-
11	<i>Datasheet Fan-coil</i>	-
12	Outro: medições recentes de tensão e corrente dos componentes da CAG	X
13	Outro: Dados de todos os componentes da CAG obtidos no <i>software</i> de automação, <i>Envision for BACtalk</i>	X
14	Outro:	

O contrato de manutenção para o sistema de climatização da PGR não foi disponibilizado pela equipe de engenharia, porém foi obtido através do Portal de Compras do Governo Federal (ComprasNet). Como a PGR é um órgão público, é possível adquirir dados de licitações e contratações. Com isso, teve-se acesso à detalhes do contrato de manutenção vigente, que é prestado pela empresa DLF Engenharia.

6.2.1.3 Questionário

O questionário foi aplicado em todas as visitas feitas à PGR. Foi identificado duas equipes potenciais de engenharia, a primeira é composta por servidores do departamento de engenharia e a segunda é a equipe da empresa de manutenção contratada. Desta forma, integrantes de ambas as equipes foram entrevistados a fim de obter as principais informações do questionário proposto no capítulo 5. Esta etapa foi de suma importância para levantar dados relevantes a respeito do sistema de água gelada,

pois são informações que não são possíveis de serem obtidas nas demais etapas do diagnóstico. As informações obtidas foram:

- O sistema de água gelada entrou em operação no ano de 2002.
- Não houve mudanças no sistema em relação ao memorial técnico descritivo.
- Os tanques de termoacumulação não estão ativados desde 2003 e por sua vez quase não existe etilenoglicol na rede. Por consequência, as duas bombas de água de reposição de solução e a bomba de reposição de inventário não estão em operação.
- Sabe-se que o sistema opera com uma capacidade de refrigeração menor do que a de projeto pelo motivo da termocumulação estar desativada. No entanto, o sistema de água gelada atende parcialmente a demanda dos edifícios. Apenas nos meses de seca (agosto, setembro e outubro) o sistema não supre a carga térmica exigida e por consequência há muita reclamação nesta época do ano.
- Não existe nenhum estudo oficial de carga térmica atual dos edifícios, porém sabe-se que a carga térmica aumentou devido ao aumento da densidade populacional. No memorial técnico descritivo as considerações para o cálculo de carga térmica foram superdimensionadas. Acredita-se que atualmente, a carga térmica descrita no memorial ainda gire em torno da capacidade exigida pelos edifícios.
- O horário de funcionamento do edifício é 8 às 20 horas.
- Desde o começo da operação o sistema, existe uma equipe de manutenção contratada.
- Os *chillers* funcionam à no máximo 95% da sua capacidade, porque se forem forçados eles desarmam. Logo, não existe um dado de eficiência à 100%.
- O motor do *chiller* 2 e 3 foi rebobinado.
- O Bloco C é o auditório e é solicitado apenas quando tem algum evento.
- A automação é toda integrada com o sistema de ar condicionado e seu monitoramento e controle é feito através do *software Envision for BACtalk*.

6.2.1.4 Medições

A Tabela 6. 14 apresenta os valores das medições fornecidas pelo *software Envision for BACtalk* e são referentes ao dia 25 de maio de 2016 às 16 horas, horário de maior carga térmica dos edifícios. De acordo com o departamento de engenharia, no momento da coleta de dados o *chiller* 2 não estava em operação, devido a carga térmica da PGR não ser alta o suficiente.

Tabela 6. 14 - Dados *chillers*

Equipamento	Tensão (V)			Corrente (A)			Temperatura da água da condensadora (°C)		Temperatura da água da evaporadora (°C)		Horas de funcionamento
	R	S	T	R	S	T	Retorno	Saída	Retorno	Saída	
<i>Chiller 1</i>	384	385	381	395	404	379	28,10	31,70	8,40	4,90	29345
<i>Chiller 2</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22636
<i>Chiller 3</i>	384	385	381	403	421	392	28,20	32,20	8,30	5,00	24500

A Tabela 6. 15 apresenta os dados das 3 torres de resfriamento, a tensão e a corrente são referentes a medições realizadas e foram disponibilizadas pelo departamento de engenharia. As temperaturas foram fornecidas pelo *software Envision for BACtalk* e são referentes ao dia 25 de maio às 16h. Neste dia, a torre de resfriamento 1 não estava em operação, logo sua temperatura de saída não foi obtida.

Tabela 6. 15 - Dados das torres de resfriamento

Equipamento	Tensão (V)			Corrente (A)			Temperatura da água de saída (°C)	Horas de operação
	R	S	T	R	S	T		
Torre de resfriamento 1	-	-	-	-	-	-	-	18450
Torre de resfriamento 2	376	374	378	19,84	20,78	19,62	27	16244
Torre de resfriamento 3	371	372	371	19,22	19,04	20,14	26	17276

Pode-se observar pela Tabela 6. 14 e Tabela 6. 15 que as horas de operação dos *chillers* e das torres de resfriamento não são próximas quando somadas. Esses dados podem ser justificados pelo sensor de temperatura presente nas torres. O sensor manda um sinal para o motor desligar quando a temperatura de entrada da água é igual ou menor que a temperatura desejada. Pode-se concluir a partir das horas de operação que as torres funcionam somente em 68% do tempo total dos *chillers*, então enquanto estes funcionam 12 horas por dia, as torres funcionam aproximadamente 9 horas por dia.

A Tabela 6. 16 apresenta a tensão e corrente de todas as bombas da CAG, incluindo as bombas reservas. As medições foram realizadas no dia 25 de maio e foram disponibilizadas pelo departamento de engenharia.

Tabela 6. 16 - Dados das bombas

Equipamento	Tensão (V)			Corrente (A)		
	R	S	T	R	S	T
Bomba de água condensada 1	378	376	374	41,07	41,67	41,56
Bomba de água condensada 2	371	372	381	39,67	39,61	39,21
Bomba de água condensada 3	-	-	-	-	-	-
Bomba de água condensada 4	-	-	-	-	-	-
Bomba de água primária 1	-	-	-	-	-	-
Bomba de água primária 2	381	378	374	36,13	37,2	35,78
Bomba de água primária 3	379	377	373	33,04	33,5	33,61
Bomba de água secundária 1	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 2	377	374	379	80,3	77,2	76,7
Bomba de água secundária 3	377	372	377	80,7	81,9	80,9
Bomba de água secundária 4	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 5	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 6	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 7	376	374	372	4,65	4,43	4,46
Bomba de água secundária 8	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 9	377	376	379	13,66	15,04	13,96
Bomba de água secundária 10	-	-	-	-	-	-
Bomba de água secundária 11	378	370	374	13,9	14,2	14,5
Bomba de Etileno Glicol 1	-	-	-	-	-	-
Bomba de Etileno Glicol 2	371	374	378	80,96	80,91	80,76
Bomba de Etileno Glicol 3	376	374	379	86,61	89,52	84,57
Bomba de Etileno Glicol 4	-	-	-	-	-	-

Mesmo que os consumos dos equipamentos que possuem variador de frequência variem ao longo do dia, o presente projeto irá considerar, para fins de análise, as medições feitas como o comportamento médio dos equipamentos. Porém recomenda-se que em uma aplicação real da metodologia as medições sejam feitas durante o período de sete dias com três medições ao longo do dia, sempre no mesmo horário. Desse modo será possível estudar o comportamento dos equipamentos em diferentes demandas.

As BAGS 1, 6, 8, 10 e 11, BAC 4 e BEG 4 não estavam ligadas porque são bombas reservas, a BAGS 4 e 5 são referentes ao bloco C que é auditório, então só funcionam ocasionalmente. A BAC 3 e BEG 1, a torre de resfriamento 1 e o *chiller* 2 não estavam ligados no dia, devido à baixa demanda dos blocos, conseqüentemente suas medições não foram feitas. A Figura 6. 10 registrada pelo *software* de automação ilustra a configuração do sistema na data das medições.

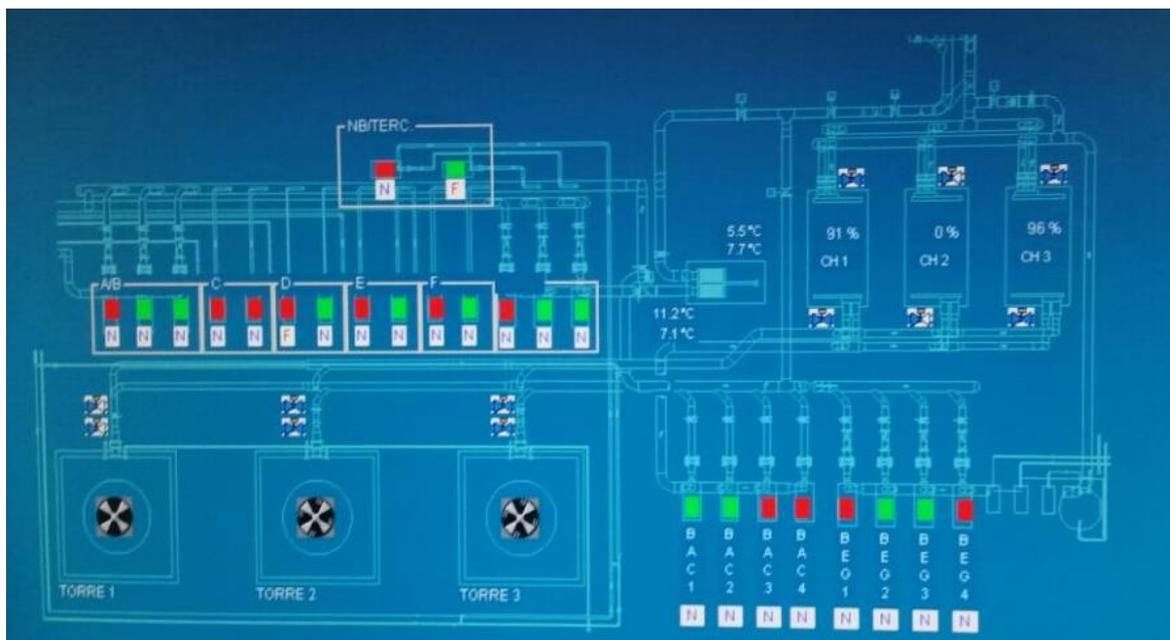


Figura 6. 10 - Interface do funcionamento da CAG do software *Envision for BACtalk*

A equipe de engenharia no dia 20 de maio realizou medições teste nas bombas que se encontram desligadas. A Tabela 6. 17 apresenta os valores.

Tabela 6. 17 – Dados das bombas desligadas

Equipamento	Tensão (V)			Corrente (A)		
	R	S	T	R	S	T
Bomba de água condensada 3	376	374	374	41,23	42,27	40,98
Bomba de água condensada 4	378	376	372	40,13	41,93	40,25
Bomba de água primária 1	372	372	376	36,41	37,61	36,96
Bomba de água secundária 1	378	374	372	81,2	81,5	80
Bomba de água secundária 4	378	374	376	9,22	9,25	8,92
Bomba de água secundária 5	374	371	374	12,59	12,67	12,44
Bomba de água secundária 6	378	377	371	3,98	3,99	3,95
Bomba de água secundária 8	377	375	374	16,8	16,6	16,39
Bomba de água secundária 10	374	371	379	14,26	14,3	14,27
Bomba de Etileno Glicol 1	378	376	373	80,01	81,21	80,76
Bomba de Etileno Glicol 4	371	378	377	80,41	81,3	78,9

A Tabela 6. 18 apresenta os dados coletados do *fan-coil* através do *software* de automação *Envision for BACtalk*. Os valores instantâneos de tensão e corrente não foram disponibilizados para cálculo do consumo, então para o presente projeto adotou-se a potência nominal do motor. Contudo, o *Fan-coil*

apresenta vazão de ar variável e variador de frequência, então na realidade os valores de vazão de insuflamento do ar e consumo não serão constantes.

Tabela 6. 18 - Dados do *Fan-coil*

<i>Fan-coil 01B</i>	
Vazão de insuflamento do ar [m ³ /h]	11330
Temperatura do ar de insuflamento [°C]	11,70
Temperatura do ar de retorno [°C]	23,90
Vazão de água gelada [m ³ /h]	6,93
Potência nominal	5,50
Tempo de funcionamento [horas]	46169

6.2.2 Análise dos dados

6.2.2.1 Limitações

O prédio da PGR é considerado um Patrimônio Cultural da Humanidade e por esse motivo não pode apresentar mudanças em sua arquitetura. Conseqüentemente, equipamentos que precisam trocar calor com o ambiente não podem ser instalados externamente e não pode ter alterações na fachada dos blocos.

Uma das limitações observadas é que os edifícios são bem utilizados diariamente e uma eventual obra na CAG não deve ser demorada. Além de ser realizada fora do horário de funcionamento normal. Portanto, para fazer qual alteração é importante um planejamento prévio e cuidadoso.

CAG se encontra no subsolo da PGR, em um ambiente fechado com uma área aproximada de 1.130 m². Somente o topo das três torres de resfriamento possuem contato com o ambiente externo, como pode ser visto na Figura 6. 5. Equipamentos de pequeno porte, como bombas podem ser instalados, porém é provável que prejudiquem o espaço para movimentação e trabalho da equipe de manutenção. Não há espaço disponível para o acréscimo de equipamentos de médio a grande porte como URL's ou torres de resfriamento.

Os tanques de termoacumulação, como dito anteriormente, estão desativados e a área destinada somente aos tanques é de aproximadamente 350 m². As bombas e os tanques de reposição de solução e de inventário, que fazem parte do sistema de termoacumulação, ocupam uma área de 56 m², porém estão em localizações diferentes no ambiente.

6.2.2.2 Carga térmica

Como instruído na seção 5.3.2 a carga térmica foi revisada utilizando dados fornecidos pela PGR. Os documentos disponibilizados que foram usados na revisão da carga térmica foram:

- Memorial técnico descritivo do projeto de climatização
- Plantas arquitetônicas
- Planta do projeto de climatização

As plantas do projeto de climatização foram usadas para se ter conhecimento da área climatizada, para que somente estas fossem levadas em consideração no cálculo. As plantas arquitetônicas possibilitaram o conhecimento das áreas das fachadas e ambientes climatizados. O memorial técnico descritivo do projeto de climatização foi usado para base de comparações.

O método CLTD/CLF foi o utilizado para o cálculo da carga térmica, foi escolhido devido a sua confiabilidade e simplicidade. A carga térmica calculada a partir desse método foi de aproximadamente 1077 TR, no Apêndice, seção B.1, se encontra os resultados obtidos, assim como uma breve explicação da metodologia adotada. Através do estudo, pôde-se concluir que a carga térmica de projeto está superdimensionada, uma vez que seu valor é de 1467 TR. A atual CAG deveria atender a demanda do edifício, porém devido à ausência do sistema de termoacumulação somente os três *chillers* estão responsáveis pela climatização e juntos totalizam 1050 TR.

O questionário feito na seção 6.2.1.3 à equipe de engenharia informou também que os três *chillers* não funcionam a plena capacidade, somente por volta de 95% devido ao seu desgaste ao longo dos anos. Com isso pode-se concluir que o atual conjunto de *chillers* não estão atendendo a atual demanda do edifício.

A PGR é um órgão público e conseqüentemente seu perfil pode mudar ao longo dos anos por diversos fatores, como o aumento de servidores, de equipamentos e a constante mudança de *layout* dos ambientes de trabalho. Por esses motivos, adotou-se a carga térmica de 1200 TR.

Durante o estudo é importante também construir o perfil de carga térmica dos edifícios, uma vez que somente durante poucos momentos do dia a carga térmica irá atingir seu máximo. Com o perfil de carga térmica ao longo do dia é possível estimar o consumo do *chiller* através do IPLV, citado na seção 2.7.3.

Para a realização da análise econômica é importante definir o perfil de carga térmica, pois ele determinará o consumo exigido pelos novos *chillers*. Como Brasília é conhecida por ter duas estações

bem delimitadas, dois perfis de carga térmica foram usados para descrever o consumo, um para o verão e outro para o inverno.

Para o perfil de carga térmica no verão, será usado o perfil determinado pelo projetista no memorial técnico descritivo do sistema de climatização, uma vez que o dia de projeto considerado é um dia de verão. No entanto, a carga máxima exigida para o *retrofit* é de aproximadamente 1077 TR. Desta forma, a Tabela 6. 19 a seguir mostra o perfil usado para a análise do consumo:

Tabela 6. 19 - Perfil de carga térmica no verão

Hora	% CT	TR
08-09	49,5	533,115
09-10	57,7	621,429
10-11	64,2	691,434
11-12	70,2	756,054
12-13	75,1	808,827
13-14	80,6	868,062
14-15	87,3	940,221
15-16	94	1012,38
16-17	98,6	1061,922
17-18	100	1077
18-19	96,2	1036,074
19-20	87,3	940,221

Já para a definição do perfil de carga térmica de inverno a metodologia utilizada foi explicada na seção 5.3.2. Desta forma, a $TBS_{inverno}$ considerada foi de 18°C e a amplitude do inverno foi de 11,3°C. Consequentemente, o perfil de carga térmica encontrado para o inverno é mostrado na Tabela 6. 20.

Tabela 6. 20 Perfil de carga térmica no inverno

Hora	% CT	TR
08-09	48	516,96
09-10	54	579,5
10-11	57	617,72
11-12	61	661,13
12-13	65	702,06
13-14	68	732,82
14-15	70	753,17
15-16	71	760,86
16-17	70	753,17
17-18	68	735,31
18-19	66	707,27
19-20	63	674,02

6.2.2.3 Componentes críticos

Começaremos a análise dos componentes críticos pela definição da vida útil real dos componentes críticos. Relembrando, no capítulo 5 a metodologia proposta, foi sugerido a Eq. 5.2 para o cálculo da vida útil real. A vida útil teórica dos componentes críticos fora exposta no mesmo capítulo.

Na seção “Diagnóstico do sistema – Vistoria”, seção 6.2.1.1, cada componente foi avaliado. Desta forma, reunimos todos os valores de forma resumida na Tabela 6. 21 além do resultado final da vida útil real.

Tabela 6. 21 - Vida útil real

Equipamento	Nf	Nc	Nv	Nrv	Nm	Vida útil teórica (anos)	Vida útil real (anos)
<i>Chiller 1</i>	1	0,5	1	1	1	20	18
<i>Chiller 2</i>	1	0,5	1	1	1	20	18
<i>Chiller 3</i>	1	0,5	1	1	1	20	18
Torre de resfriamento 1	1	0,5	1	1	1	20	18
Torre de resfriamento 2	1	0,5	1	1	1	20	18
Torre de resfriamento 3	1	0,5	1	1	1	20	18
Bomba de água condensada 1	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água condensada 2	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água condensada 3	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água condensada 4	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água primária 1	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água primária 2	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água primária 3	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 1	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 2	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 3	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 4	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 5	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 6	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 7	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 8	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 9	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 10	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de água secundária 11	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de Etileno Glicol 1	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de Etileno Glicol 2	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de Etileno Glicol 3	1	1	1	1	1	20	20
Bomba de Etileno Glicol 4	1	1	1	1	1	20	20
<i>Fan-coil 01B</i>	1	1	1	1	1	20	20

Pela Tabela 6. 21 pode-se concluir que somente os *chillers* e as torres apresentaram redução em sua vida útil real, se comparada a teórica. Desta forma, estes apresentam vida útil real restante de quatro anos, enquanto os outros componentes apresentam vida útil de seis anos.

Analisando a Tabela 6. 22 e a Tabela 6. 23 pode-se observar o padrão de consumo dos equipamentos comparados com sua potência nominal.

Tabela 6. 22 - Cálculos dos equipamentos em funcionamento

Equipamento	Tensão média (V)	Corrente média (A)	Fator de Potência ($\cos \varphi$)	Potência Consumida (kW)	Potência Nominal (kW)	Relação Pc e Pn
Chiller 1	383,33	392,67	0,90	235,32	251	0,94
Chiller 3	383,33	405,33	0,90	242,91	251	0,97
Torre de resfriamento 2	376,00	20,08	0,83	10,84	11,03	0,98
Torre de resfriamento 3	371,33	19,47	0,83	10,38	11,03	0,94
Bomba de água condensada 1	376,00	41,43	0,86	23,18	22	1,05
Bomba de água condensada 2	374,67	39,50	0,86	22,02	22	1,00
Bomba de água primária 2	377,67	36,37	0,82	19,49	18,5	1,05
Bomba de água primária 3	376,33	33,38	0,82	17,82	18,5	0,96
Bomba de água secundária 2	376,67	78,07	0,87	44,26	75	0,59
Bomba de água secundária 3	375,33	81,17	0,87	45,85	75	0,61
Bomba de água secundária 7	374,00	4,51	0,85	2,48	2,2	1,13
Bomba de água secundária 9	377,33	14,22	0,79	7,33	9,2	0,80
Bomba de água secundária 11	374,00	14,20	0,84	7,72	9,2	0,84
Bomba de Etileno Glicol 2	374,33	80,88	0,9	47,14	45	1,05
Bomba de Etileno Glicol 3	376,33	86,90	0,9	50,92	45	1,13

Tabela 6. 23 - Cálculo das bombas reservas

Equipamento	Tensão média (V)	Corrente média (A)	Fator de Potência ($\cos \varphi$)	Potência Consumida (kW)	Potência Nominal (kW)	Relação Pc e Pn
Bomba de água condensada 3	374,67	41,49	0,86	23,13	22	1,05
Bomba de água condensada 4	375,33	40,77	0,86	22,77	22	1,03
Bomba de água primária 1	373,33	36,99	0,82	19,59	18,5	1,06
Bomba de água secundária 1	374,67	80,90	0,87	45,62	75	0,61
Bomba de água secundária 4	376,00	9,13	0,82	4,87	5,5	0,89
Bomba de água secundária 5	373,00	12,57	0,82	6,65	5,5	1,21
Bomba de água secundária 6	375,33	3,97	0,85	2,19	2,2	1,00
Bomba de água secundária 8	375,33	16,60	0,79	8,51	9,2	0,93
Bomba de água secundária 10	374,67	14,28	0,84	7,77	9,2	0,84
Bomba de Etileno Glicol 1	375,67	80,66	0,9	47,18	45	1,05
Bomba de Etileno Glicol 4	375,33	80,20	0,9	46,87	45	1,04

Para o cálculo de potência consumida usou-se a Equação 2.2. Pode-se observar que os motores das BACs e BEGs apresentam comportamento de consumo muito próximo do consumo nominal, o que é justificado pela ausência de variador de frequência. Sabe-se que as BAGS 4 e 5 são iguais, porém a BAGS 5 está funcionando 20% acima da capacidade nominal e a BAGS 4 está funcionando com 0,89 da capacidade. Como a diferença de potência consumida deveria ser análoga nas duas bombas, pode-se concluir que o problema não é na rede de água gelada, porém aumento do consumo pode ser devido a eventuais rebobinamentos nos motores, problema nas válvulas de regulagem de vazão ou incrustações na descarga ou sucção. O mesmo pode ser observado na BEG 3, se comparada às demais e na BAGS 7 se comparada a BAGS 6, porém a diferença de valores é menor.

As BAGS 1, 2 e 3 apresentaram consumos similares, porém se encontram abaixo da faixa de 75% e 100%. Essa faixa é considerada a faixa ótima de operação dos motores, pois indica uma região mais estável de rendimento, mesmo com variações de carga (WEG, 2015). Os três motores dessas bombas estão trabalhando com correntes próximas da metade da corrente nominal, o que pode ser um indicativo de que foram superdimensionados.

Os *chillers* utilizam o gás refrigerante R-22, este gás deve ser substituído até o ano de 2020 de acordo com o Protocolo de Montreal. Já referente aos valores de consumo encontra-se o esperado se comparado com a informação fornecida pela equipe de engenharia, porém suas temperaturas de trabalho se encontram fora dos valores estabelecidos pelo projetista, uma vez que o *setpoint* atual é de 5°C e o estabelecido em projeto é de 6°C, o que aumenta seu consumo previsto. Pela Figura 6. 10 pode-se observar que utilizando o *setpoint* de 5°C a água vai para o edifício a 7°C, devido as perdas no trocador de calor. As vazões nos *chillers* disponibilizadas pela interface do *software* não foram consideradas confiáveis, conseqüentemente foram descartadas.

O projeto informa que a temperatura de chegada da água deve ser 35 °C e saída 29,5°C, porém ela sai em média dos *chillers* a 32°C e das torres de resfriamento a 27°C, de acordo com a Tabela 6. 14 e Tabela 6. 15 das medições. As temperaturas da água das torres de resfriamento podem ser explicadas pela época do ano, uma vez que o final de maio é muito próximo do início do inverno. O presente projeto não teve acesso aos dados reais das vazões de água condensada nas torres. Então sua vazão foi considerada a vazão de projeto. As correntes medidas estão próximas de sua corrente nominal, o que é um comportamento já esperado, uma vez que não possuem variador de frequência.

Não há controle no consumo de água da torre, então não se conhece a perda de água por arraste, porém a perda de água para torres de resfriamento é de até 2% de sua vazão total. Conclui-se que o consumo de água das três torres é de até 13,89m³/h.

Como as bombas reservas, uma torre e um *chiller* não costumam ficar ligados, somente as análises feitas pela Tabela 6. 22 foram considerados para estudo do consumo. A Tabela 6. 24 ilustra o consumo da CAG no mês de maio e a Figura 6. 11 demonstra o histórico de consumo da CAG.

Tabela 6. 24 - Consumo CAG mês de maio

Equipamento	Consumo Ponta kWh/mês	Consumo Fora de Ponta kWh/mês	Consumo kWh/mês
<i>Chiller</i> 1	10354,14	51770,70	62124,85
<i>Chiller</i> 3	10688,15	53440,73	64128,87
Torre de resfriamento 2	321,98	1619,45	1941,43
Torre de resfriamento 3	308,27	1550,50	1858,77
Bomba de água condensada 1	1019,85	5099,23	6119,08
Bomba de água condensada 2	968,73	4843,65	5812,38
Bomba de água primária 2	857,36	4286,81	5144,18
Bomba de água primária 3	784,18	3920,89	4705,07
Bomba de água secundária 2	1947,34	9736,68	11684,02
Bomba de água secundária 3	2017,50	10087,48	12104,98
Bomba de água secundária 7	109,22	546,08	655,30
Bomba de água secundária 9	322,66	1613,32	1935,98
Bomba de água secundária 11	339,58	1697,88	2037,46
Bomba de Etileno Glicol 2	2074,07	10370,34	12444,41
Bomba de Etileno Glicol 3	2240,44	11202,21	13442,65
Valor Total	34353,46	171785,98	206139,44

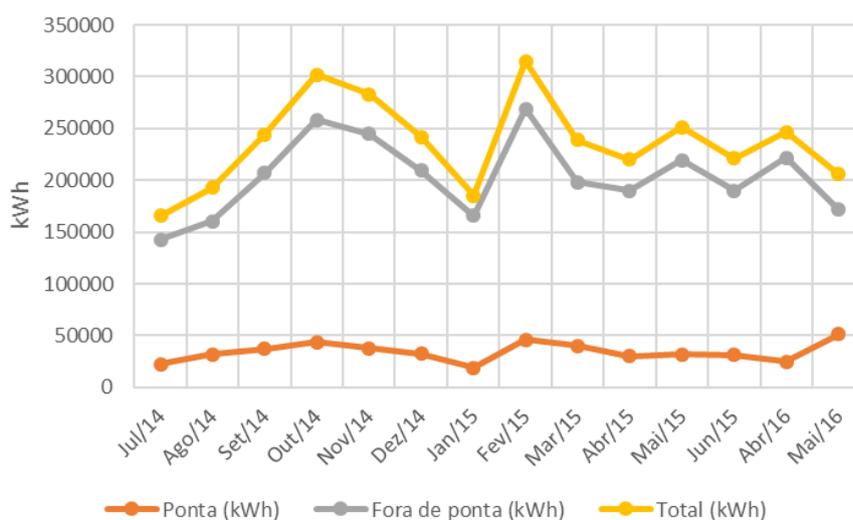


Figura 6. 11 - Histórico de consumo da CAG

A Figura 6. 11 foi gerada com os dados do consumo em kWh entre os meses de julho de 2014 e junho de 2015. A interface do *software* também forneceu os consumos do mês de abril de 2016 e através das medições feitas no dia 25 de maio estimou-se o consumo da CAG no mês de maio. O gráfico confirma que as estimativas geradas a partir das medições para o mês de maio estão coerentes.

Comparou-se a diferença de consumo ao longo dos meses e o comportamento observado foi de que nos meses de setembro, outubro e novembro houve um pico de consumo. Essa constatação confirma a observação feita pela equipe de engenharia de que devido ao clima seco e quente, o consumo aumenta nesses meses e é necessário usar o terceiro *chiller*. O mês de janeiro teve uma depressão no consumo e pode ser devido ao recesso coletivo. Já o mês de fevereiro apresentou um pico inesperado e pode ser justificado pelo uso do terceiro *chiller*. Os outros meses apresentaram um comportamento de consumo similar, com poucas diferenças entre si. Observa-se também que o consumo nos horários de ponta se manteve constante ao longo dos anos.

As contas de energia passadas foram usadas no presente projeto para confirmar que as estimativas geradas a partir das medições estão coerentes. Contudo seria interessante ter acesso as contas de energia nos anos anteriores para observar o padrão de consumo da CAG, provavelmente haverá um aumento do consumo, por conta da depreciação dos equipamentos. Desta forma, aumenta o embasamento da justificativa para o *retrofit* do sistema.

Os dados de consumo dos *fan-coils* estão excluídos da conta de ar condicionado da CEB, conseqüentemente a análise feita acima não incluiu os dados dos mesmos. No entanto, a cobrança dos 125 *fan-coils* está junto com a conta de energia do consumo da PGR, de forma não explicitada. Assim torna-se inviável a análise comparativa do consumo ao longo dos anos e as medições.

A análise do *fan-coil* foi feita através da Tabela 6. 18 e do memorial técnico descritivo, adquirido Pesquisa Documental, seção 6.2.1.2. Pode-se concluir que vazão de insuflamento do *fan-coil* apresenta o mesmo valor da estipulada por projeto, que é de 11.330 m³/h. Sua vazão de água gelada está 3% abaixo do valor de sua vazão desejada, que é de 7,16 m³/h, porém são valores muito próximos para indicar anormalidade. A temperatura do ar de insuflamento está quase 2°C acima do *setpoint* estabelecido que é de 10°C. É importante ressaltar que o tempo de funcionamento do *fan-coil* é de 46169 horas e que o sistema de água gelada da PGR está em operação desde 2002, em horas úteis é aproximadamente 43000 horas. Desta forma, pode-se concluir que o *fan-coil* sempre esteve em operação ao longo dos 14 anos.

6.2.3 Projetos conceituais

Não há soluções gerais de *retrofit*, o processo de levantamento de soluções é sempre customizado de acordo com o diagnóstico e as análises realizadas. No entanto, o conceito de modernização é sempre levado em consideração. Para a elaboração de projetos conceituais, o engenheiro deve focar na melhoria das características operacionais do sistema para atender as novas necessidades.

Para o caso em estudo, levantou-se as seguintes soluções de *retrofit* para a realidade da PGR e o principal foco será em projetos conceituais voltados para o *chiller*. De acordo com a “Análise dos dados” na seção 6.2.2 constatou-se que esses componentes apresentaram maior necessidade de *retrofit*, uma vez que haverá necessidade de atender o Protocolo de Montreal, como citado na seção 6.2.2.3.

a. *Retrofit* dos *chillers* existentes

Atualmente, a CAG funciona com *chillers* de parafuso da *York* que utilizam o gás refrigerante R-22. Como mencionado na análise, em 2020, se estes *chillers* continuarem em uso, eles deverão realizar a substituição do fluido refrigerante R-22, uma vez o mesmo será banido por conta do potencial de destruição da camada de ozônio. No entanto, a troca do refrigerante também exigirá eventuais troca de lubrificação e/ou dispositivos de expansão. Quando for realizar o *retrofit*, é fundamental coletar adequadamente o fluido refrigerante antigo, dando um destino seguro ao produto, evitando danos ao meio ambiente.

Outro fator importante nesta solução de *retrofit* é identificar qual produto será utilizado (nunca se deve misturar os produtos de fabricantes diferentes), pois perderá a característica química do fluido. Desta forma, recomenda-se que a equipe responsável pelo *retrofit* agende um horário com o técnico da *York* (Johnson).

a. Substituição dos três *chillers* atuais com compressor parafuso, 350 TR e condensação à água por três *chillers* com compressor centrífugo de 400 TR e condensação à água

A principal diferença entre os *chillers* é o compressor, o atual utiliza um compressor parafuso e o sugerido um centrífugo.

Os novos *chillers* propostos para esta solução são da *Johnson controls* e apresentam um COP de 5,81, bem superior ao atual, além de ter um consumo em kW menor. Estes *chillers* funcionam com o gás refrigerante R-134a e não destrói a camada de ozônio. Eles só trabalham com água gelada. No entanto, existe a opção de usar etileno glicol, caso há interesse em manter a termoacumulação, porém será não abordado este caso. Outra opção é a instalação do variador de frequência para permitir alterar a velocidade do eixo do motor para que o *chiller* possa trabalhar em cargas parciais. Todavia, essa tecnologia onera o projeto.

Outra vantagem da substituição proposta é a vazão de água gelada exigida na evaporadora, como são muito similares as bombas atuais, estas devem atender à nova realidade. Já as vazões recomendadas para o condensador estão próximas, porém superiores que as BAC e torres de resfriamento presentes no local. Na seleção do *chiller* a número de passes permaneceu igual ao anterior, desta forma as perdas de carga serão similares e a saída da rede de água gelada não sofrerá alterações. Para eventuais alterações no sistema de água gelada devido a nova demanda de vazões e perdas de carga recomenda-se o estudo com projetista sobre a real necessidade de troca de redes de água gelada, bombas e torres de resfriamento. O *datasheet* referente ao novo *chiller* se encontra em anexo.

Os três *chillers* de 400 TR vão atender a atual demanda do edifício, inclusive nos meses mais quentes do ano. E o ideal seria que operassem em conjunto com cargas parciais, uma vez que seu IPLV é superior ao *chiller* atual. O sistema de controle do *chiller* continuará sendo o *Optiview*, consequentemente para sua correta operação não será necessário treinamento da equipe de engenharia da PGR, uma vez que seu funcionamento é análogo. E por fim, os responsáveis pela manutenção preventiva dos *chillers* serão os mesmos.

b. Substituição dos três *chillers* atuais com compressor parafuso, 350 TR e condensação à água por dois *chillers* com compressor centrífugo de 600 TR e condensação à água

As principais diferenças entre os equipamentos são os compressores, o sugerido é um centrífugo, e o aumento expressivo de carga em apenas um *chiller*. O novo gás seria o R-134a e seu COP é de 5,74. Apesar de possuir o consumo 46% maior que o atual, seu IPLV é bem inferior, ou seja, para atingir a uma mesma demanda de toneladas de refrigeração, em cargas parciais o *chiller* de 600 TR utiliza menos energia.

O fluido de trabalho pode ser tanto em água gelada, quanto água com etileno glicol à 25%, como assegurado em projeto. Caso a termoacumulação venha a ser ativada, o *chiller* pode atender ao fluido necessário para seu funcionamento. O número dois de passes permaneceu igual ao *chiller* atual, para não causar maiores modificações no caminho da rede de água gelada. Contudo como as vazões necessárias no evaporador e no condensador aumentarão, então serão necessárias mudanças na rede de água gelada, torres de resfriamento, BACs e BEGs. Desta forma, recomenda-se o estudo por um projetista especialista em sistemas de água gelada sobre a real necessidade de alterações na CAG.

O *chiller* pode ser adquirido com ou sem variador de frequência, porém utilizando este seu rendimento em cargas parciais pode ser até 61% superior caso trabalhe a plena carga. Por conseguinte, a adição desta tecnologia eleva os preços dos equipamentos.

O sistema de controle permanece o mesmo, que é o *OptiView*. Isso facilita sua operação pela equipe de engenharia, uma vez que é análogo ao sistema atual.

A grande desvantagem é o uso de dois *chillers*, o que diminui a confiabilidade do sistema como um todo. Caso um *chiller* apresente avarias e venha a ser desativado, somente um equipamento de 600 TR estaria à disposição. A opção anterior diminui a dependência das URL's, uma vez que caso um apresente avaria ainda sim a PGR teria 800 TR a disposição.

a. Substituição dos três *chillers* atuais com compressor parafuso, 350 TR e condensação à água por três *chillers* com compressor parafuso de 400 TR e condensação à ar

O *chiller* de condensação a ar apresenta uma grande mudança na CAG, uma vez que a troca de calor no condensador não será feita mais com a água condensada, e sim com o ambiente externo. O *chiller* apresenta o compressor parafuso e o gás é R-134a. A quantidade de gás necessário para funcionamento é inferior se comparada aos *chillers* atuais e as opções anteriores, com isso gastos com manutenções podem ser menores. O consumo é menor em carga plena e seu COP é de 3,01, porém em cargas parciais seu consumo é superior as opções anteriores.

As torres de resfriamento são desnecessárias na nova realidade, então sua retirada é necessária. Com isso o consumo com água será inferior, conseqüentemente o impacto ambiental se reduz. A retirada das torres possibilita a instalação dos *chillers* de condensação a ar na sala da CAG, uma vez que devido as limitações mencionadas na seção 6.2.2.1 não é possível instalar o *chiller* no ambiente externo para possibilitar as trocas de calor. Contudo, o espaço disponível no teto não possui as dimensões necessárias para o *chiller*, conseqüentemente é imperativo sua adequação para a instalação das URL's. Desta forma, deve-se construir uma estrutura robusta que suporte o peso dos três *chillers*, que juntos pesam aproximadamente 36 toneladas, e os deixem o mais próximo possível do ambiente externo. É necessário também adequar da CAG para atender aos requisitos do sistema atual. Uma profunda intervenção deverá ser feita, podendo interromper a climatização dos blocos por tempo indeterminado.

O *chiller* de condensação a ar é mais silencioso que o *chiller* presente no local, conseqüentemente o ambiente de trabalho se torna mais confortável. As vazões das BACs e BEGs atendem as vazões exigidas pelo *chiller*, porém uma análise deve ser feita sobre a real necessidade, uma vez que as bombas podem estar superdimensionadas. Podem apresentar variador de frequência, o que encare seu valor final em 50%, porque os *chillers* que apresentam variador de frequência são importados.

c. CPO 10 – Sistema de automação da CAG

Central Plant Optimization 10 (CPO 10) é uma plataforma central de otimização de rendimento da marca *Johnson controls*. Pode ser integrada ao sistema de automação original da PGR. O CPO 10 fornece em tempo real o monitoramento da CAG, relatórios periódicos de energia e cria perfis de consumo ao longo do tempo. O sistema trabalha com todos os tipos de plantas de água gelada e se integra com todos os componentes, mesmo sendo de fabricantes diferentes. Estudos mostram que é possível economizar até 15% de energia. Essa economia é possível já que a equipe de engenharia teria a sua disposição relatórios do real rendimento da CAG, perfis de consumo da PGR ao longo do dia e o comportamento de equipamentos separadamente. A adição do CPO 10 diminui o consumo de energia e possibilita o ganho de pontos para certificação LEED.

O CPO 30 é a evolução do CPO 10. Esse sistema se integra na CAG e realiza mudanças instantâneas em todos os componentes a partir da real demanda do edifício. Enquanto o CPO 10 a equipe de engenharia deve realizar as devidas mudanças na CAG para melhor o rendimento, o CPO 30 faz essas mudanças automaticamente. A economia esperada com o CPO 30 é entre 20 e 60 %. A plataforma ainda não está disponível no Brasil, porém é uma alternativa vantajosa para futuras aplicações de *retrofit* em sistemas de água gelada.

Para a adição da plataforma de controle de otimização não ocorrerá intervenções profundas, uma vez que não é necessário trocar os componentes presentes na CAG.

d. Reativar termoacumulação

Atualmente, a PGR tem dois tanques de termoacumulação desativados por conta de corrosão generalizada dos tanques, falha das *icesballs* e contaminação da solução de MEG. Desta forma, uma possível reativação dos mesmos implica em ações de reparo. Esta recuperação já foi estudada previamente por uma equipe de engenheiros liderada pelo professor João Pimenta em 2005. Na época foram estudadas três propostas para a reativação e todas elas envolveram o descarte das *iceballs* e aquisição e outras novas. A proposta A seria a recuperação da solução de MEG e custaria na época R\$ 806.012,48. A proposta B envolve o descarte da solução MEG e custaria na época R\$1.078.579,00. Por fim, a proposta C que seria a substituição completa dos tanques de gelo por um sistema com conceito diferente onde a formação de gelo se dá sobre bancos de feixes de tubos. O custo desta última opção não foi concluído com sucesso pois não obtiveram resposta da fabricante. No entanto, pressupões que a proposta C implicaria em custos e prazos de execução mais elevados que as demais propostas. Diante deste estudo, conclui-se que é necessário um estudo mais aprofundado das atuais necessidades do *retrofit* deste componente, uma vez que os valores das propostas hoje estarão inflacionados.

6.2.4 Avaliação dos projetos conceituais

Como citado anteriormente, o conjunto de *chillers* apresentou a necessidade de retrofit imediata devido às exigências do Protocolo de Montreal acerca da extinção do uso do gás refrigerante R-22. Desta forma, é indispensável a análise dos Projetos Conceituais voltados para o retrofit das URL's. O CPO-10 e a reativação da termoacumulação não serão avaliados nas etapas seguintes, pois não são mudanças imperativas.

6.2.4.1 Viabilidade Econômica

Através da seção 5.5.1 de Viabilidade Econômica da metodologia, foram levantados os valores para seu estudo. Primeiramente, foi definido o investimento inicial necessário para cada Projeto Conceitual e em seguida as despesas com contratos de manutenção foram levantadas. As economias de energia de cada solução geraram as receitas.

- **Investimento**

Para a obtenção investimento dos *chillers* e investimento na instalação foi necessário fazer pesquisas de mercado. Para o presente projeto, a fabricante *Johnson controls* forneceu os valores para a aquisição de cada uma das três soluções propostas. Os valores dessa não englobam projeto e possíveis adaptações da CAG. Os valores do retrofit do *chiller* foram fornecidos pela fabricante *Trane*. Já os custos de instalação pela empresa *Connector Engenharia*. No entanto, em uma aplicação real é essencial a participação de um projetista de sistemas de água gelada para a análise dessas mudanças. A Tabela 6.25 reuni todos os valores dos custos.

Tabela 6.25 - Valores dos investimentos

	Retrofit de <i>chillers</i> atuais	3x <i>Chillers</i> à água de 400 TR	2x <i>Chillers</i> à água 600 TR	3x <i>Chillers</i> à ar de 400 TR
Tecnologia				
<i>Chillers</i>	R\$ 1.575.000,00	R\$ 1.581.000,00	R\$ 1.710.000,00	R\$ 2.190.000,00
Instalação				
Remoção de <i>chillers</i>	R\$ 90.000,00	R\$ 90.000,00	R\$ 90.000,00	R\$ 90.000,00
Substituição <i>chillers</i>	R\$ 240.000,00	R\$ 240.000,00	R\$ 220.000,00	R\$ 210.000,00
Interligação hidráulica	R\$ 25.000,00	R\$ 25.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 25.000,00
Estrutura para descarga de ar com obras civis	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 165.000,00
Revisão do isolamento	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00	R\$ 9.000,00	R\$ 10.000,00
Pintura/Suportes	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Valor total Instalação	R\$ 405.000,00	R\$ 405.000,00	R\$ 354.000,00	R\$ 505.000,00
Total Geral				
Custos	R\$ 1.980.000,00	R\$ 1.986.000,00	R\$ 2.064.000,00	R\$ 2.695.000,00

Pode-se observar pela Tabela 6. 25 que o investimento no retrofit dos *chillers* presentes na PGR se diferencia em apenas R\$ 6.000,00 se comparado ao investimento dos três *chillers* de 400 TR de condensação a água. Contudo, o ciclo de vida deste será igual a vida útil teórica, que é de 20 anos, enquanto a vida útil dos *chillers* atuais de apenas quatro anos, como visto em “Componentes Críticos”, seção 6.2.2.3. Pode-se concluir, que o retrofit do *chiller* não é uma solução viável financeiramente e tecnicamente, devido à sua curta vida útil restante. Consequentemente, sua análise financeira será excluída nas etapas.

O valor da instalação do *chiller* de condensação à ar é superior que os demais, pois envolve maiores alterações na CAG por conta das obras civis para a construção do duto de descarga do ar quente.

- **Despesas**

Como citado na seção 5.5.1, o presente projeto irá considerar somente o contrato de manutenção como despesa. O valor mensal da manutenção dos três *chillers* foi obtido através da “Pesquisa Documental” na seção 6.2.1.2 e considerou-se, para fins de análise, os mesmos valores unitários de manutenção para as soluções propostas. A Tabela 6. 26 apresenta os valores referentes ao contrato de manutenção.

Tabela 6. 26 - Valores das despesas

	3x Chillers à água de 350 TR [kW]	3x Chillers à água de 400 TR [kW]	2x Chillers à água 600 TR [kW]	3x Chillers à ar de 400 TR [kW]
Contrato de manutenção				
Mensal	R\$ 6.350,00	R\$ 6.350,00	R\$ 4.223,60	R\$ 6.350,00
Anual	R\$ 76.200,00	R\$ 76.200,00	R\$ 50.683,20	R\$ 76.200,00
Despesa	-	R\$ 0,00	-R\$ 25.516,80	R\$ 0,00

Pode-se observar na Tabela 6. 26 que o cálculo das despesas anuais dos dois *chillers* de 600TR de condensação a água apresentou valor negativo, enquanto os outros valores nulos. Conclui-se que nesse caso a despesa do contrato de manutenção se torna receita, uma vez que houve economia em seu valor. Já os valores nulos são justificados pela ausência de mudanças no valor do contrato.

- **Receitas**

De acordo com os *datasheets* dos *chillers* em anexo, pode-se definir o consumo exigido em kW e a capacidade de refrigeração em TR correspondente para cada carga parcial. Os valores são unitários, então para se ter conhecimento do consumo do conjunto de equipamentos a cargas parciais, deve-se multiplicar pela quantidade de *chillers*. Desta forma, a primeira proposta hipotética é a troca por três *chillers* de condensação à água de 400 TR e os dados individuais de consumo (kW) e capacidade de refrigeração foi multiplicado por três para mostrar o total. A segunda proposta é a troca dos *chillers* atuais por dois *chillers* de condensação à água de 600 TR, assim os dados individuais de consumo (kW) e capacidade de refrigeração (TR) foi multiplicado por dois para mostrar o total. Por fim, a última proposta de substituição dos *chillers* atuais é a troca por três *chillers* de condensação à ar de 400 TR, portanto, é multiplicado por três os dados individuais de consumo (kW) e capacidade de refrigeração (TR).

A Tabela 6. 27 e Tabela 6. 28 é o resumo do consumo ao longo de um dia de projeto durante o verão e um dia de projeto durante o inverno da situação atual e das propostas de *retrofit*. À vista disso, o consumo está discriminado hora a hora de acordo com o perfil de carga térmica e a partir disso tem-se o consumo correspondente para cada carga parcial.

Tabela 6. 27 - Consumo ao longo do dia de projeto para o verão

Hora	%CT	3x Chillers à água de 350 TR [kW]	3x Chillers à água de 400 TR [kW]	2x Chillers à água 600 TR [kW]	3x Chillers à ar de 400 TR [kW]
08-09	49,5	246	191,91	172	470,7
09-10	57,7	315	191,91	172	470,7
10-11	64,2	405	396	380	838,2
11-12	70,2	509	396	380	838,2
12-13	75,1	507	396	380	838,2
13-14	80,6	615	396	380	838,2
14-15	87,3	615	396	380	838,2
15-16	94	750	723	734	1401
16-17	98,6	750	723	734	1401
17-18	100	750	723	734	1401
18-19	96,2	750	723	734	1401
19-20	87,3	615	396	380	838,2

Tabela 6. 28 - Consumo ao longo do dia para o inverno

Hora	%CT	3x Chillers à água de 350 TR [kW]	3x Chillers à água de 400 TR [kW]	2x Chillers à água 600 TR [kW]	3x Chillers à ar de 400 TR [kW]
08-09	48%	246	191,91	172	470,7
09-10	54%	315	191,91	172	470,7
10-11	57%	315	191,91	172	470,7
11-12	61%	405	191,91	172	470,7
12-13	65%	405	396	380	838,2
13-14	68%	405	396	380	838,2
14-15	70%	507	396	380	838,2
15-16	71%	507	396	380	838,2
16-17	70%	507	396	380	838,2
17-18	68%	405	396	380	838,2
18-19	66%	405	396	380	838,2
19-20	63%	405	191	172	470,7

Pode-se observar na Tabela 6. 28 que o consumo dos *chillers* ao longo do dia são menores se comparados com a Tabela 6. 27. Isso deve-se ao fato de que no inverno as temperaturas são mais amenas, conseqüentemente o perfil de carga térmica da PGR diminui. A partir destas tabelas, podemos obter os consumos fora ponta (8h às 17h) e ponta (18h às 20h) através da soma dos consumos de cada hora.

Na realidade da PGR espera-se que o funcionamento seja apenas de segunda à sexta, conseqüentemente a quantidade de dias de funcionamento da CAG considerada nos cálculos de potencial de economia de energia é de 240, sendo 120 dias para o verão e 120 dias para o inverno.

Os horários de funcionamento da CAG definidos na seção 6.2.1.3 é de 8h às 20h e serão utilizados para os cálculos do potencial de economia de energia. Sendo que de 8h às 17h é considerado fora ponta e das 18h às 20h é ponta. De acordo com as contas passadas da CEB, pode-se constatar que para o caso da PGR a cobrança é feita pela tarifa hora sazonal verde para setor público AS. Desta forma, o valor da tarifa de ponta é de R\$ 1,5503557 e a tarifa fora de ponta é R\$ 0,4707598, tanto no período seco quanto no período úmido.

A Tabela 6. 29 mostra o resumo dos principais resultados do cálculo do potencial de economia de energia. O consumo anual de cada estação é a soma dos consumos ponta e fora ponta por dia multiplicado por 120 dias. Já o custo anual de cada estação, e a soma dos custos de ponta e fora ponta que foram calculados de acordo com a tarifa cobrada pela CEB. Os dados totais nada mais é do que a soma de verão e inverno. A economia anual total é dada pela diferença do consumo anual total da

situação presente e da proposta de *retrofit*. Por fim, o potencial de economia de energia é dado pela diferença do custo anual da situação presente e a proposta de *retrofit*.

Tabela 6. 29 – Potencial de economia de energia

	3x Chillers à água de 350 TR [kW]	3x Chillers à água de 400 TR [kW]	2x Chillers à água 600 TR [kW]	3x Chillers à ar de 400 TR [kW]
Verão				
Consumo Fora Ponta [kWh]	5.214,00	4.532,82	4.446,00	9.335,40
Consumo Ponta [kWh]	1.365,00	1.119,00	1.114,00	2.239,20
Consumo anual [kWh]	789.480,00	678.218,40	667.200,00	1.388.952,00
Custo anual [R\$]	R\$ 548.493,26	R\$ 464.246,10	R\$ 458.411,32	R\$ 943.954,50
Inverno				
Consumo Fora Ponta [kWh]	3.771,00	3.143,64	2.968,00	6.912,00
Consumo Ponta [kWh]	810,00	587,00	552,00	1.308,90
Consumo anual [kWh]	549.720,00	447.676,80	422.400,00	986.508,00
Custo anual [R\$]	R\$ 363.722,80	R\$ 286.794,98	R\$ 270.361,37	R\$ 633.978,28
Total				
Consumo anual [kWh]	1.339.200,00	1.125.895,20	1.089.600,00	2.375.460,00
Economia anual [kWh]	-	102.043,20	127.320,00	- 436.788,00
Custo anual [R\$]	R\$ 912.216,05	R\$ 751.041,07	R\$ 728.772,69	R\$ 1.577.932,78
Receita anual [R\$]	-	R\$ 161.174,98	R\$ 183.443,36	-R\$ 665.716,73

- **Cálculo da Viabilidade Econômica**

Para iniciar o cálculo da viabilidade econômica, recomenda-se adotar premissas a respeito ao horizonte do tempo, à inflação e a taxa mínima de atratividade (TMA). Desta forma, o horizonte de tempo definido foi de 20 anos para os *chillers* de condensação à água e de 15 anos para o *chiller* de condensação à ar. Já para a inflação, o MMC, como disposto na 5.5.1, foi utilizado para demonstrar uma variação hipotética da receita ao longo dos anos. A linha selecionada foi a média de cada coluna, como pode ser visto no Apêndice, seção B.2. Por fim, a TMA será de 8,72%, como explicado no Capítulo 5, seção 5.5.1.

A Tabela 6. 30 mostra um resumo dos resultados da viabilidade econômica para os três cenários em estudo. Pode-se observar que dos três projetos conceituais, os dois primeiros são viáveis financeiramente e o último, os três *chillers* de condensação a ar, é inviável.

Tabela 6. 30 - Resultados da viabilidade econômica

	3x Chillers à água de 400 TR [kW]	2x Chillers à água 600 TR [kW]	3x Chillers à ar de 400 TR [kW]
VPL	-R\$ 378.135,38	R\$ 32.906,16	-R\$ 7.703.389,95
TIR	6,140%	8,924%	Erro
Payback	12 anos/9 meses/5dias	10 anos/5 meses/20 dias	0

O projeto de três *chillers* de 400TR de condensação a água apresentou valor negativo de VPL, ou seja, o projeto tem retorno menor que o investimento inicial. No entanto, o valor da TIR encontrado é positivo e o *payback* do investimento de 12 anos, aproximadamente.

O projeto mais vantajoso, de acordo com cálculos realizados, é o segundo caso, dois *chillers* de 600TR de condensação a água. Seu VPL apresentou valores positivos, ou seja, o projeto proporciona retorno maior que o investimento inicial. O valor da TIR foi o mais alto e próximo dos 10%. Por fim, o *payback* do projeto é após 10 anos do investimento inicial.

A substituição dos três *chillers* atuais por três *chillers* de condensação a ar não é viável financeiramente. Isso deve-se ao seu alto consumo energético, se comparado aos demais, e alto investimento inicial, com o equipamento e instalação. Não foi encontrado nenhum valor de TIR que zere o VPL e seu *payback* não atinge o retorno no horizonte de tempo definido, que é sua vida útil teórica.

Assim sendo, pode-se concluir através do estudo da viabilidade econômica que os dois primeiros projetos são viáveis financeiramente, porém o segundo apresenta retorno maior do que investimento inicial e o *payback* em menor tempo. Este resultado pode ser justificado pelo menor valor de instalação e também pelo excelente desempenho a cargas parciais.

6.2.4.2 Sustentabilidade

O TEWI do conjunto de *chillers* atuais e dos *chillers* propostos foi calculado conforme a Equação 2.4 e os dados utilizados, assim como o valor final do TEWI, se encontra na Tabela 6. 31. O valor de consumo energético anual (E) dos *chillers* pode ser visto na Tabela 6. 29 na seção 6.2.4.1. A carga de refrigerante (m) dos *chillers* se encontra nos Anexos A.1. Os anos em operação (n) do *chiller* atual é de 14 anos, então para fins de comparação adotou-se os mesmos valores para os outros casos. A seção 2.7.4 descreve os valores adotados para α , β e L.

Tabela 6. 31 – Comparação de TEWI para chillers

	3 x Chillers à água de 350 TR	3 x Chillers à água de 400 TR	2 x Chillers à água de 600 TR	3 x Chillers à ar de 400 TR
Refrigerante	R-22	R-134	R-134	R-134a
GWP [kgCO ₂ /kg refrigerante]	1810	1410	1410	1410
m [kg]	381	360,6	458,13	336
L [kg/ano]	38,1	36,06	45,813	33,6
n [anos]	14	14	14	14
α [%]	0,75	0,75	0,75	0,75
E [kW/ano]	504960	478305,6	473120	970992
β [kg(co ₂)/kWh]	0,248	0,248	0,248	0,248
TEWI unitário [kgCO ₂]	2.891.077,62	2.499.612,94	2.708.512,09	4.152.988,22
TEWI total [kgCO ₂]	8.673.232,86	7.498.838,83	5.417.024,17	12.458.964,67

Pode-se observar pela Tabela 6. 31 que o valor de TEWI dos três equipamentos de 350 TR é maior, esse valor é observado devido ao gás refrigerante R-22 e ao seu maior consumo de energia. O *chiller* de 400 TR apresentou uma redução de 14% se comparado ao valor dos equipamentos atuais, enquanto para o *chiller* de 600 TR foi de 28%. Os valores deste são justificados pela carga de refrigerante utilizada, uma vez que são apenas duas URL's totalizando 916,26 kg de R-134a e como *chiller* de 400 TR são três unidades, o total de refrigerante R-134a é de 1081,8 kg. Outro fator que contribuiu para redução do TEWI foi a diminuição no consumo de energia em 2%, se comparado com o segundo caso. O *chiller* de condensação a ar de 400 TR possui os maiores valores de TEWI devido ao seu elevado consumo de energia, seu aumento foi de 43%. Logo conclui-se que o *chiller* de 600 TR apresenta o maior grau de sustentabilidade.

É importante ressaltar que com o aumento da capacidade de refrigeração do sistema, haverá também o aumento de vazão da água de condensação nas torres de resfriamento. Com isso, as perdas de água serão maiores.

6.2.4.3 Atende parcialmente os critérios do cliente

Diante do estudo das seções anteriores 6.2.4.1 e 6.2.4.2, os projetos selecionados nesta primeira triagem são:

- Substituição dos três *chillers* atuais com compressor parafuso, 350 TR e condensação à água por três *chillers* com compressor centrífugos de 400 TR e condensação à água e
- Substituição dos três *chillers* atuais com compressor parafuso, 350 TR e condensação à água por dois *chillers* com compressor centrífugos de 600 TR e condensação à água.

Estas propostas foram as únicas que apresentaram viabilidade econômica, além de bons índices de sustentabilidade. Portanto, tais projetos conceituais seguirão para a análise de prazo.

6.2.4.4 Prazo

Para o prazo somente a troca do *chiller* foi levada em consideração, sem maiores intervenções na CAG. De acordo com a empresa instaladora *Connector Engenharia*, a instalação é feita de forma gradual para que diminua o máximo possível o impacto na operação. O ideal é a remoção um *chiller* de cada vez e para que possa realizar adaptações nas redes de água gelada e em seguida a instalação do novo equipamento.

Para a instalação de cada *chiller* espera-se que dure aproximadamente 45 dias, independente da capacidade. Detalhes referentes a instalação podem ser vistos na Tabela 6. 25. Espera-se que para o conjunto de três *chillers* de condensação a água de 400 TR o prazo de instalação seja de aproximadamente 135 dias, excluindo o prazo de entrega dos equipamentos pela fabricante. E para o conjunto de dois *chillers* de 600 TR de condensação a água o prazo é de 90 dias. As instalações excluem eventuais trocas e adaptações de bombas, torres de resfriamento, rede de água gelada e quadros elétricos.

Pode-se concluir que os prazos de instalação dos dois *chillers* de 600 TR são mais vantajosos, se comparados aos três *chillers* de 400. Porém em uma aplicação real da metodologia, o estudo das intervenções na CAG deve ser feito a fim de que se possa saber os níveis de intervenções necessárias.

6.2.5 Tomada de decisão

Analisando apenas a substituição do equipamento, os dois *chillers* de 600 TR de condensação a água apresentaram melhores resultados em todas as etapas da metodologia. O resultado é justificado pela quantidade de equipamentos, uma vez que influencia diretamente na carga de gás refrigerante e no tempo de instalação, dois dos fatores preponderantes para definir o critério de Sustentabilidade e Prazo. Outra grande influência no resultado é seu excelente desempenho a cargas parciais, resultando em menor consumo de energia se comparado aos *chillers* de 400 TR de condensação a água. Como citado em Projetos Conceituais, seção 6.2.3, a grande desvantagem é o uso de dois *chillers*, o que diminui a confiabilidade do sistema como um todo. Em caso de falha de um equipamento, a PGR teria sua demanda atendida por somente um *chiller*. Neste caso, recomenda-se a compra de mais um equipamento de 600 TR para manter como reserva. Apesar do *chiller* de 600 TR de condensação a água apresentar os melhores resultados, é imperativo a realização de um estudo a respeito das alterações na CAG. A solução adotada provavelmente implicará em maiores intervenções, porém é necessário a análise por um projetista de sistemas de água gelada para se ter conhecimento das reais necessidades do sistema.

7 CONCLUSÃO

O *retrofit* de edifícios tem sido um tema recorrente, aliado ao conceito de sustentabilidade. Com base no que foi exposto, os sistemas de ar condicionado são responsáveis por aproximadamente 50% do consumo de energia elétrica das edificações. Assim, o tema de *retrofit* relacionado a climatização vem se tornando uma das prioridades de atuação.

A metodologia proposta no presente trabalho não tem a pretensão de definir uma rotina de passo a passo rígida a ser seguida, mas sim, propor uma sistematização de etapas que visam orientar o profissional nos rumos a seguir. É importante enfatizar que cada instalação de sistema de água gelada é única. Logo, não se pode considerar que determinada solução sirva de modelo absoluto para todos os casos.

Basicamente, a proposta das etapas principais para elaboração do *retrofit* são: investigação e diagnóstico da instalação, análise dos dados levantados, elaboração de soluções possíveis, avaliação das mesmas, escolha de uma solução e desenvolvimento num projeto final.

O estudo de caso na Procuradoria Geral da República teve como objetivo aplicar a metodologia em um caso real para justamente testar a mesma e obter feedbacks para melhorias. Acerca disso, algumas considerações tornam-se essenciais. O estudo foi muito proveitoso para ampliarmos os nossos conhecimentos relacionado a prática. Este tema exigiu uma abrangência grande a certa das áreas de conhecimento que envolvem um sistema de água gelada, como: instalações prediais, engenharia de manutenção, elétrica, termodinâmica entre outros. Na etapa da viabilidade econômica tivemos dificuldade na pesquisa de mercado, pois não conseguimos obter alguns orçamentos.

Por fim, algumas sugestões de trabalhos futuros foram identificadas ao longo trabalho. A primeira sugestão é ampliar os estudos para outros elementos do sistema de água gelada que não foram considerados neste projeto, como por exemplo tubulações, rede de dutos e válvulas. Outra necessidade identificada foi o estudo de uma análise de riscos dos projetos conceituais. A terceira sugestão está relacionada com o desenvolvimento de ferramentas para otimizar a metodologia proposta, como por exemplo questionários *online*. A última e a mais ambiciosa das sugestões é o desenvolvimento de uma metodologia mais ampla que integre o *retrofit* de climatização com os demais *retrofits* como o de iluminação e arquitetônico. Esta sugestão se faz interessante por ser um *retrofit* completo da edificação.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALPINA EQUIPAMENTOS. *Perdas de água em torres de resfriamento*. Disponível em <<http://www.alpinaequipamentos.com.br/pdf/perdas-de-agua-em-torre-de-resfriamento.pdf>>. Acesso em 21 maio 2016.

ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.

ANEEL. *Estudo de vida útil econômica e taxa de depreciação*. CERNE – Centro de Estudos em Recursos Naturais e Energia, Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Nov 2000.

ANEEL, resolução número 176, decretado no dia 28 de novembro de 2005

ANEEL, resolução número 456, decretado no dia 29 de novembro de 2000.

ASHRAE, Handbook of AC Systems and Equipment. 1992

ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, New York. 2001.

BANCO CENTRAL. *Remuneração dos depósitos de poupança*. 21 jun 2016.

BARRIENTOS, M. I. G., *Retrofit de edificações: um estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais*. Dissertação de mestrado apresentada a FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, R. M. e Mendes, N. *Simulação de sistemas de expansão indireta: análise higrotérmica da serpentina*. Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Rio de Janeiro, Brasil. 2004.

CASAROTTO Filho, Nelson e Kopittke, Bruno Hartmut. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão*. 9a edição, Vértice, Editora Revista dos Tribunais, São Paulo. 2000.

Commercial Building Energy Efficiency Retrofit. Publicado por HVAC HESS. 2010

COOPERMAN A., Dieckmann J., Brodrick J. *Control Systems & LEED*. Publicado por: ASHRAE Journal. 2012.

CHUNG, William; HUI, Y. V.; MIU LAM, Y. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. Applied Energy, v. 83, n. 1, p. 1-14, 2006.

CYPRESS ENVIROSYSTEMS. *For energy efficiency and demand response*. 2010.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. *A escolha do tipo de condensação em sistema de climatização*. 31 maio 2011.

ELECTRIC REPRESENTAÇÕES. *Torres de resfriamento*. Disponível em < <http://electric-sc.com.br/produto/view/002-torres-de-resfriamento#.V2qkqPkrLIX> > Acesso em: 21 maio 2016.

ELETROBRÁS/PROCEL, Orientações Gerais para Conservação de Energia. Rio de Janeiro, 2009.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Relatório Síntese do ano base 2013: Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro, p. 54. 2014.

Especificações Técnicas de edifícios comerciais: Ar condicionado", colaboração da Johnsons Controls, pag 22 a 26 Revista Building - pesquisa imobiliária inteligente, ed. 7, 3o triênio de 2009.

GHISI, Enedir. *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

GUIMARÃES, Luciana Fernandes. *O retrofit e a modelagem de informações como ferramenta na análise de projetos*. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

HERNANDES, T. Z. e DUARTE, D. H. *Leed-nc como sistema de avaliação da sustentabilidade: questionamentos para uma aplicação local*. Publicado no IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. 2007.

JOHNSON CONTROLS, Catálogo de *chiller* da York, disponível em http://www.johnsoncontrols.com/content/us/en/products/building_efficiency/products-and-systems/integrated_hvac_systems/Industrial_Commercial_HVAC_Equipment/chiller_systems/hvac_chillers.html. Acesso em: 25 out. 2015.

JOHNSON CONTROLS. *Case study: Edifício Sede dos Correios de Salvador*. 2009.

LOPES, M. N. *Apostila: Sistema de Água Gelada*. Instituto Federal de Santa Catarina. 2014.

LUCON, Oswaldo; Goldemberg, José . *Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. Estudos Avançados*, v. 23, p. 121-132, 2009.

MATOS, R. S. *Apostila: Climatização*. Universidade Federal do Paraná. 2008

MIRANDA, M. M., Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação de mestrado apresentada a USP, 2014

MCWILLIAMS, J. A. and Walker, I. S. *A Systems Approach to Retrofitting Residential HVAC Systems*. Lawrence Berkeley National Laboratory, May 2004

MENDONÇA, A.C. U. *Retrofit: Arquitetura Sustentável*. Trabalho final de graduação da Universidade Católica de Minas Gerais. 2007

MORAES, Virgínia T.F. e QUELHAS, Osvaldo L. G. *O Desenvolvimento da metodologia e os processos de um “retrofit”*. Revista eletrônica: Sistemas & Gestão 7, pp 448 – 461, 2012.

MUKHERJEE, J. *Retrofitting Central HVAC Systems: Case studies*. Publicado pela TATA Enterprise. 2009.

NESLER, C. *Case Study – Empire State Building Retrofit*. Johnson controls. 2013.

O mundo precisa acelerar esforços para alcançar meta de energia sustentável para todos em 2030. Publicado pela: ONU – Organização das Nações Unidas. 20 maio 2015.

PINTO, M. O. *Contribuição das Ciências Contábeis para o Desenvolvimento Sustentável*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.

PIMENTA, João. *Refrigeração: O Ciclo de Refrigeração por Compressão a Vapor*. Março a Julho de 2012. 96 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.

PIMENTA, João. *Refrigeração: Compressores de Refrigeração*. Abril a Julho de 2008. 251 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.

PIMENTA J.M.D, *Reentrada em operação da termoacumulação da central de água gelada do sistema de ar condicionado do edifício sede da Procuradoria Geral da República, Universidade de Brasília*, 2004

PIPER, James. *HVAC Retrofits: 8 factors leading facility executives to the best choices*. 2003

PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) “Manual de tarifação de da energia elétrica”. 2010

Modelo de Relatório de Manutenção. Service Engenharia de Manutenção. 2015.

SAMANEZ, Carlos Patricio. *Engenharia econômica*. São Paulo. Pearson Prentice Hall. 2009.

SERAFIN, R. M. *Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do retrofit no edifício sede da eletrosul*. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

STILLWELL, A. S. e WEBBER, M. E. *Novel methodology for evaluating economic feasibility of low-water cooling technology retrofits at power plants*. Revista Water Policy, ed.15, pp 292-308. 2013.

STOECKER, Wilbert F., Jones, J.W.; *Refrigeração e ar condicionado*; tradução: José M. Saiz Jabarco et al.; São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1985.

TICONA, E. M. *Determinação experimental do coeficiente de troca de calor em um gerador de paste de gelo*. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio Rio de Janeiro, 2013.

VALE Maurício Soares do. *Diretrizes para racionalização e atualização das edificações: segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do retrofit*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/FAU. Rio de Janeiro, 2006.

PIMENTA J.M.D. *Reentrada em operação da termoacumulação da central de água gelada do sistema de ar condicionado do edifício sede da Procuradoria Geral da República*. Universidade de Brasília, 2004.

PROCEL. *Manual de tarifação*. 20 aug. 2011.

WEG. *Motores elétricos – Guia de especificações*. 17 jun 2016.

WEG. *Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – Especificação, características e manutenção*. Jul 2015.

ANEXOS

A.1 Datasheet dos chillers

A.1.1 Datasheet do chiller de 350 TR de condensação a água

Unit Tag		Qty	Model No.	Capacity (tons)	Power	Refrigerant
UR01/02/03		3	YSDACAS3-CME	350	380/3/60	R-22
Unit Data		Evaporator			Condenser	
EWT (°F)		53.48			85.1	
LWT (°F)		42.80			94.67	
Flow Rate (gpm)		855			1050	
Pressure Drop (ft)		25.2			29.2	
Fluid Type (%)		ETHYLENE GLYCOL - 28			WATER	
Circuit No. of Passes		2			2	
Fouling Factor (ft ² °F hr/Btu)		0.00010			0.00025	
Tube No. / Description		182 - 0.028" Enhanced Copper			221-0.028" Enhanced Copper	
Design Working Pressure (psig)		150			150	
Entering Water Nozzle @Location:		E			T	
Leaving Water Nozzle @Location:		B			U	
Water Box Weight, ea (lbs)		411*			254*	
Cover plate Weight, ea (lbs)		n/a			n/a	
Return Head Weight (lbs)		345			180	
Water Weight (lbf)		541			447	
PERFORMANCE DATA		ELECTRICAL DATA		OTHER		
KW	251	FLA	442	Operating Wt. (lbs)	15629	
KW/TON	0.717	LRA	2955	Per Isolator	3907	
NPLV (1)	0.538	Inrush Amps	1330	Refrigerant Wt. (lbs)	840	
SHAFT HP	320	Mini Circuit Ampacity (Amps)	556	Oil Charge (gal)	10	
		Max Fuse/ Breaker	800	Motor Wt. (lbs)	1930	
				Compressor Wt. (lbs)	2190	
				Starter Wt. (lbs)	200	
				Shipping Wt. (lbs)	15041	
		Type Starter: Solid State Starter				
Notes: (1) Chiller NPLV value calculated to ARI Standard 550/590-98 equation. * with applicable water flanges.						

A.1.2 Cargas parciais do *chiller* de 350 TR de condensação a água

** YORK MILLENNIUM SCREW CHILLER SELECTION PROGRAM (AF101)**

DATE: 03/04

REV. V4_25.I.D.D

OPEN SCREWPAK MODEL YSDACAS3-CME0

REFRIG = 22

HERTZ = 60

COOLING DUTY - CWT IS WATER TEMP ENTERING CONDENSER

PORCENT LOAD	CAPACITY (TONS)	PERCENT POWER	INPUT POWER (KW)	CWT (F)	UNIT PERF (KW/TON)
100	350	100	250	85.1	0.714
90	315	82	205	81.1	0.651
80	280	67	169	77.1	0.604
70	245	54	135	73.0	0.551
60	210	41	105	69.0	0.500
50	175	32	82	65.0	0.469
40	140	30	75	65.0	0.536
30	105	25	67	65.0	0.638
20	70	24	60	65.0	0.857
10	39	22	57	65.0	1.462

REFLECTS LAST VALID CAPACITY POINT OF COMPRESSOR

CAPACITY (TONS) = 350

MOTOR CODE = CM

VOLTS = 380

MAX MOTOR KW = 257

A.1.3 Datasheet Chiller de 400 TR de condensação a água



Project:
Unit Tag:
Engineer:
Customer:

Rating Program: LTC v1_154.idd
Software Version: YW 16.02c
Date: 06/03/16 18:03:00

SALES REPORT

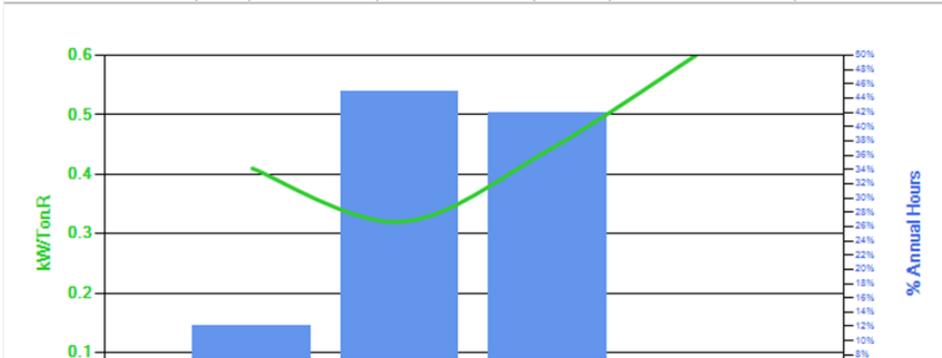
Unit Specifications			
Model	YK4E4SQ5-EMH	Gear Code	WY
Rated Net Capacity (Tons)	400.0	Specified Net Capacity (Tons)	400.0
NPLV.JP (kW/Ton.R)	0.3750	Refrigerant Type/Charge (lb)	R134A/795
Full Load (kW/Ton.R)	0.6045	A-Weighted SPL (dBA)	80.5
Input Power (kW)	241.8	Max Motor Load (kW)	256.0
Voltage / Hz (Input)	380 / 60.0	Oil Cooler	Cond wtr clr
		Condenser Gas Inlet Type	Baffle
Job FLA (Amps)	419	OptiSound Control	Y
		Isolation Valve	Y
LRA (Amps)	2955	Variable Orifice	VALVE:2
Min Circuit Ampacity	525	Starter Type	VSD w/o Filter
Max Circuit Breaker Amps	800	Starter Model	LVD0385G**K***06LZ-40A

	Evaporator	Condenser
Fluid	Water*	Water*
Tube MTI No.	371*	260* / 260
Passes	2*	2*
Fouling Factor (hr-ft ² -°F/Btu)	0.000100*	0.000250*
Entering Fluid Temp (°F)	53.24*	85.10*
Leaving Fluid Temp (°F)	42.80*	95.00*
Fluid Flow (gpm)	916.3	1131
Fluid Pressure Drop (ft)	20.0	12.0

(*) Designates User Specified Input

Annual Energy Cost (AEC)*						
Chiller(s) :	Pumps* :	Total* :				
\$54,089	\$4,704	\$58,793				

Temperature Bin Data						
Avg Wet Bulb Temp (°F)	Hours	Chiller Load (%)	Chiller Load (Tons)	CEFT (°F)	# of Chillers Operating	Chiller Energy (kW)
78.0	59	100 %	400.0	85.00	1	241.4
68.0	2473	75 %	300.0	75.00	1	132.8
58.0	2650	50 %	200.0	65.00	1	63.97
58.0	707	25 %	100.0	65.00	1	40.57



A.1.4 Datasheet Chiller de 600 TR de condensação a água



Project:
Engineer:
Customer:

Rating Program: LTC v1_145.idd
Software Version: YW 15.02a
Date: 10/26/15 17:12:52

SALES REPORT

Unit Specifications			
Model	YK6E6RQ7-ESH	Refrigerant	R134A
Rated Net Capacity (Tons)	600	Refrigerant Charge (lb)	1110
Specified Net Capacity (Tons)	600	A-Weighted SPL (dBA)	85
Full Load (kW/Ton)	0.612	NPLV (kW/Ton)	0.340
Input Power (kW)	367	Max Motor Load (kW)	362
Voltage / Hz	380 / 60	Gear Code	WV(CALC)
FLA (Amps)	631	OptiSound Control	Y
LRA (Amps)	4179	Isolation Valve	Y
		Variable Orifice	VALVE:2
Min Circuit Ampacity	789	Max Circuit Breaker Amps	1200
Condenser Gas Inlet Type	Baffle	Oil Cooler	Refrig clr
Starter Type	VSD w/o Filter (VSD Size: VSD608K-40)		

	Evaporator	Condenser
Fluid	ETHYLENE GLYCOL*	WATER*
% by weight	25	
Tube MTI No.	371*	260* / 260
Passes	2*	2*
Fouling Factor (hr-ft ² -°F/Btu)	0.00010*	0.00025*
Entering Fluid Temp (°F)	56.53	85.00*
Leaving Fluid Temp (°F)	44.60*	95.88
Fluid Flow (gpm)	1298.0*	1541.0*
Fluid Pressure Drop (ft)	13.7	16.0

(*) Designates User Specified Input

NPLV CALCULATION:			
1			
NPLV =	$\frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}$	NPLV =	$\frac{1}{2.941} = 0.340$
	A = kW/Ton AT 100% NET CAPACITY		C = kW/Ton AT 50% NET CAPACITY
	B = kW/Ton AT 75% NET CAPACITY		D = kW/Ton AT 25% NET CAPACITY

Partload Data (Full Load with IPLV/NPLV per Std. Condition Set)						
% Load	Net Capacity (Tons)	% Power	Input Power (kW)	ELFT (°F)	CEFT (°F)	kW/Ton
100	600	100	367.0	44.60	85.00	0.612
75	450	52	190.0	44.60	75.00	0.422
50	300	23	86.0	44.60	65.00	0.287
25	150	14	50.0	44.60	65.00	0.333

A.1.5 Chiller de 400 TR de condensação a ar



Air Cooled Screw Chiller Performance Datasheet

Unit Tag	Qty	Model No	Net Cooling Capacity (kW)	Nominal Power Volts-Ph-Hz	Refrigerant Type
CH-1	1	YVAA0443GMF40BAVDXX	1407	380-3-60.0	R-134a

PIN:										
YVAA0443GM	F40BAVDXXX	TAXLXXXXX60	43XOTXXS17	7X1SXXA2BM	XFXXXXXXXXXX	XXXXSX				
...5...10	...5...20	...5...30	...5...40	...5...50	...5...60	...5...70	...5...80	...5...90		

Evaporator Data		Evaporator Data (Cont.)		Performance Data	
EWT (°C)	11.80	Fluid Volume (L)	363.0	EER (kW/kW)	3.013
LWT (°C)	6.00	Min. Flow Rate (L/s)	29.02	NPLV.IP (kW/kW)	4.225
Design Flow Rate (L/s)	57.85	Max. Flow Rate (L/s)	97.16		
Total Press. Drop (kPa)	39.6	Condenser Data		Physical Data	
Fluid	Water	Ambient Temp. Design (°C)	35.0	Rigging Wt. (kg)	11767
Fouling Factor (m ² K/kW)	0.01761	Altitude (m)	0.000	Operating Wt. (kg)	12247
		User Min. Operating Air Temp. (°C)	5.0	Refrigerant Charge (kg)	336
		User Max. Operating Air Temp. (°C)	45.0		
		Compressor Type	VSD Screw - Semi Hermetic		

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor RLA	357	357		
Fan QTY/FLA (each)	12 / 4.1	12 / 4.1		

Multi Point				
Min. Circuit Ampacity	495	495		
Min. Fuse / CB Rating (A)	600	600		
Max. Fuse / CB Rating (A)	800	800		
Unit Short Circuit Withstand (STD)	30 kA [kA]			
Wire Lugs Per Phase	3			
Wire Range (Lug Size)	#2 - 600kcmil			
Displacement Power Factor	0.95			
Control kVA	3			
			Compressor kW	429.0
			Total kW	467.0

Part Load Rating Data				
Load %	Ambient (°C)	Capacity (kW)	Total kW	Unit Efficiency
100	35.0	1407	467.0	3.013
75	26.7	1055	279.4	3.777
50	18.3	703.5	156.9	4.483
25	12.8	351.7	71.46	4.923

Sound Power Levels (In Accordance with AHRI 370)										
Load %	Ambient (°C)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	LWA
100	35.0	100	100	101	103	100	94	91	87	104
75	26.7	100	100	101	102	99	92	90	85	103
50	18.3	99	99	100	100	96	90	87	84	101
25	12.8	96	96	97	97	93	87	84	82	98

Note: Unit is equipped with Low Sound Fans.

Performance at AHRI Conditions					
Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°C)	12.22	Ambient Temp. (°C)	35.0	EER (kW/kW)	3.092
LWT (°C)	6.67	Altitude (m)	0.000	IPLV.IP (kW/kW)	4.318
Flow Rate (L/s)	60.41			Net Cooling Capacity (kW)	1407
Pressure Drop (kPa)	42.7				
Fluid	Water				
Fouling Factor (m ² K/kW)	0.01761				
Fluid Volume (L)	363.0				

A.2 Tarifa de energia da CEB



Diretoria de Comercialização
Superintendência Comercial - SPC
Gerência de Faturamento - GRFA

JUNHO
2016

Tarifa Hora-Sazonal Azul Bandeira Verde

Comercial/Industrial acima de 1000 kWh Poder Público/Resid. > de 500 kWh Demais classes: qualquer consumo	ICMS	Demanda - R\$/kW			Consumo - R\$/kWh				
		Ponta	Fora de Ponta	Ultrapas. na ponta	Ultrapas. f. de ponta	Ponta seca	Ponta úmida	F. de ponta seca	F. de ponta úmida
A2 - Comercial/Industrial	21%	8,7910608	2,1001615	17,5821217	4,2003231	0,6000269	0,6000269	0,4175417	0,4175417
A2 - Poder Público	25%	9,2914058	2,2196926	18,5828116	4,4393853	0,6341775	0,6341775	0,4413062	0,4413062
A2 - Saneamento (redução de 15%)	18%	7,1823240	1,7158385	14,3646480	3,4316770	0,4902238	0,4902238	0,3411328	0,3411328
A3a - Saneamento (redução de 15%)	18%	17,7413302	5,5104813	35,4826604	11,0209627	0,4995069	0,4995069	0,3504160	0,3504160
A3a - Comercial/Industrial	21%	21,7151319	6,7447495	43,4302638	13,4894991	0,6113893	0,6113893	0,4289041	0,4289041
A4 - Comercial/Industrial	21%	21,7151319	6,7447495	43,4302638	13,4894991	0,6113893	0,6113893	0,4289041	0,4289041
A4 - Poder Público	25%	22,9510529	7,1286283	45,9021058	14,2572566	0,6461866	0,6461866	0,4533153	0,4533153
A4 - Saneamento (redução de 15%)	18%	17,7413302	5,5104813	35,4826604	11,0209627	0,4995069	0,4995069	0,3504160	0,3504160
A4 - Serviço Público Tração Elétrica	18%	20,8721532	6,4829192	41,7443054	12,9658385	0,5876552	0,5876552	0,4122541	0,4122541
A4 - Rural (redução de 10%)	18%	18,7849378	5,8346273	37,5698757	11,6692546	0,5288897	0,5288897	0,3710287	0,3710287
A4 - Madrugada (redução de 80%)	18%	-	-	-	-	0,1175310	0,1175310	0,0824508	0,0824508
A4 - Cooperativa (redução de 50%)	18%	10,4360766	3,2414596	20,8721532	6,4829192	0,2938276	0,2938276	0,2061270	0,2061270
A4 - Residencial	25%	22,9510529	7,1286283	45,9021058	14,2572566	0,6461866	0,6461866	0,4533153	0,4533153
AS - Comercial/Industrial	21%	34,5988152	13,0452342	69,1976305	26,0904684	0,6278944	0,6278944	0,4454092	0,4454092
AS - Poder Público	25%	36,5680136	13,7877063	73,1360273	27,5754126	0,6636311	0,6636311	0,4707598	0,4707598

Tarifa Hora-Sazonal Verde

Comercial/Industrial acima de 1000 kWh Poder Público/Residencial acima de 500 kWh Demais classes: qualquer consumo	ICMS	Demanda - R\$/kW		Consumo - R\$/kWh					
		Normal	Ultrapas.	Ponta seca	Ponta úmida	F. de ponta seca	F. de ponta úmida		
A3a - (30 a 44 kV)									
A4 - Comercial/Industrial	21%	6,7447495	13,4894991	1,1379106	1,1379106	0,4289041	0,4289041	0,289041	0,289041
A4 - Poder Público	25%	7,1286283	14,2572566	1,2026750	1,2026750	0,4533153	0,4533153	0,3504160	0,3504160
A4 - Saneamento (redução de 15%)	18%	5,5104813	11,0209627	0,9296765	0,9296765	0,3504160	0,3504160	0,3710287	0,3710287
A4 - Rural (redução de 10%)	18%	5,8346273	11,6692546	-	-	0,0824508	0,0824508	0,0824508	0,0824508
A4 - Madrugada (redução de 80% no consumo)	18%	-	-	-	-	-	-	-	-
A4 - Cooperativa (redução de 50%)	18%	3,2414596	6,4829192	0,5468865	0,5468865	0,2061270	0,2061270	0,2061270	0,2061270
A4 - Residencial	25%	7,1286283	14,2572566	1,2026750	1,2026750	0,4533153	0,4533153	0,3504160	0,3504160
A4 - Serviço Público Tração Elétrica	18%	6,4829192	12,9658385	1,0937370	1,0937370	0,4122541	0,4122541	0,4122541	0,4122541
AS - Comercial/Industrial	21%	13,0452342	26,0904684	1,4668866	1,4668866	0,4454092	0,4454092	0,4454092	0,4454092
AS - Poder Público	25%	13,7877063	27,5754126	1,5503557	1,5503557	0,4707598	0,4707598	0,4707598	0,4707598

A.3 Orçamentos de instalação

Item		Serviços	Unidade	Qtde.	Preço Unitário	Preço Total	
01. SUBSTITUIÇÃO CHILLERS 400 TR							
01.	01.	01	REMOÇÃO CHILLERS EXISTENTES	Um	3,00	30.000,00	90.000,00
01.	01.	02	SUBSTITUIÇÃO CHILLERS	Vb	3,00	80.000,00	240.000,00
01.	01.	03	INTERLIGAÇÕES HIDRAULICAS	Vb	1,00	25.000,00	25.000,00
01.	01.	04	REVISÃO DO ISOLAMENTO	Vb	1,00	10.000,00	45.000,00
01.	01.	05	PINTURA/RECUPERAÇÃO DE SUPORTES	Vb	1,00	5.000,00	5.000,00
Total do Item						405.000,00	
TOTAL GERAL						405.000,00	

Item		Serviços	Unidade	Qtde.	Preço Unitário	Preço Total	
01. SUBSTITUIÇÃO CHILLERS 600 TR							
01.	01.	01	REMOÇÃO CHILLERS EXISTENTES	Um	3,00	30.000,00	90.000,00
01.	01.	02	SUBSTITUIÇÃO CHILLERS	Vb	2,00	110.000,00	220.000,00
01.	01.	03	INTERLIGAÇÕES HIDRAULICAS	Vb	1,00	30.000,00	30.000,00
01.	01.	04	REVISÃO DO ISOLAMENTO	Vb	1,00	9.000,00	9.000,00
01.	01.	05	PINTURA/RECUPERAÇÃO DE SUPORTES	Vb	1,00	5.000,00	5.000,00
Total do Item						354.000,00	
TOTAL GERAL						354.000,00	



CONNECTOR
E N G E N H A R I A

SCIA Quadra 14 Conj. 08 Lote 03 - Brasília-DF
CNPJ.: 01.114.245/0001-02 - INSC.: 07.359.184/001-01

PLANILHA DE ORÇAMENTO

Obra: PROJETO UNB CHILLERS COND. A AR

Endereço:

Serviço:

Data: 20/05/2016

Item	Serviços	Unidade	Qtde.	Preço Unitário	Preço Total
01.	SUBSTITUIÇÃO CHILLERS 400 TR A AR				
01.01.01	REMOÇÃO CHILLERS EXISTENTES	Um	3,00	30.000,00	90.000,00
01.01.02	SUBSTITUIÇÃO CHILLERS	Vb	3,00	70.000,00	210.000,00
01.01.03	INTERLIGAÇÕES HIDRAULICAS	Vb	1,00	25.000,00	25.000,00
01.01.04	ESTRUTURA PARA DESCARGA DE AR COM OBRAS CIVIS	Vb	3,00	55.000,00	165.000,00
01.01.05	REVISÃO DO ISOLAMENTO	Vb	1,00	10.000,00	10.000,00
01.01.06	PINTURA/RECUPERAÇÃO DE SUPORTES	Vb	1,00	5.000,00	5.000,00
	Total do Item				505.000,00
TOTAL GERAL					505.000,00

A.4 Planilha de custos de manutenção dos *chillers* atuais da PGR



CPL/SA
Fls. _____

PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ADMINISTRAÇÃO
COMISSÃO PERMANENTE DE LICITAÇÃO

RESUMO

CATEGORIA	QTD.	VR. UNITÁRIO	TOTAL
Engenheiro Mecânico	01	15.298,77	15.298,77
Supervisor / Encarregado Geral	01	6.152,10	6.152,10
Mecânico	06	4.659,42	27.956,52
Funileiro Industrial	01	4.161,84	4.161,84
Eletricista de comandos	02	4.454,46	8.908,92
Operador de CAG	02	3.396,98	6.793,96
Auxiliar geral de Mecânico de ar-condicionado	06	2.688,89	16.133,34
Auxiliar geral de eletricista	02	2.688,89	5.377,78
Auxiliar de encarregado	01	4.412,28	4.412,28
SOMA	22	-0-	95.195,51
SERVIÇOS DOB DEMANDA (Homem / hora)			
CATEGORIA	*QTD.	VR. UNITÁRIO	TOTAL
Engenheiro	110h	80,11	8.812,10
Mecânico de Ar. Condicionado	220h	19,98	4.395,60
Auxiliar Geral	330h	8,89	2.933,70
Eletromecânico	55h	42,33	2.328,15
Enrolador de motor	24h	22,64	543,36
SOMA	739h	-0-	19.012,91
TOTAL GERAL	-0-	-0-	114.208,42

PLANILHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA MENSAL – UNIDADES DE RESFRIAMENTO (Chillers)

	ITEM	EQUIPAMENTO	UNID.	QTDA DE EQTOS.	PREVISÃO	CUSTO	CUSTO MENSAL ESTIMANDO
URLs(Chillers)	1	Chiller YORK YSDACAS3	UND.	3	Mensal	R\$ 2.116,80	R\$ 6.350,40
	2	Chiller YORK YLAA0090SE40XCA	UND.	1	Mensal	R\$ 2.116,80	R\$ 2.116,80
	*	*	*	*	*	R\$	R\$
	*	*	*	*	Custo ANUAL estimado	Custo MENSAL estimado	
	*	*	*	*	R\$ 101.606,40	R\$ 8.467,20	

Notas:

- ¹ Manutenção preventiva realizada por fabricante ou empresa autorizada por este, mediante subcontratação, com pagamentos mensais

B.1 Cálculo da carga térmica

A partir do levantamento dos parâmetros climáticos, conforto térmico e dados levantados do projeto arquitetônico, pode-se iniciar os cálculos de carga térmica.

Atualmente existem muitos *softwares* que agilizam o cálculo da carga térmica. No entanto, para fins didáticos, o presente projeto foi calculado usando como ferramenta de cálculo o *Excel*.

As principais fontes de ganho de calor ocorrem por: janela, vidro, parede, piso, teto/cobertura, ocupantes, iluminação, equipamentos, infiltração e renovação. A seguir, encontra-se o desenvolvimento da teoria.

JANELAS

Para calcular a transmissão de calor através das janelas podemos empregar os valores do coeficiente global (U) tabelados da ASHRAE. A Equação B.1 descreve o cálculo da carga térmica das janelas.

$$q = U \times A_{janela} \times CLTD \quad (B.1)$$

Em que:

U: Coeficiente Global;

A_{janela} : Área da janela;

CLTD: *Cooling Load Temperature Difference*.

As considerações feitas para determinar o coeficiente global (U) são: vidro simples, esquadria de alumínio, móvel (*sliding swining glass door*) e com *thermal break*.

Tabela B. 1 - U-Factors for Various Fenestration Products (PIMENTA, 2009)

Table 5 U-Factors for Various Fenestration Products in W/(m²·K)

Product Type	Glass Only		Vertical Installation											
			Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed						
			Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Reinforced Vinyl/ Aluminum Clad Wood	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl	Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Reinforced Vinyl/ Aluminum Clad Wood	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl		
Frame Type ID Glazing Type	Center of Glass	Edge of Glass												
Single Glazing														
1 3.2 mm glass	5.91	5.91	7.24	6.12	5.14	5.05	4.61	6.42	6.07	5.55	5.55	5.35		
2 6.4 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.49	5.43	4.51	4.42	4.01	5.60	5.25	4.75	4.75	4.58		
3 3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.87	5.77	4.82	4.73	4.31	6.01	5.66	5.15	5.15	4.97		
Double Glazing														
4 6.4 mm airspace	3.12	3.63	4.93	3.70	3.25	3.13	2.77	3.94	3.56	3.19	3.17	3.04		
5 12.7 mm airspace	2.73	3.36	4.62	3.42	3.00	2.87	2.53	3.61	3.22	2.86	2.84	2.72		
6 6.4 mm argon space	2.90	3.48	4.75	3.54	3.11	2.98	2.63	3.75	3.37	3.00	2.98	2.85		
7 12.7 mm argon space	2.56	3.24	4.49	3.30	2.89	2.76	2.42	3.47	3.08	2.73	2.70	2.58		

O valor encontrado para U, feita as considerações acima foi U = 4,01.

O CLTD depende da direção da janela e pode ser determinado pela Tabela (B.2). Considerando que a temperatura máxima (T_{max}) é a temperatura crítica (T_{crit}) e o solar time é de 15h e 16h.

Tabela B. 2 - Solar Cooling Load dor Sunlit Glass

8.9 solar Cooling Load For Sunlit Glass
15 Degrees North Latitude, July

Glass Facing	Zone type A					solar time, hr																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
N	0	0	0	0	0	9	37	47	50	50	50	50	50	51	52	54	52	27	11	5	3	1	1	0	0
NE	0	0	0	0	0	26	115	153	158	138	101	67	53	46	39	32	24	11	5	2	1	1	0	0	0
E	0	0	0	0	0	27	124	169	175	152	106	67	54	46	39	32	24	11	5	2	1	1	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	12	60	87	93	80	60	50	46	42	37	31	23	11	5	2	1	1	0	0	0
S	0	0	0	0	0	2	13	22	29	35	39	41	41	39	36	31	23	11	5	2	1	1	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	2	13	22	29	35	39	41	46	65	87	98	89	42	18	9	4	2	1	1	1
W	1	0	0	0	0	2	13	22	29	35	39	41	67	116	159	184	175	86	35	17	8	4	2	1	1
NW	0	0	0	0	0	2	13	22	29	35	39	44	68	107	143	166	161	80	33	16	8	4	2	1	1
hor	0	0	0	0	0	4	44	104	163	214	250	270	272	255	220	169	104	45	21	10	5	2	1	1	1

Glass Facing	Zone type B					solar time, hr																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
N	2	2	1	1	1	8	32	40	44	45	46	47	48	49	51	53	51	30	17	11	8	6	4	3	3
NE	2	1	1	1	1	23	97	130	137	124	98	71	60	53	46	39	30	18	12	9	6	5	3	3	3
E	2	2	1	1	1	23	105	143	153	137	102	73	62	54	47	40	31	19	12	9	6	5	4	3	3
SE	2	1	1	1	1	10	51	74	81	73	57	50	47	44	40	34	27	16	10	7	5	4	3	2	2
S	1	1	1	1	0	2	11	19	25	31	35	37	38	37	35	31	24	14	9	6	4	3	2	2	2
SW	4	3	2	2	1	3	11	19	25	31	35	37	42	60	78	88	82	44	25	17	12	9	6	5	5
W	7	5	4	3	2	4	12	19	26	31	35	37	60	102	139	163	159	87	48	32	23	16	12	9	9
NW	6	5	3	3	2	3	12	19	26	31	35	40	61	95	127	148	147	81	44	30	21	15	11	8	8
hor	7	6	4	3	2	5	39	89	140	185	220	242	249	240	215	174	120	69	46	33	24	18	13	10	10

Glass Facing	Zone type C					solar time, hr																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
N	6	6	5	5	4	12	34	40	41	42	42	43	44	45	47	49	47	27	15	12	10	9	8	7	7
NE	8	7	7	6	5	27	99	124	125	109	83	60	53	48	44	39	32	22	17	14	13	11	10	9	9
E	9	8	7	6	6	28	106	137	139	121	86	60	54	50	45	40	33	23	18	15	13	12	11	10	9
SE	6	5	5	4	4	13	53	72	74	64	49	44	42	40	37	33	26	17	12	10	9	8	7	6	6

O valor encontrado para o CLTD, feita as considerações acima foi CLTD = 8°C. Portanto as únicas variáveis que sobram são as áreas das janelas.

VIDRO

Para calcular a transmissão de calor através dos vidros podemos empregar os valores tabelados de SC e SCL. A Equação B.2 descreve o cálculo da carga térmica do vidro.

$$q = SC \times SCL \times A_{\text{vidro}} \quad (\text{B.2})$$

Em que:

SC: Shading coef.

SCL: Solar Cooling Load

A_{vidro} : área do vidro

Considerando que o vidro é laminado e que há sombreamento interno, os SC foram determinados de acordo com a Tab. B.3. Desta forma temos que:

$$SC_{\text{vidro}} = 0,2$$

Tabela B. 3 - Shading coef. Os valores típicos se encontram (STOECKER e JONES, 1985).

Tipo de Vidro	Esp. [mm]	Sombreamento interno				
		Nenhum	Persiana Médio	Persiana Clara	Cortina Rolo Escura	Cortina Rolo Clara
Simple - Folha normal	3	1,00	0,64	0,55	0,59	0,25
Simple - Laminado	6 a 12	0,95	0,64	0,55	0,59	0,25
Simple - Absorvedor	6	0,70	0,57	0,53	0,40	0,30
Simple - Absorvedor	10	0,50	0,54	0,52	0,40	0,28
Duplo - Folha normal	3	0,90	0,57	0,51	0,60	0,25
Duplo - Laminado	6	0,83	0,57	0,51	0,60	0,25
Duplo - Refletivo	6	0,2 a 0,4	0,2 a 0,33	---	---	---

Tabela B. 4 - Tipos de zonas para a utilização em tabelas de SCL e CLF.

Zone Parameters ^a				Zone Type			Error Band	
No. Walls	Floor Covering	Partition Type	Inside Shade	Glass Solar	People and Equipment	Lights	Plus	Minus
1 or 2	Carpet	Gypsum	b	A	B	B	9	2
		Concrete block	b	B	C	C	9	0
	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C	9	0
		Gypsum	Half to None	C	C	C	16	0
		Concrete block	Full	C	D	D	8	0
		Concrete block	Half to None	D	D	D	10	6

Continuando o raciocínio para definir o SCL, deve-se considerar como entrada da próxima tabela o horário de maior intensidade do SCL de acordo com a orientação. Logo, de acordo com a Tab B.5 temos que:

$$SCL_{\text{NORTE}} = 148,05 \text{ W/m}^2$$

$$SCL_{SUL} = 107,1 \text{ W/m}^2$$

$$SCL_{LESTE} = 437,85 \text{ W/m}^2$$

$$SCL_{OESTE} = 472,5 \text{ W/m}^2$$

E que a conversão de BTU/ft² para W/m² é dada por BTU/ft² x 3,15 = W/m².

Tabela B. 5 - Valores de SCL (BTU/ft²)

Class Facing	solar time, hr																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	6	6	5	5	4	13	34	40	41	42	42	43	44	45	47	49	47	27	15	12	10	9	8	7
NE	8	7	7	6	5	27	99	134	125	109	83	60	53	48	44	39	32	22	17	14	13	11	10	9
E	9	8	7	6	6	28	106	137	139	121	86	60	54	50	45	40	33	23	18	15	13	12	11	10
SE	6	5	5	4	4	13	53	72	74	64	49	44	42	40	37	33	26	17	12	10	9	8	7	6
S	4	4	3	3	3	4	13	19	25	29	32	34	34	34	31	28	22	13	9	7	6	6	5	4
SW	8	7	7	6	5	7	15	21	26	30	33	35	40	56	73	82	74	36	20	16	13	12	10	9
W	14	13	11	10	9	10	18	24	29	33	35	37	59	98	131	150	142	70	37	28	23	20	18	16
NW	13	12	11	9	8	9	17	23	28	32	35	39	60	91	119	133	131	66	34	26	22	19	17	15
hor	23	20	18	16	15	17	49	95	139	177	205	221	224	214	189	153	106	63	48	41	36	32	29	25

PAREDE

Para o cálculo da carga térmica das paredes, deve-se ter conhecimento da construção dela. Detalhes como acabamento, revestimento, espaço de ar etc, são fundamentais. A Equação B.3 descreve o cálculo da carga térmica das paredes.

$$q = U \times A_{parede} \times CLTD \tag{B.3}$$

Em que:

U = Coeficiente Global e este é 1,393 W/m²K.

A_{janela} = Área da janela

CLTD = *Cooling Load Temperature Difference*

A área da parede foi determinada pela diferença entre a área total da parede menos as áreas ocupadas pela janela.

O CLTD da parede foi determinado pela Tab. B.6.

Tabela B. 6 - CLTD para paredes.

Parede tipo ⇒ G		50 kg/m ²				15 kJ/m ² .K			
Hora Solar	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	
7	4	15	17	10	1	1	1	1	
8	5	20	26	18	3	3	3	3	
9	5	22	30	24	7	4	5	4	
10	7	20	31	27	12	6	6	6	
11	8	16	28	28	17	9	8	8	
12	10	15	22	27	22	14	10	10	
13	12	14	19	23	25	21	15	12	
14	13	15	17	20	26	28	23	15	
15	13	15	17	18	24	33	31	20	
16	14	14	16	16	21	35	37	26	
17	14	14	15	15	17	34	40	31	
18	15	12	13	13	14	29	37	31	
19	12	10	11	11	11	20	27	23	
20	8	8	8	8	8	13	16	14	
CLTD _{max}	15	22	31	28	26	35	40	31	

Parede tipo ⇒ F		200 kg/m ²				130 kJ/m ² .K			
Hora Solar	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	
7	1	3	4	2	1	1	2	1	
8	2	8	9	6	1	1	2	1	
9	3	13	16	10	2	2	2	2	
10	4	16	21	15	4	3	3	3	
11	5	17	24	20	7	4	4	4	
12	6	16	25	23	11	6	6	6	
13	8	16	24	24	15	10	8	7	
14	9	15	22	23	19	14	11	9	
15	11	15	20	22	21	20	16	12	
16	12	15	19	20	22	24	22	15	
17	12	15	18	19	21	28	27	19	
18	13	14	17	17	19	30	32	24	
19	13	13	15	16	17	29	33	26	
20	13	12	13	14	15	25	30	24	
CLTD _{max}	13	17	25	24	22	30	33	26	

Parede tipo ⇒ E		300 kg/m ²				230 kJ/m ² .K			
Hora Solar	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	
7	2	3	3	3	2	4	4	3	
8	2	5	6	4	2	3	3	3	
9	3	8	10	7	2	3	3	3	
10	3	11	15	10	3	3	4	3	
11	4	13	18	14	5	4	4	4	
12	5	14	20	17	7	5	5	5	
13	6	14	21	19	10	7	6	6	
14	7	14	21	20	14	10	8	7	
15	8	14	20	20	16	14	11	9	
16	10	15	19	20	18	18	15	11	
17	10	14	18	19	19	21	20	14	
18	11	14	18	18	18	24	24	18	
19	12	14	17	17	17	25	27	21	
20	12	13	15	16	16	24	27	21	
CLTD _{max}	12	15	21	20	19	25	27	21	

Parede tipo ⇒ D		390 kg/m ²				350 kJ/m ² .K			
Hora Solar	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	
7	3	4	5	5	4	6	7	6	
8	3	4	5	5	4	5	6	5	
9	3	6	7	5	3	5	5	4	
10	3	8	10	7	3	4	5	4	
11	4	10	13	10	4	4	5	4	
12	4	11	15	12	5	5	5	4	
13	5	12	17	14	7	6	6	5	
14	6	13	18	16	9	7	6	6	
15	6	13	18	17	11	9	8	7	
16	7	13	18	18	13	12	10	8	
17	8	14	18	18	15	15	13	10	
18	9	14	18	18	16	18	17	12	
19	10	14	17	17	16	20	20	15	
20	11	13	17	17	16	21	22	17	
CLTD _{max}	11	14	18	18	16	21	22	17	

Tipo de Parede

- G Cortina metálica ou parede estrutural (construção americana: madeira, asfalto, ar, madeira coberta por gesso) com 25 a 75 mm de isolamento.
- F Blocos de concreto com 100 mm de espessura e isolamento de 25 a 50 mm, ou tijolo de 100 mm cm isolamento
- E Blocos de concreto com 200 mm de esp. com acabamento int. e ext. ou tijolo aparente de 100 mm com bloco de concreto de 100 com acabamento int. e ext..
- D Tijolos aparentes de 100mm com blocos de concreto de 200mm e acabamento int. ou tijolo aparente de 100mm e tijolos comuns de 100mm, com acabamento int.

O valor do CLTD para parede varia conforme sua orientação. Os valores encontrados de foram:

$$CLTD_{\text{norte}} = 13$$

$$CLTD_{\text{sul}} = 19$$

$$CLTD_{\text{leste}} = 17$$

$$CLTD_{\text{oeste}} = 32$$

PISO

Para calcular a transmissão de calor através do piso podemos seguir a Eq. B.4, já que descreve o cálculo da carga térmica do piso.

$$q = U \times A_{\text{piso}} \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (\text{B.4})$$

Em que:

U_{piso} : coef. global para revestimento do piso que é de 2,18 W/Km².

A_{piso} : área do piso.

TETO/ COBERTURA

Para calcular a transmissão de calor através do teto podemos seguir a Eq. B.5, já que descreve o cálculo da carga térmica do piso

$$q = U \times A_{\text{teto}} \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (\text{B.5})$$

Em que:

U_{teto} : coef. global para revestimento do teto que é de 0,9 W/m²K

A_{piso} : área do piso

OCUPANTES

Para calcular a transmissão de calor através dos ocupantes podemos seguir a Eq. B.6, já que descreve o cálculo da carga térmica dos ocupantes.

$$q = N \times q_{s,ocup} \times CLF \quad (\text{B.6})$$

Em que:

N: número de pessoas. Seu valor advém do número de pessoas por 100m² multiplicado pela área do local.

$q_{s,ocup}$: para atividade moderada de escritório. Valor da tabela (B.7) da ASHRAE. Logo, $q_{s,ocup}$ é 115 W.

Tabela B. 7 - Estimativa da carga térmica devido a ocupantes.

Table 3 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V ^c	High V ^c
Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30		
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:
 1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.
 2. Also refer to Table 4, Chapter 8, for additional rates of metabolic heat generation.
 3. All values are rounded to nearest 5 W.
 4. Adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.
^b Values approximated from data in Table 6, Chapter 8, where v is air velocity with limits shown in that table.
^c Adjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).
^d Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (251 W).

CFL: cooling load fator da Tabela (B.8) a seguir. Logo CFL é 0,79.

Tabela B. 8 - Tabela do CLF para carga de ocupantes

Table 37 Cooling Load Factors for People and Unhooded Equipment

Hours in Space	Number of Hours after Entry into Space or Equipment Turned On																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Zone Type A																									
2	0.75	0.88	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.75	0.88	0.93	0.95	0.22	0.10	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.75	0.88	0.93	0.95	0.97	0.97	0.23	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.75	0.88	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	0.98	0.24	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.75	0.88	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.24	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
12	0.75	0.88	0.93	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.76	0.88	0.93	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.76	0.89	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
18	0.77	0.89	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zone Type B																									
2	0.65	0.74	0.16	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.65	0.75	0.81	0.85	0.24	0.17	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.29	0.20	0.15	0.12	0.09	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
8	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.93	0.95	0.31	0.22	0.17	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
12	0.66	0.76	0.81	0.86	0.89	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
14	0.67	0.76	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
16	0.69	0.78	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
18	0.71	0.80	0.85	0.88	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Zone Type C																									
2	0.60	0.68	0.14	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.60	0.68	0.74	0.79	0.23	0.18	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.61	0.69	0.74	0.79	0.83	0.86	0.88	0.85	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.61	0.69	0.75	0.79	0.83	0.86	0.88	0.85	0.91	0.32	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
10	0.62	0.70	0.75	0.80	0.83	0.86	0.89	0.91	0.92	0.94	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
12	0.63	0.71	0.76	0.81	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
14	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
16	0.68	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.92	0.94	0.95	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
18	0.72	0.78	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03

ILUMINAÇÃO

Para calcular a transmissão de calor através da iluminação podemos seguir a Eq. B.7, já que descreve o cálculo da carga térmica referente a iluminação.

$$q = P_L \times F_M \times F_R \times FCR \quad (B.7)$$

Em que:

q_L : potência dissipada pelas lâmpadas.

P_L : potência nominal

F_M : fator de utilização.

F_R : fator do reator para lâmpadas fluorescentes.

FCR : fator de carga térmica de refrigeração obtido pela Tab. B.9 a seguir. Portanto, FCR é 0,97.

Tabela B. 9 - Fatores de carga termca para iluminação (STOECKER e JONES, 1985).

Horas após o acionamento das luzes	Conexão X † horas de operação		Conexão Y †, horas de operação	
	10	16	10	16
0	0,08	0,19	0,01	0,05
1	0,62	0,72	0,76	0,79
2	0,66	0,75	0,81	0,83
3	0,69	0,77	0,84	0,87
4	0,73	0,80	0,88	0,89
5	0,75	0,82	0,90	0,91
6	0,78	0,84	0,92	0,93
7	0,80	0,85	0,93	0,94
8	0,82	0,87	0,95	0,95
9	0,84	0,88	0,96	0,96
10	0,85	0,89	0,97	0,97
11	0,32	0,90	0,22	0,98
12	0,29	0,91	0,18	0,98
13	0,26	0,92	0,14	0,98
14	0,23	0,93	0,12	0,99
15	0,21	0,94	0,09	0,99
16	0,19	0,94	0,08	0,99
17	0,17	0,40	0,06	0,24
18	0,15	0,36	0,05	0,20

EQUIPAMENTOS

Para calcular a transmissão de calor através de equipamentos, podemos seguir a Eq. B.8, já que descreve o cálculo da carga térmica referente a equipamento.

$$q = q_{imp} \times A \times FCR \quad (B.8)$$

Em que,

q_{imp} : densidade de carga de equipamento recomendada pela tabela B-6 – ABNT/CB para cargas leves é de 5,4 w/m². Este valor foi usado para os blocos A, B, E e F. Já para os blocos C e D considerou-se 0.

FCR: fator de carga térmica da Tab.B.8. Logo, o FCR é 0,91.

INFILTRAÇÃO E VENTILAÇÃO

A penetração de ar externo no ambiente climatizado representa uma carga térmica adicional a ser removida. Tal componente de ar externo pode ser devido à ventilação de renovação (voluntário) ou devida às infiltrações (involuntária). O calor sensível e latente deve ser calculado para cada situação. As Equações B.9 e B.10 descrevem o cálculo.

$$q_s = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (B.9)$$

$$q_l = 3010 \cdot \dot{V} \cdot \Delta w \quad (B.10)$$

Em que:

q_s é a carga sensível devido a penetração de ar externo;

q_l é a carga latente devido a penetração de ar externo;

\dot{V} é a vazão volumétrica de ar externo;

ρ é a densidade do ar externo;

c_p é o calor específico do ar externo;

ΔT é a diferença de temperatura entre o ar interno e o ar externo;

\dot{m} é a vazão mássica de ar externo;

Δw é a variação de umidade absoluta entre o ar interno e o ar externo.

A vazão volumétrica de ar externo pode ser determinada pela equação (B.11):

$$\dot{V} = V_{renovação} + V_{infiltração} \quad (\text{B.11})$$

A vazão de ar de renovação é determinada pelas exigências relativas à diluição de poluentes para manutenção da qualidade do ar. Já a vazão de ar infiltrado está sujeita a certa incerteza e requer uma abordagem diferenciada. Os valores variam conforme a densidade de pessoas mudam. Os cálculos da vazão de renovação seguiram as normas da NBR 16401-3/2008.

$$V_{renovação} = P_z F_p + A_z F_a \quad (\text{B.12})$$

Em que:

$\dot{V}_{renovação}$: vazão efetiva de ar externo (litros por segundo),

F_p : Vazão por pessoa (litros por segundo),

F_a : Vazão por área útil ocupada (litros por segundo),

P_z : Número de pessoas no ambiente ocupado,

A_z : Área ocupada pelas pessoas (metro quadrado).

Os valores de F_p e F_a são obtidos por meio da Tab. B.10, retirada da norma NBR 16401 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Tabela B. 10 - Fatores utilizados para a vazão de renovação

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² *
		F _p L/s*pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess	F _a L/s*m ²	
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala impressoras, copiadoras	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--

Para o cálculo da vazão de infiltração foi utilizada a Eq. 10.13.

$$V_{infiltração} = Vol_{sala} ACH_{infiltração} \quad (B.13)$$

Em que:

Vol_{sala} = Volume da sala

ACH pode ser determinado pela Eq. B.14.

$$ACH_{infiltração} = a + b \cdot V + c \cdot (t_0 - t_i) \quad (B.14)$$

Em que:

$ACH_{infiltração}$ = Número de trocas de ar por hora;

a, b, c = constantes experimentais retiradas de tabelas. Para o presente trabalho foi considerado boa vedação de acordo com a Tab. B.11.

V = velocidade do vento;

$(t_0 - t_i)$ = diferença entre a temperatura interna e a temperatura externa.

Tabela B. 11 - Qualidade de construção.

Qualidade da Construção	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Boa vedação	0,15	0,010	0,007
Média vedação	0,20	0,015	0,014
Má vedação	0,25	0,020	0,022

GANHO DE CALOR DEVIDO A VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO

O ganho de calor devido a penetração do ar externo de renovação e do ar infiltrado do ambiente é dividido em sua parcela latente e sua parcela sensível. O primeiro diz respeito à mudança de umidade absoluta no ambiente, enquanto que o segundo representa um aumento de temperatura. Para o cálculo das cargas sensíveis e latentes, deve-se, então, utilizar a soma das vazões de infiltração e renovação. A carga sensível é calculada, então, por

$$q_s = 1,23\dot{V}\Delta T. \quad (\text{B.15})$$

Onde: ΔT : Variação de temperatura entre o ambiente e o ar externo.

A carga térmica latente é calculada por

$$q_L = 3010\dot{V}\Delta w. \quad (\text{B.16})$$

Onde: Δw : Variação de umidade absoluta.

RESULTADO DA CARGA TÉRMICA TOTAL

A soma de todas as cargas térmicas apresentadas na seção B.1 foram:

Tabela B. 12 - Cálculo de carga térmica

Edifício	A	B	C	D	E	F
Área de piso [m ²]	10745,00	10745,00	1808,00	800,00	715,00	480,00
Área de piso [m ²]/andar	1790,83	1790,83	904,00	400,00	357,50	240,00
Altura sem loje	16,80	16,80	5,60	5,60	5,60	5,60
Área do teto [m ²]	2865,00	2865,00	572,00	415,00	706,00	480,00
Andares	6,00	6,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Pé direito [m]	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Volume sem laje	30086,00	30086,00	5062,40	2240,00	2002,00	1344,00
Área de janela	11385,13	11385,13	0,00	0,00	772,83	0,00
Área de vidro	11385,13	11385,13	0,00	0,00	772,83	0,00
Área de vidro p/ cada direção	2846,28	2846,28	0,00	0,00	193,21	0,00
Área de parede	0,00	0,00	704,00	600,00	0,00	1200,00
Área Parede. p/ cada direção	0,00	0,00	176,00	150,00	0,00	300,00
Np [pessoas]	1632,00	1632,00	300,00	400,00	715,00	480,00
V_infilt [m ³ /s]	6378,23	6378,23	1073,23	474,88	424,42	284,93
V_renov [m ³ /s/pessoa]	0,007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
V [m ³ /s]	6389,57	6389,57	1075,31	477,66	429,39	288,26
Q vidro (norte) [W]	84278,42	84278,42	0,00	0,00	5720,87	0,00
Q vidro (sul) [W]	60967,37	60967,37	0,00	0,00	4138,50	0,00
Q vidro (leste) [W]	249248,96	249248,96	0,00	0,00	16919,18	0,00
Q vidro (oeste) [W]	268973,70	268973,70	0,00	0,00	18258,11	0,00
Q Jan. [W]	365234,97	365234,97	0,00	0,00	24792,39	0,00
Q parede (norte) [W]	0,00	0,00	3187,18	2716,35	0,00	5432,70
Q parede (sul) [W]	0,00	0,00	4658,19	3970,05	0,00	7940,10
Q parede (leste) [W]	0,00	0,00	4167,86	3552,15	0,00	7104,30
Q parede (oeste) [W]	0,00	0,00	7845,38	6686,40	0,00	13372,80
Q piso [W]	163968,70	163968,70	27590,08	12208,00	10910,90	7324,80
Q teto [W]	18049,50	18049,50	3603,60	2614,50	4447,80	3024,00
Q Ocupa. [W]	148267,20	148267,20	27255,00	36340,00	64957,75	43608,00
Q equipamento [W]	52800,93	52800,93	0,00	0,00	3513,51	2358,72
Q Ilumin. [W]	161175,00	161175,00	18080,00	10400,00	10725,00	7200,00
Q sensível [W]	55014,16	55014,16	9258,44	4112,63	3697,04	2481,93
Q Lat. [W]	57697,77	57697,77	9710,07	4313,25	3877,39	2603,00
Carga térmica	1685676,68	1685676,68	115355,79	86913,33	171958,44	102450,35
TOTAL [W]	3848031,29					
[TR]	1077,45					

B.2 Tabela do Método de Monte Carlo

Método de Monte Carlo																			
2,10%	1,63%	1,44%	-0,31%	-1,04%	0,86%	1,42%	1,61%	0,34%	0,59%	-0,09%	3,29%	2,76%	0,16%	0,60%	1,99%	1,42%	1,89%	0,68%	-0,26%
1,84%	0,19%	1,15%	-0,56%	1,03%	2,67%	1,63%	-0,25%	0,54%	1,67%	1,10%	1,12%	-0,39%	-0,04%	0,80%	0,32%	0,06%	1,41%	0,88%	1,59%
0,43%	3,22%	1,49%	1,70%	1,57%	1,71%	0,00%	-0,75%	1,27%	0,91%	0,07%	1,98%	-1,49%	2,17%	-0,15%	0,43%	-0,01%	1,97%	0,65%	0,42%
2,50%	1,02%	0,81%	1,06%	1,99%	-0,31%	-0,04%	1,67%	0,84%	-0,27%	2,31%	1,42%	1,40%	-0,49%	1,18%	1,34%	2,13%	2,94%	0,82%	1,37%
-0,11%	-0,12%	1,30%	1,16%	1,02%	1,99%	0,46%	0,34%	2,15%	1,17%	0,18%	1,10%	-0,09%	2,93%	1,66%	1,20%	0,26%	1,07%	0,32%	1,47%
1,88%	3,90%	1,26%	-0,58%	-0,29%	1,36%	2,11%	1,27%	1,51%	0,45%	-0,59%	0,08%	2,08%	0,25%	1,60%	0,86%	-0,40%	-1,16%	1,12%	1,84%
0,80%	-0,02%	0,96%	0,87%	0,93%	1,82%	1,80%	-0,38%	0,71%	0,48%	0,70%	0,40%	2,00%	2,98%	2,32%	-0,51%	0,68%	1,41%	2,61%	1,94%
3,30%	1,16%	1,59%	2,03%	0,82%	-0,55%	1,90%	1,80%	-0,93%	1,65%	-0,13%	0,78%	1,17%	1,03%	1,56%	1,65%	3,55%	-0,94%	1,33%	-0,48%
0,93%	0,11%	1,03%	2,45%	1,25%	-0,47%	2,79%	1,02%	0,42%	-2,32%	0,89%	1,26%	-0,41%	-0,55%	2,23%	1,02%	1,04%	2,05%	0,95%	-0,46%
0,10%	1,69%	-0,41%	0,30%	-0,15%	0,91%	1,45%	0,49%	0,49%	-0,08%	-0,15%	0,23%	1,46%	2,05%	2,11%	0,10%	1,49%	1,60%	1,52%	2,09%
1,36%	0,83%	0,54%	0,73%	1,94%	0,86%	1,88%	1,46%	1,95%	1,61%	1,23%	2,41%	2,44%	0,15%	0,20%	-0,34%	2,54%	1,63%	0,85%	0,06%
1,06%	-1,83%	2,34%	2,19%	0,25%	2,19%	2,76%	1,69%	0,30%	1,79%	1,89%	0,34%	0,51%	1,35%	1,71%	1,94%	1,31%	1,82%	1,01%	1,04%
-0,21%	1,58%	0,49%	-0,19%	-0,06%	1,32%	-0,16%	0,78%	2,16%	2,71%	0,64%	1,13%	0,52%	2,25%	0,75%	-0,65%	0,68%	1,69%	1,23%	1,00%
2,42%	1,02%	1,85%	0,94%	0,10%	0,15%	0,36%	1,45%	0,72%	1,22%	1,77%	2,09%	-0,10%	1,71%	-0,57%	1,26%	0,40%	3,53%	0,13%	0,55%
2,02%	1,44%	-0,50%	1,79%	2,10%	0,99%	1,84%	0,69%	0,76%	2,10%	1,98%	0,84%	2,48%	1,13%	2,46%	2,82%	0,06%	1,28%	1,23%	2,10%
1,22%	1,56%	0,26%	0,12%	1,52%	1,52%	1,18%	0,93%	0,41%	1,43%	1,19%	1,27%	1,77%	0,52%	0,94%	0,72%	2,23%	2,29%	-0,40%	0,08%
1,37%	1,02%	-0,61%	1,64%	3,37%	3,09%	0,31%	1,95%	0,26%	0,39%	1,88%	0,97%	0,14%	0,90%	0,24%	1,36%	1,34%	0,43%	2,00%	2,98%
1,38%	0,78%	0,22%	1,46%	1,37%	0,34%	1,76%	-0,84%	1,37%	1,27%	-1,35%	0,79%	0,83%	2,21%	2,19%	1,63%	0,65%	0,40%	1,21%	1,90%
0,58%	0,96%	0,34%	1,81%	1,62%	1,08%	2,34%	-1,27%	1,87%	0,06%	-0,04%	1,06%	0,77%	0,77%	2,00%	1,32%	0,84%	1,64%	0,87%	1,08%
2,36%	1,03%	-0,15%	1,58%	-0,03%	-0,21%	0,31%	2,39%	2,00%	0,49%	1,13%	0,60%	1,02%	0,92%	1,09%	0,05%	0,31%	-0,84%	0,24%	1,68%
Valor Médio																			
2,102%	1,625%	1,441%	1,303%	1,070%	0,863%	1,425%	1,615%	0,340%	0,588%	-0,085%	3,286%	2,762%	0,163%	0,599%	1,930%	1,417%	1,891%	2,256%	1,10%

B.3 Fluxo de caixa

B.3.1 Chiller de 400 TR de condensação a água

Chiller de condensação a água 3x400 com variador					
ANO	0	1	2	3	4
Fluxo de Caixa Final	- 2.031.000,00	161.174,98	162.947,91	164.740,33	166.552,48
Fluxo de Caixa Acumulado	- 2.031.000,00	- 1.869.825,02	- 1.706.877,11	- 1.542.136,78	- 1.375.584,30

5	6	7	8	9	10	11	12
168.384,55	170.236,79	172.109,39	174.002,59	175.916,62	177.851,70	179.808,07	181.785,96
- 1.207.199,74	- 1.036.962,96	- 864.853,57	- 690.850,98	- 514.934,35	- 337.082,65	- 157.274,58	24.511,38

13	14	15	16	17	18	19	20
183.785,61	185.807,25	187.851,13	189.917,49	192.006,58	194.118,66	196.253,96	198.412,75
208.296,99	394.104,24	581.955,37	771.872,86	963.879,45	1.157.998,10	1.354.252,06	1.552.664,82

B.3.2 Chiller de 600 TR de condensação a água

Chiller de condensação a água 2x600 com variador					
ANO	0	1	2	3	4
Fluxo de Caixa Final	- 2.110.000,00	208.960,16	211.258,73	213.582,57	215.931,98
Fluxo de Caixa Acumulado	- 2.110.000,00	- 1.901.039,84	- 1.689.781,11	- 1.476.198,54	- 1.260.266,56

5	6	7	8	9	10	11	12
218.307,23	220.708,61	223.136,41	225.590,91	228.072,41	230.581,20	233.117,60	235.681,89
- 1.041.959,33	- 821.250,72	- 598.114,31	- 372.523,41	- 144.451,00	86.130,20	319.247,80	554.929,69

13	14	15	16	17	18	19	20
238.274,39	240.895,41	243.545,26	246.224,26	248.932,72	251.670,98	254.439,36	257.238,20
793.204,08	1.034.099,49	1.277.644,75	1.523.869,00	1.772.801,72	2.024.472,71	2.278.912,07	2.536.150,27

B.3.3 Chiller de 400 TR de condensação a ar

Chiller de condensação a ar 3x400 com variador					
ANO	0	1	2	3	4
Fluxo de Caixa Final	- 3.120.000,00	- 665.716,73	- 673.039,61	- 680.443,05	- 687.927,92
Fluxo de Caixa Acumulado	- 3.120.000,00	- 3.785.716,73	- 4.458.756,34	- 5.139.199,38	- 5.827.127,30

5	6	7	8	9	10	11	12
- 695.495,13	- 703.145,57	- 710.880,17	- 718.699,86	- 726.605,55	- 734.598,22	- 742.678,80	- 750.848,26
- 6.522.622,43	- 7.225.768,00	- 7.936.648,17	- 8.655.348,03	- 9.381.953,58	- 10.116.551,80	- 10.859.230,60	- 11.610.078,86

13	14	15	16	17	18	19	20
- 759.107,59	- 767.457,78	- 775.899,81	- 784.434,71	- 793.063,49	- 801.787,19	- 810.606,85	- 819.523,53
- 12.369.186,45	- 13.136.644,23	- 13.912.544,04	- 14.696.978,75	- 15.490.042,24	- 16.291.829,43	- 17.102.436,28	- 17.921.959,81