

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AUGUSTO AFONSO PONCIANO

ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE RETROFIT EM SISTEMA DE
ÁGUA GELADA VISANDO ECONOMIA DE ENERGIA

UBERLÂNDIA
JULHO DE 2018

AUGUSTO AFONSO PONCIANO

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE RETROFIT EM SISTEMA DE
ÁGUA GELADA VISANDO ECONOMIA DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes

**UBERLÂNDIA
JULHO DE 2018**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela graça da vida concedida a mim, para que eu possa buscar conhecimento sob sua proteção.

Agradeço ao apoio de minha família no decorrer de toda a trajetória de minha graduação, por todo empenho em minha vida acadêmica e suporte incondicional nos momentos em que mais precisei. Em especial, os agradecimentos ao meu pai Modesto e minha mãe Ana Maria e aos meus irmãos Carolina, César e Mariana.

Muito grato sou pela oportunidade de aprender e conviver com meus professores, especialmente ao meu professor orientador Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes, que com empenho e paciência me guiou no decorrer deste trabalho.

Agradeço a todos meus amigos que compartilharam desta caminhada em busca do conhecimento comigo. Agradecimento ao amigo Rodrigo Latuf pela ajuda e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

De maneira geral, agradeço a todos que convivi e pude aprender, pois com certeza contribuíram para a finalização deste curso de graduação que inicia também mais uma etapa na busca pelo conhecimento e realizações profissionais.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo e análise da implantação de um projeto de *retrofit* do sistema de água gelada que compõe a climatização de um prédio executivo da cidade de Uberlândia. Dentro da análise desenvolvida no estudo, foram propostas algumas alternativas de melhoria do sistema de condicionamento de ar visando a melhoria operacional e de eficiência energética, especificadamente do componente *chiller* que integra o sistema de água gelada.

É realizado uma avaliação de análise financeira para definição e tomada de decisão da melhor opção para o projeto de *retrofit* e posterior avaliação energética por meio de medição da energia e consumo após implantação do projeto.

O objetivo, então, é apresentar a metodologia aplicada para a implantação de projeto de *retrofit* em sistema de água gelada visando a eficiência energética, redução de custos operacionais e refletindo na melhoria da climatização da planta e economia com gastos de energia elétrica, buscando também analisar os investimentos aplicados.

O projeto inclui a execução e implantação de *retrofit* em instalação de ar condicionado com sistema de água gelada que utiliza *chiller* de condensação à água, no qual o equipamento existente antigo está no final da sua vida útil e com baixo índice de desempenho verificado, apresentando um fator de potência medido de 0,838 abaixo do que o mínimo permitido por legislação. Assim, após avaliação da proposta de *retrofit* implantada, foi verificado o aumento de desempenho energético com a substituição do equipamento, evidenciado pelo resultado de medição realizado que apresentou uma redução da potência total consumida de cerca de 40%.

Palavras Chave: Refrigeração; Eficiência Energética; *Retrofit*.

ABSTRACT

This work presents a study and analysis of the implementation of a retrofit project of the cold water system that composes the air conditioning system of an executive building in the city of Uberlândia. The analysis developed in the study, shows some alternatives proposed to improve the air conditioning system in order to get operational improvement and energy efficiency, specifically applied to the chiller that integrates the chilled water system.

A financial analysis evaluation has done to define and decide the best option for the retrofit project and subsequent energy evaluation by means of energy and consumption measurement after project implementation.

Then, the objective is to present the applied methodology for the implementation of retrofit project in cold water system focusing in the energy efficiency resulting in the improvement of the air conditioning system and saving in electricity expenses. Besides that, the studies pretends to analyze the investments applied.

The project includes the implementation and retrofit applied to an air conditioning system using a water-condensing chiller. The existing equipment is in the end of its useful life, and showing a low performance index verified. It shows a measured power factor of 0.838 below that the allowed by legislation. Thus, after the development of the proposal project, the increase of the energy performance with the replacement of the new equipment indicated around 40% decrease result of the total consumption.

Key words: Refrigeration; Energy efficiency; *Retrofit*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema central de água gelada (JOHNSON CONTROLS, 2009).	13
Figura 2.2: Chiller de condensação à água (Fonte: www.trane.com).....	14
Figura 2.3: Chiller de condensação à ar (Fonte: www.carrierdobrasil.com.br)	15
Figura 2. 4: Esquema de uma torre de resfriamento.....	16
Figura 2. 5: Torre de resfriamento. Fonte: Alpina Equipamentos.....	17
Figura 4.1: Chiller TRANE de condensação à agua existente. Fonte: Autor	21
Figura 4.2: Torres de resfriamento ALFATHERM. Fonte: Autor	22
Figura 4.3: Bombas de água gelada. Fonte: Autor	22
Figura 4.4: Bombas de água condensada. Fonte: Autor	23
Figura 4.5: Layout CAG existente.....	24
Figura 4.6: Área posicionamento torres de arrefecimento, bombas de água condensada e tubulação hidráulica.....	24
Figura 4.7: Planta baixa área sistema 1.	25
Figura 4.8: Planta baixa área sistema 2 e 3.....	26
Figura 4.9: Planta baixa área sistema 4.	26
Figura 4.10: Planta baixa área sistema 5.	27
Figura 4.11: Planta baixa área sistema 6.	27
Figura 4.12: Planta baixa área sistema 7.	28
Figura 4.13: Planta baixa área sistema 8.	28
Figura 4.14: Planta baixa área sistema 9.	29
Figura 4.15: Planta baixa área sistema 10.	29
Figura 4.16: Chiller fabricante Carrier modelo 30 HX.....	34
Figura 4.17: Chiller fabricante Carrier modelo 30 HX instalado.	35
Figura 4.18: Especificações técnicas de chiller selecionado.	36
Figura 4.19: Analisador de energia EMBRASUL.....	36
Figura 4.20: Conexão de cabos no quadro elétrico.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Revisão da Carga Térmica.....	30
Tabela 2: Estimativa custos soluções propostas.	32
Tabela 3: Estimativa de consumo e custos propostas.	33
Tabela 4: Comparação Viabilidade das propostas.	33
Tabela 5: Dados de valores médios diários coletados.	38

LISTA DE SÍMBOLOS

BAC: Bomba de Água Condensada

BAG: Bomba de Água Gelada

CAG: Central de Água Gelada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	<i>Retrofit</i>	11
2.2	Sistema de Água Gelada	11
2.3	<i>Chiller</i>	13
2.4	Torres de Resfriamento	16
2.5	Bombas	17
2.6	<i>Fan Coil</i>	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1	Descrição geral da instalação	21
4.2	Soluções propostas de retrofit	31
4.3	Análise financeira para execução do projeto	31
4.4	Definição solução proposta para o retrofit	33
4.5	Resultados Medidos	36
5	CONCLUSÃO	40
6	REFERÊNCIAS	42
	ANEXO A – PLANTA BAIXA TÉRREO	45
	ANEXO B – PLANTA BAIXA MEZANINO	46
	ANEXO C – DESCRITIVO DE CARGA TÉRMICA ESTIMADA	47

1- INTRODUÇÃO

Sabe-se que as atividades econômicas estão estritamente ligadas ao consumo e à capacidade de geração de energia elétrica, desse modo, quanto maior for o desenvolvimento, maior é o consumo e maior a necessidade de energia. Portanto, a existência de um sistema energético estruturado em bases sólidas e eficientes com maior participação de recursos renováveis é fundamental (LUCON & GOLDEMBERG, 2009).

O desenvolvimento de maneiras mais eficientes de usufruir a energia elétrica foi estimulado devido à crise energética e os elevados gastos com este insumo. Desta forma, o termo conhecido como desenvolvimento sustentável vem sendo bastante utilizado. Atualmente, uma das medidas desenvolvidas para atender à necessidade da sociedade de estabelecer parâmetros, normas e procedimentos no sentido de desenvolver práticas tecnológicas e inovadoras que não agridam o meio ambiente foi a sustentabilidade (LINS & CAIAFA, 2016).

Segundo dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) a potência requerida por instalações de ar condicionado e refrigeração é por volta de 14.000 MW, correspondendo a 11,8% da capacidade instalada no país.

Neste cenário do desenvolvimento ambientalmente amigável, a utilização consciente do recurso de energia elétrica se faz essencial para um sistema de climatização adequado. Este trabalho se enquadra nesta perspectiva, no qual realiza uma análise da implantação de um projeto de *retrofit* de Central de Água Gelada (CAG) que compõe o sistema de ar condicionado existente do prédio comercial apresentado, visando a modernização da planta e melhoria de eficiência energética. Os equipamentos que constituem um sistema de água gelada têm sua vida útil estimada entre 15 e 25 anos, mas que após um certo tempo indicam uma queda em sua eficiência energética (MCWILLIAMS & WALKER, 2004).

Dessa forma, o projeto de *retrofit* representa uma oportunidade de buscar o aumento da eficiência dos equipamentos contemplando o acréscimo de funcionalidades que garantem maior confiabilidade, segurança e durabilidade, além de reduzir energia utilizada. A viabilidade econômica do projeto consiste em recuperar os custos do investimento de implantação de projeto na instalação de ar condicionado da edificação com a economia de energia e redução de custos operacionais proporcionada pelo aumento significativo de eficiência do sistema.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a implantação de projeto de *retrofit* em sistema de água gelada visando a eficiência energética e melhoria da climatização de um prédio comercial localizado em Uberlândia. Para isto, o trabalho busca através de uma metodologia e levantamento de dados determinar soluções de *retrofit* e posterior avaliação e análise econômica da solução proposta e implantada a partir de medições de energia e custos relacionados dentro do projeto.

O objetivo complementar é avaliar a implantação do projeto e verificar os ganhos obtidos a partir da análise de consumo de energia tendo em vista o investimento da aplicação de atualização tecnológica dos equipamentos garantindo a melhoria de eficiência energética da planta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Retrofit

No desenvolvimento deste trabalho, são apresentadas as concepções gerais em relação ao *retrofit* direcionando a análise para o *retrofit* em sistemas de climatização.

Segundo Ghisi (1997), o termo do *retrofit*, em seu conceito original, é utilizado para se definir qualquer tipo de reforma. Entretanto, o termo é empregado por profissionais e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica.

De acordo com Vale (2006), o conceito *retrofit* foi originado a partir da união do termo em latim *retro* que representa movimento para trás e *fit* do inglês o qual se refere a adaptação e ajuste.

Já Nicoletti (2009) reitera que o *retrofit* em edificações integra um conjunto de ações executadas a fim do beneficiamento e a revitalização de um bem, visando a melhoria de sua performance, com qualidade ou a um custo operacional factível da utilização da benfeitoria no meio urbano.

Mukherjee (2009) apresentou vários estudos de caso evidenciando aplicação de *retrofit* para sistemas centrais de climatização. Dentre os elementos abordados foram destacadas opções de *retrofit* como otimização de sistema de automação, alteração nos processos de climatização e substituição de componentes ultrapassados por outros mais eficientes. Neste cenário, o termo *retrofit* faz alusão à modernização de edificações assim como dos sistemas de climatização sobre os quais este trabalho é desenvolvido.

2.2 – Sistema de Água Gelada

Segundo a ASHRAE (2009), o ar condicionado é compreendido como o processo de tratamento do ar por meio de ajustes em conjunto de temperatura, umidade, grau de pureza e circulação, proporcionando a manutenção de condições favoráveis e desejáveis para um ambiente climatizado. Entretanto, o campo de ar condicionado é independente ao da refrigeração, assim como é complementar (STOECKER & JONES, 1985)

A maneira de refrigeração é basicamente similar nos condicionadores de ar, mas há diferenças clássicas no que diz respeito ao porte e a forma de distribuição do ar climatizado. Pode-se dividir os tipos de sistemas de ar condicionado em quatro: sistema central para um

edifício inteiro, sistema *split*, sistema *self* e sistemas individuais (JOHNSON CONTROLS, 2009).

O sistema de refrigeração é um dos principais fatores de consumo energético, gerando custos ao administrador em diversas formas de empreendimento, como por exemplo um prédio executivo o qual é o local de estudo para desenvolvimento deste trabalho. Dessa forma, um bom planejamento de como será executado o sistema de climatização deste local é um ponto significativo a ser considerado.

O ponto central do presente trabalho está no sistema de água gelada que é o sistema de ar condicionado central mais comum. Sistemas de água gelada são constituídos por um conjunto de equipamentos com a finalidade de produção de água gelada em larga escala e grande capacidade. Estes sistemas podem ser classificados em condensação a ar e condensação a água, neste último o sistema é constituído basicamente por *chiller*, torre de resfriamento, bombas de água condensada e água gelada, tubulação de água condensada e gelada, *fan-coils* e válvulas. Para o caso do sistema de condensação a ar, não é necessária a utilização de torre de resfriamento. Dentre os elementos citados que compõem o sistema de água gelada, o *chiller* é o componente considerado principal e possui a função de resfriar a água que é usada para condicionar o ar.

Os sistemas de grande porte ou sistemas que necessitam de algum tipo de controle rigoroso de temperatura, umidade e filtragem, tais como *shopping centers*, *data centers*, hotéis e grandes edifícios comerciais, geralmente são utilizados sistemas de expansão indireta, também chamados de sistemas de água gelada. Nos sistemas de água gelada o equipamento de refrigeração é instalado em uma área da edificação, chamada de Central de Água Gelada (CAG). A central de água gelada incorpora equipamentos denominados de *chillers* que produzem o resfriamento da água. A água gelada, produzida nos *chillers*, é bombeada e distribuída, por uma rede de tubulações, para todas as áreas que serão climatizadas. Como estas tubulações transportam água gelada, estas são isoladas termicamente. No sistema de água gelada, o resfriamento do ar é realizado por outros equipamentos denominados de *fan-coils*, que são compostos por um ventilador que realiza a movimentação do ar e por uma serpentina na qual circula a água gelada. Os equipamentos *fan-coils* podem ser de grande porte, instalados em casas de máquinas e com a distribuição do ar por dutos ou, ainda, podem ser aparentes de pequeno porte (*fancoletes*). THERMOVIX (2018). A Figura 2.1, ilustra o sistema de uma central de água gelada no qual é utilizado estes equipamentos citados como *chiller*, torre de resfriamento, *fan coils* e *fancoletes*.

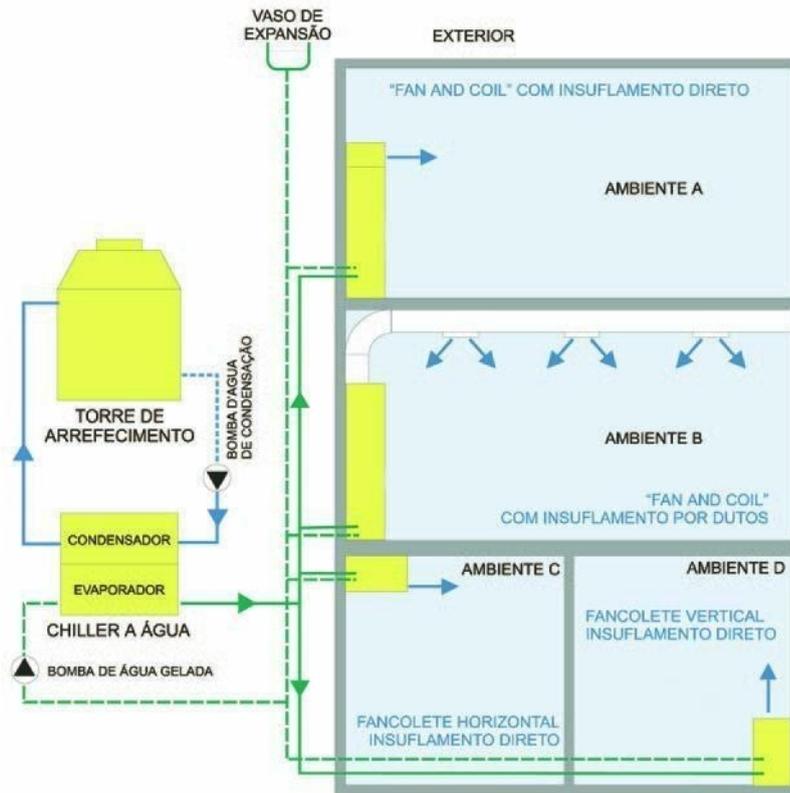


Figura 2.1 - Sistema central de água gelada (JOHNSON CONTROLS, 2009).

2.3 – Chiller

Chillers ou resfriadores de líquido podem ser compreendidos, em sua definição, como máquinas refrigeradoras de grande dimensão com função de arrefecer fluidos, para futuro uso em várias aplicações. Este equipamento desempenha esta função por meio de ciclos de refrigeração, no qual o fluido de trabalho sofre mudanças de temperatura e pressão até concluir a remoção de calor do ambiente que será climatizado e atingir a temperatura desejada ao usuário.

O *chiller* é o componente mais relevante num sistema de água gelada, pois é esta a máquina térmica que executa a atividade de remover calor de uma fonte fria e rejeitá-la em uma fonte quente, ou seja, é neste equipamento que ocorrem as trocas de calor. O mesmo é composto por componentes essenciais como compressor, evaporador, válvula expansora e condensador. Além disso, possui demais elementos periféricos como circuito de lubrificação, filtros secadores, sistemas instrumentados de nível, temperatura e pressão (ASSMANN, 2017)

Os vários modelos de *chillers* encontrados no mercado se diferenciam conforme a forma que ocorre a troca de calor na condensadora, o tipo de compressor integrado ao equipamento e a carga térmica solicitada em projeto. Em relação ao tipo de compressores podem ser scroll, centrífugo, parafuso e pistão e quanto ao condensador pode ser dividida em condensação a água ou a ar. Por fim, com relação ao evaporador podem ser do tipo inundados ou secos (ELETROBRÁS/PROCEL,2011).

Pode-se subdividir o sistema central de água gelada em dois tipos, sendo o primário considerado onde o fluido circula pelo resfriador e o secundário no qual o fluido circula pela edificação após sair do *chiller*, retornando em seguida para o sistema primário e fechando o ciclo (LINS & CAIAFA, 2016).

A diferença fundamental entre os *chillers* de condensação a água e a ar está exatamente no processo de troca de calor na condensadora. Nos de condensação a água, o refrigerante cede calor para a água no condensador. Após ser aquecida pelo fluido refrigerante na condensadora, a água é bombeada até a torre de resfriamento, responsável por resfriá-la, onde troca calor com o ambiente e retorna em seguida a condensadora fechando o ciclo.



Figura 2.2: *Chiller* de condensação à água (Fonte: www.trane.com)

No *chiller* de condensação a ar, a troca de calor com o fluido refrigerante se dá por meio da passagem de fluxo de ar pelo condensador de forma a arrefecer o mesmo. Esta circulação de ar é realizada por ventiladores posicionados na parte superior do equipamento resfriador de líquido. Por isso, não é preciso o uso de torre de resfriamento.



Figura 2.3: *Chiller* de condensação à ar (Fonte: www.carrierdobrasil.com.br).

2.4 – Torres de Resfriamento

As torres de resfriamento são trocadores de calor empregados para o resfriamento da água aquecida vinda do *chiller*. A água quente oriunda do condensador entra pela parte superior da torre e é então distribuída pelos canais abertos e, por gravidade, desce ao tanque coletor de onde é realizada a sucção da água por uma bomba. Dessa forma, a água arrefecida volta ao condensador de forma contínua e uniforme, no qual o calor cedido pelo fluido refrigerante à água de circulação é lançado ao ar, com o qual a mesma entra em contato na torre (CREDER, 2004).

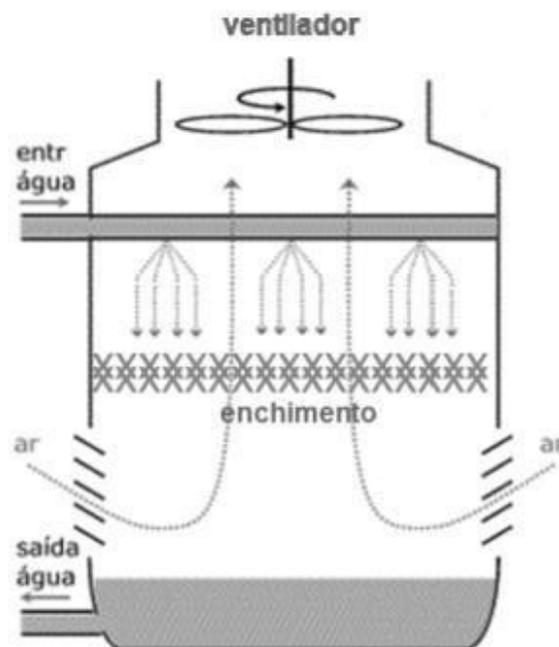


Figura 2. 4: Esquema de uma torre de resfriamento.

Torres de resfriamento são, essencialmente, colunas de transferência de massa e calor planejadas a fim de possibilitar uma ampla área de contato entre os dois fluxos de ar e água. De acordo com Bennet e Myers (1978), a água aquecida proveniente do condensador é gotejada na parte superior da torre e circula pela torre de forma lenta, descendo por meio dos enchimentos de variadas formas e tamanhos, em contracorrente com um fluxo de ar frio (geralmente a temperatura ambiente) resultando na evaporação da água neste contato direto das correntes de água e ar, produzindo seu resfriamento.



Figura 2.5: Torre de resfriamento. Fonte: Alpina Equipamentos.

2.5 – Bombas

Geralmente, as bombas utilizadas nos sistemas de ar condicionado são do tipo centrífugas, de um ou vários estágios, de acordo com a vazão e altura manométrica requeridas. Estas bombas são os componentes responsáveis por garantir a circulação de água por todo o sistema.

As bombas podem ser classificadas como primárias, secundárias e de condensação. A bomba primária executa a função de succionar e bombear a água oriunda da edificação para a evaporadora do *chiller*, no qual será resfriada ao realizar a troca de calor com o fluido refrigerante. Já a secundária, é responsável por encaminhar a água gelada que sai do *chiller* para o restante do sistema, alimentando os *fan coils*. Por fim, as bombas de condensação são empregadas apenas em *chiller* de condensação a água, no qual possui a função de realizar a circulação da água que vai da condensadora para a torre de resfriamento e, em seguida, volta para a condensadora. É importante que se tenha uma bomba reserva para cada uma a fim de se garantir a operação do sistema em caso de falha da mesma (operante) (LINS & CAIAFA, 2016).

2.6 – *Fan Coil*

Entende-se como *fan-coil* unidades de tratamento de ar dotado por um ventilador e um trocador de calor. Tratamento do ar pode ser compreendido como a função de resfriar, desumidificar e filtrar o ar (LOPES, 2014). Os *fan-coils* e os fancoletes são os equipamentos integrantes do sistema de água gelada que utilizam a água gelada produzida no *chiller*, ou seja, onde ocorre a troca de calor entre a água gelada que circula pela serpentina do equipamento e o ar.

Os *fan-coils* são amplamente empregados e recomendados para aplicações em cinemas, prédios comerciais, shopping centers etc. Os fancoletes são considerados os *fan-coils* de menores capacidades, e são indicados especialmente em empreendimentos como centros comerciais que já estão integrados a uma estrutura de suprimento de água gelada, mas serão responsáveis por atender e garantir a climatização de uma área menor.

O funcionamento destes condicionadores de ar se dá fundamentalmente da mesma maneira em que ocorre no sistema de evaporação de um equipamento comum de ar condicionado *split*, substituindo-se o fluido de trabalho que executa a troca de calor com ambiente, ou seja, substituição do fluido refrigerante por água gelada. Estas máquinas possuem serpentinas no qual circula-se a água gelada que com o contato com o ar, previamente filtrado, passa por este caminho e é então insuflado para o ambiente que será climatizado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho buscou analisar o ganho de eficiência energética a partir da aplicação de projeto de implantação de *retrofit* no sistema de água gelada de um prédio executivo localizado na cidade de Uberlândia.

A metodologia utilizada será descrita nos passos a seguir, tendo como objetivo expor a série de medidas que possibilitou o levantamento e análise de dados e, por fim, a apresentação dos resultados obtidos na implantação do projeto de *retrofit* na instalação do prédio em questão.

Etapa 1 – Revisão Bibliográfica sobre o *Retrofit* em Sistema de Água Gelada

Nesta etapa, foi levantado alguns trabalhos publicados referentes a *Retrofit* em sistemas de refrigeração. O objetivo desta etapa foi de integrar ao máximo os trabalhos encontrados e citados nas referências bibliográficas, bem como o de encontrar trabalhos e estudos que evidenciavam a aplicação e análise de projetos de *retrofit* em casos reais.

Etapa 2 – Investigação do Sistema de Água Gelada

Esta etapa se refere a todo o processo destinado ao levantamento de dados do sistema que é avaliado a aplicação de *retrofit*. A finalidade desta etapa foi de obter dados relevantes para a definição de aplicação do projeto no sistema, contemplando vistorias a planta, pesquisa documental para informações de projeto arquitetônico e de climatização, bem como verificação de histórico de manutenção nos componentes que integram o sistema e informações adicionais para definição da solução.

Etapa 3 – Revisão de Carga Térmica

Em paralelo as atividades realizadas na etapa de investigação, uma vez conhecida a planta e realizada a verificação *in loco* dos equipamentos e componentes que integram o sistema de climatização da planta do prédio, foi levantada e estimada a carga térmica. Esta revisão teve o objetivo de comparar e avaliar se o sistema existente em operação antes do *retrofit* atendia às exigências de uma climatização adequada dos ambientes garantindo o conforto térmico dos ocupantes. Além disso, teve a finalidade de servir de parâmetro para a seleção do novo *chiller*

instalado em substituição ao equipamento antigo conforme solução de *retrofit* proposta que é apresentada no desenvolvimento deste trabalho.

Etapa 4 – Medição de Energia

Esta é uma das etapas fundamentais do projeto no qual foi coletado os dados para levantamento de energia consumida pelo equipamento *chiller* antes e depois da realização da solução de *retrofit* no sistema de água gelada do prédio.

Etapa 5 – Avaliação de Viabilidade Econômica

Nesta etapa foi realizado uma análise financeira para a execução do projeto tendo a solução proposta para o projeto, contemplando os custos de aquisição de equipamento e serviço especializado para a instalação e execução do projeto, servindo como parâmetro de tomada de decisão pela melhor opção para o *retrofit*.

Etapa 6 – Análise e discussão dos resultados

De posse dos resultados, após o fim de implantação do projeto de *retrofit* e análise de dados de consumo de energia levantados foi possível avaliar os procedimentos durante a implantação, os resultados e ganhos de eficiência energética bem como se a solução aplicada resultou no fim desejado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Descrição geral da instalação

A instalação para o desenvolvimento deste estudo se trata do sistema de água gelada de um prédio executivo localizado na cidade de Uberlândia. O sistema de climatização do prédio atende à uma área condicionada de aproximadamente 3.800 m², composto por um sistema de expansão indireta, no qual a central de água gelada (CAG) produz água gelada que é distribuída pelos blocos e ambientes do prédio como escritórios e salas de reuniões até os condicionadores de ar do tipo *fan coil* e fancoletes. A CAG é composta por 02 (dois) *chillers* de condensação à água com capacidade de 120 TR cada, fabricante TRANE e modelo CGWA de compressores alternativos com fabricação em 1998 (Figura 4.1) e por 02 (duas) torres de resfriamento com capacidade de 160 TR cada, fabricante ALFATERM (Figura 4.2).



Figura 4.1: *Chiller* TRANE de condensação à água existente. Fonte: Autor.



Figura 4.2: Torres de resfriamento ALFATERM. Fonte: Autor.

O sistema de bombeamento e circulação de água gelada é composto por 03 (três) bombas de água gelada (Figura 4.3) sendo uma destas reserva, e para a circulação de água condensada, o sistema é composto por 03 (três) bombas de água condensada (Figura 4.4) também com uma destas como reserva. O layout geral do prédio pode ser visto no Anexo A e Anexo B.



Figura 4.3: Bombas de água gelada. Fonte: Autor.



Figura 4.4: Bombas de água condensada. Fonte: Autor.

A Figura 4.5 ilustra a operação atual da CAG, destacando os componentes que a integram como os *chillers*, bombas de água gelada (BAG's), bombas de água condensada (BAC's), torres de resfriamento e infraestrutura hidráulica existente que atende ao sistema. A linha representada na cor azul escuro ilustra a água que passa pelos resfriadores de líquido e o encaminhamento futuro da tubulação de água gelada que passa pelos *fan coils* e fancoletes existentes da planta que atendem aos blocos.

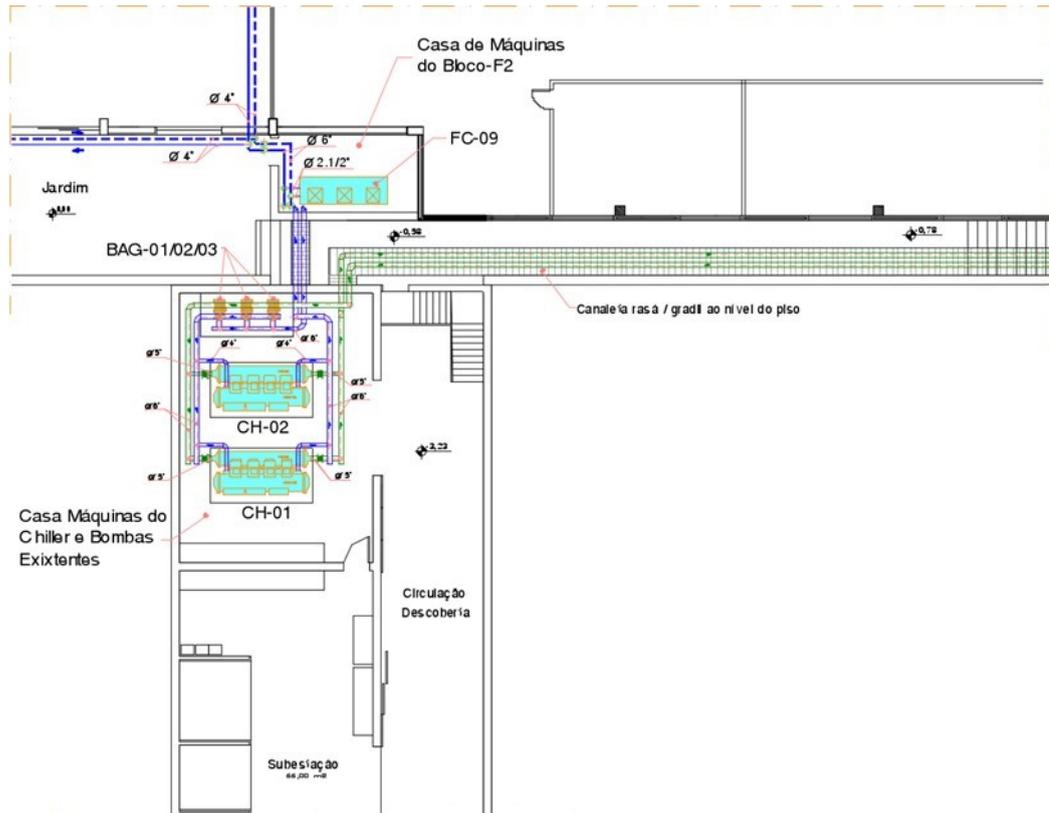


Figura 4.5: Layout CAG existente.

A linha verde corresponde ao caminho da infraestrutura hidráulica por onde passa a água de condensação, que interliga os *chillers* com as torres de resfriamento.

No interior das condensadoras dos *chillers*, esta água de condensação absorve energia liberado pelo fluido refrigerante e posteriormente dirige para as torres de resfriamento (Figura 4.6) onde é arrefecida. A circulação desta água é realizada pelas bombas de condensação (BAC's).

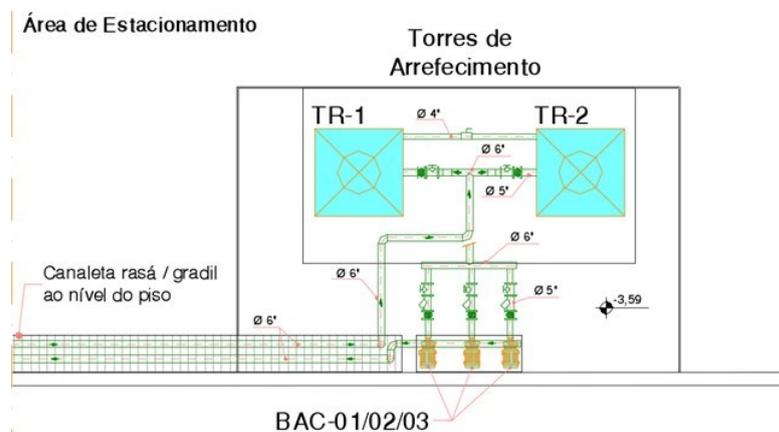


Figura 4.6: Área posicionamento torres de arrefecimento, bombas de água condensada e tubulação hidráulica.

Visando avaliar o desempenho do sistema existente e para chegar na definição da solução de *retrofit* do sistema de água gelada do prédio de forma eficiente, foi realizada a revisão da carga térmica. Para o levantamento e estimativa da carga térmica foi considerado a divisão das áreas atendidas conforme os sistemas de atendimento e setores identificados como blocos e áreas, vide Anexo A e Anexo B, para melhor compreensão e referência no desenvolvimento deste trabalho.

Dessa forma, foi dividido em 10 áreas de atendimento de forma isolada no estudo da revisão da carga térmica, considerando as seguintes fontes de calor: calor de condução, calor de pessoas, calor de insolação, calor de equipamentos e calor de devido à ventilação. Para as bases de cálculos foram considerados o condicionamento para verão somente tomando como referência os dados para a cidade de Uberlândia. Coletando-se os dados médios da cidade no site Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) tem-se uma temperatura externa do ambiente climatizado de bulbo seco de 34°C e umidade relativa de 45% e para as condições de conforto térmico foi adotado a temperatura interna do ambiente de 23°C e a umidade relativa de 50%. O descritivo da carga térmica estimada pode ser visualizado no Anexo C.

O sistema 1 considerando-se mezanino e térreo (Figura 4.7), no qual é atendido pelo *fan coil* FC-01, obteve-se uma carga térmica estimada de 24,2 TR.

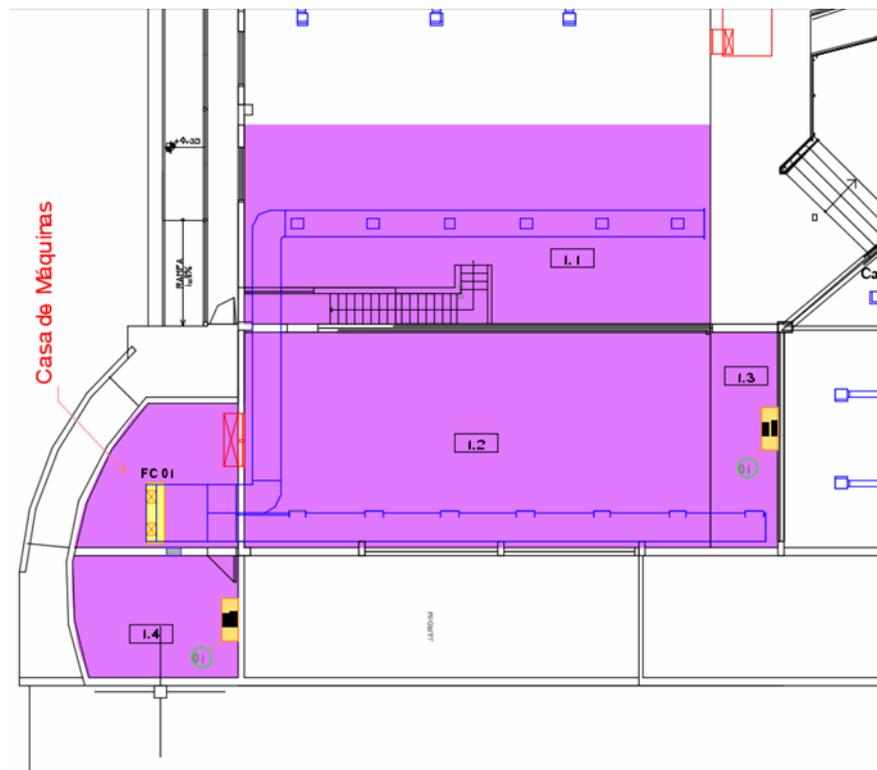


Figura 4.7: Planta baixa área sistema 1.

Para o sistema 2 e 3 (Figura 4.8) atendidos pelos *fan coils* FC-02/03, foi obtido uma carga térmica estimada de 45,87 TR.

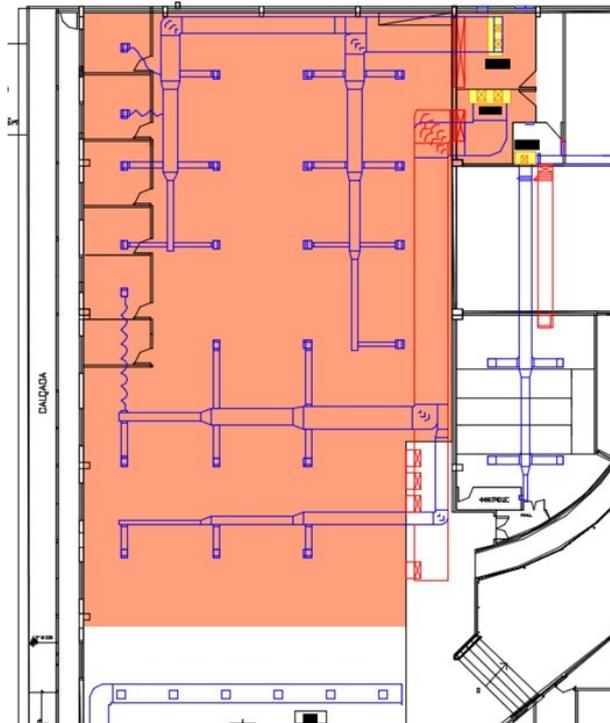


Figura 4.8: Planta baixa área sistema 2 e 3.

A área do sistema 4 (Figura 4.9) é atendida pelo *fan coil* FC-04 e apresentou carga térmica estimada de 5,73 TR.

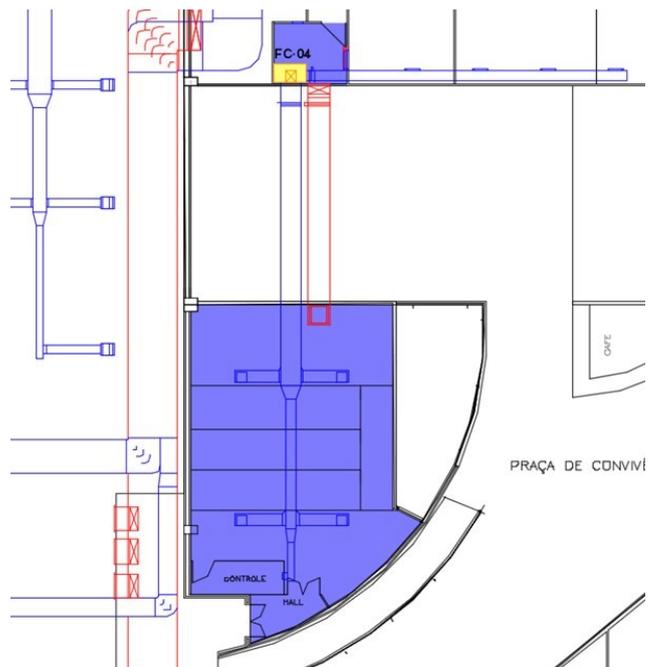


Figura 4.9: Planta baixa área sistema 4.

Para o sistema 5 (Figura 4.10) foi obtido um valor estimado de carga térmica de 39,6 TR. Este bloco é atendido pelo *fan coil* FC-05, além disso o sistema de climatização desta área trabalha em conjunto com o bloco ao lado considerado como sistema 6 (Figura 4.11). Este bloco por sua vez é atendido pelo equipamento FC-06 e teve sua carga térmica estimada de 35,1 TR.

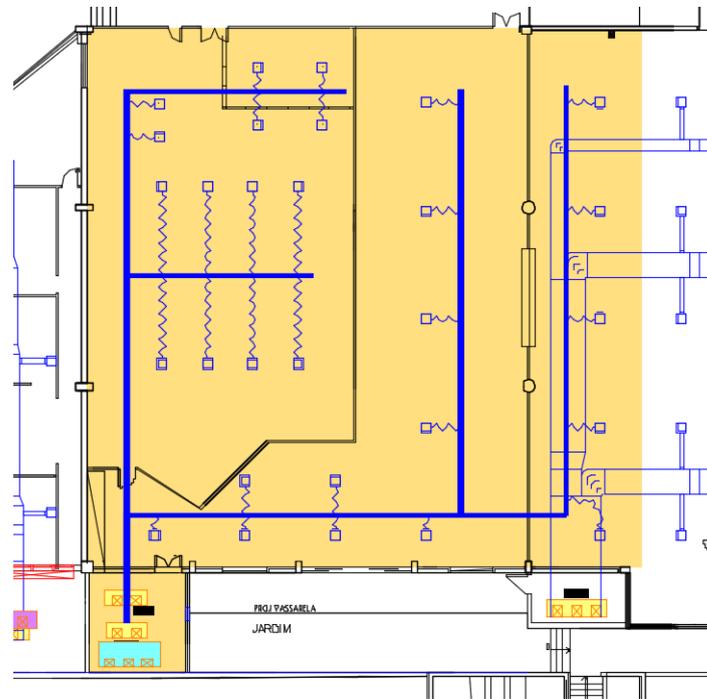


Figura 4.10: Planta baixa área sistema 5.

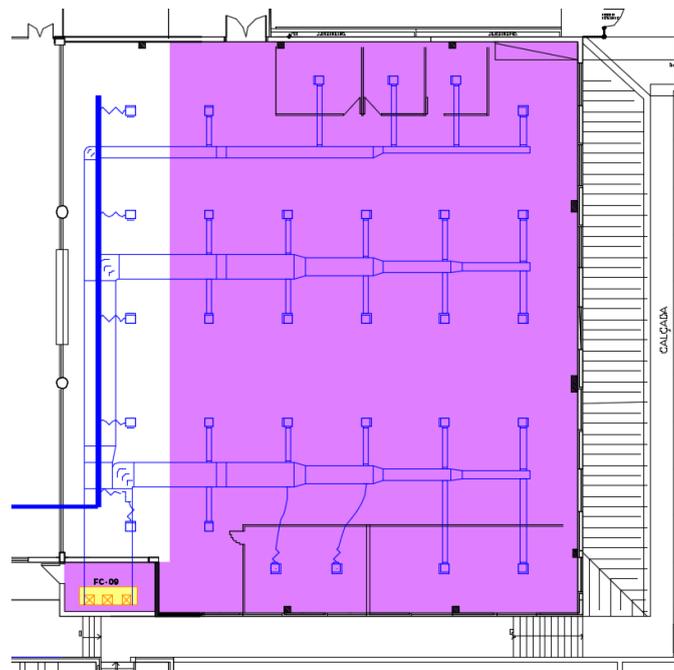


Figura 4.11: Planta baixa área sistema 6.

O sistema 7 (Figura 4.12) é atendido pelo equipamento *fan coil* FC-07 e obteve-se uma carga térmica estimada de 20,15 TR.

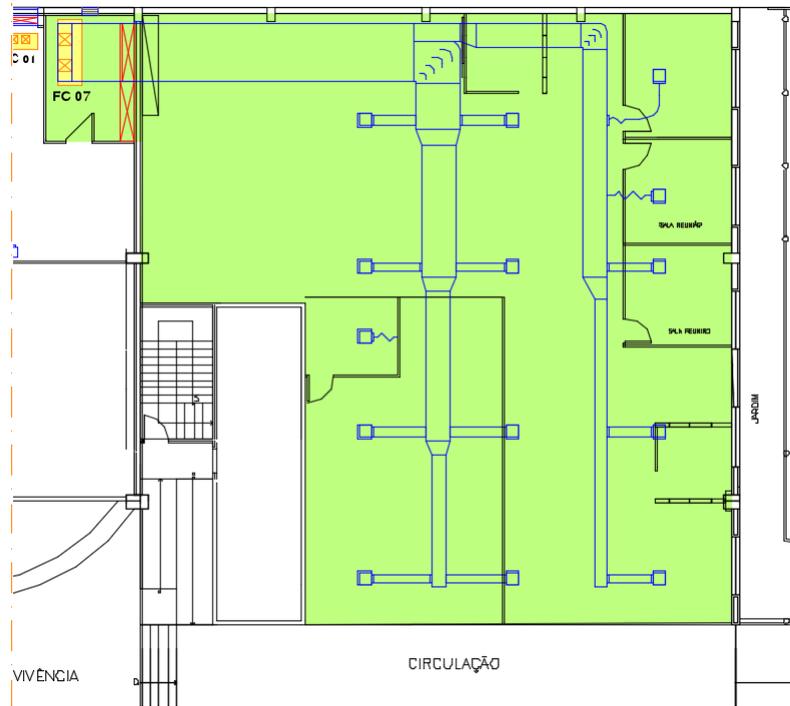


Figura 4.12: Planta baixa área sistema 7.

O sistema 8 (Figura 4.13) atendido pelo equipamento *fan coil* FC-08 e possui uma carga térmica estimada de 14,13 TR.

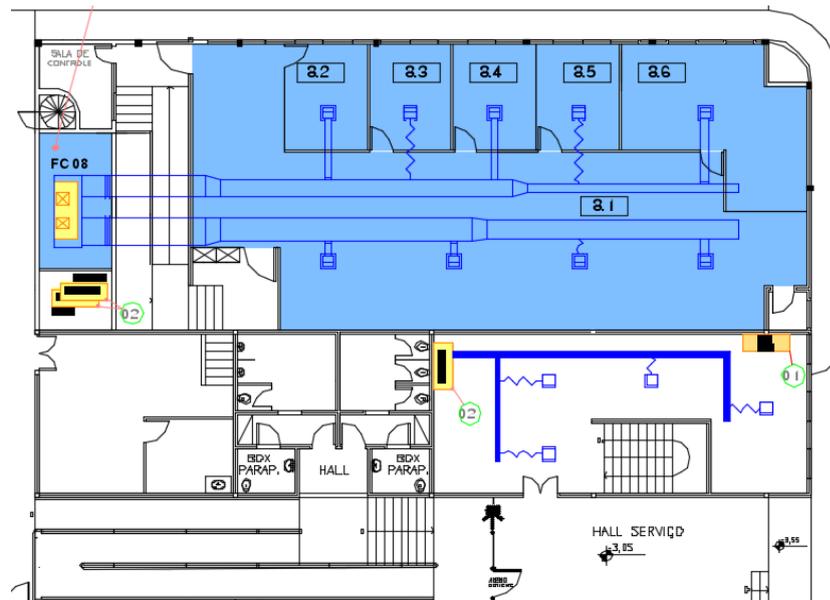


Figura 4.13: Planta baixa área sistema 8.

A área referente ao sistema 9, (Figura 4.14) é constituído apenas por um fancolete e apresentou carga térmica estimada de 5 TR.

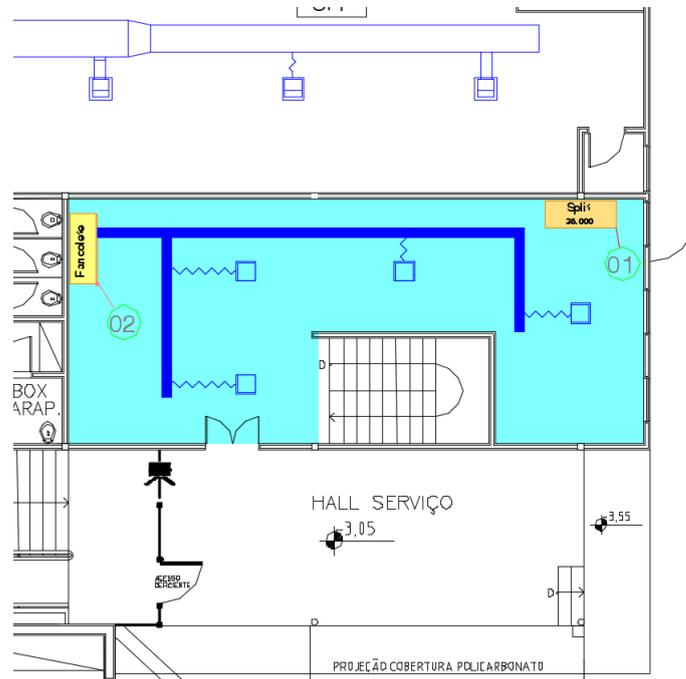


Figura 4.14: Planta baixa área sistema 9.

A área do prédio correspondente ao sistema 10 (Figura 4.15) é um local atendido por 10 fancoletes, onde obteve-se carga térmica estimada de 11,9 TR.

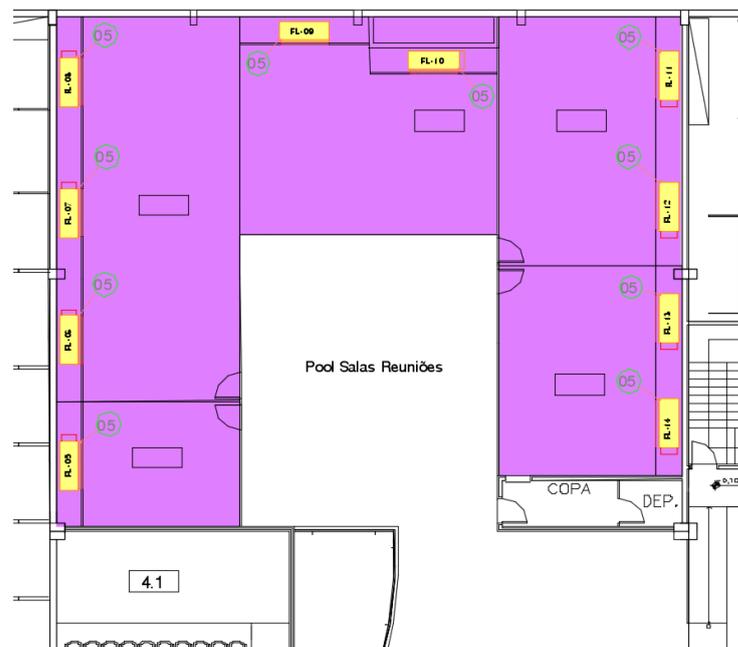


Figura 4.15: Planta baixa área sistema 10.

Na Tabela 4.1 pode ser observado o consolidado dos dados das áreas consideradas para a revisão da carga térmica, contemplando também a capacidade nominal dos equipamentos instalados e que atendem a cada área. Além dos equipamentos *fan coils* e fancoletes instalados nos ambientes, existem também *splits* comuns instalados de forma a atender a carga térmica auxiliar quando de maior demanda de ocupação de pessoas dos ambientes, garantindo melhoria de conforto térmico.

Tabela 1: Revisão da Carga Térmica

Sistema	Área (m ²)	Equipamento Fan Coil/Fancolete	Capacidade Térmica Nominal Fan Coil/ Fancoletes (TR)	Capacidade Térmica Nominal Split (TR)	Capacidade Térmica Nominal Total (TR)	Carga Térmica Estimada (TR)
01	363	FC 01	18.9	6	24.9	24.20
02/03	688	FC 02/03	43.4	0	43.4	45.87
04	90	FC 04	6.3	0	6.3	5.73
05	653	FC 05	30	6	36	39.60
06	544	FC 06	34.9	5.5	40.4	35.10
07	375	FC 07	23.8	0	23.8	20.15
08	212	FC 08	20	0	20	14.13
09	75	FL 01	2.5	3	5.5	5.00
10	180	FL 02-11	16	7	23	11.90
TOTAL	3180		195.8	27.5	223.3	201.68

Além da revisão da carga térmica do prédio, foi considerado informações adicionais sobre as condições existentes de atendimento e desempenho dos sistemas pelo *staff* técnico responsável pela infraestrutura do edifício como os profissionais de engenharia e da área de manutenção dos equipamentos de ar condicionado.

Foi verificado que os equipamentos existentes como *chillers* e torres de resfriamento, antes da implantação de projeto de *retrofit*, não mais forneciam a potência frigorífica suficiente para atender à carga térmica geral que poderia ser absorvida pelos *fan coils* de toda a instalação visto a queda de desempenho das máquinas. Além do mais, estes equipamentos utilizam energia elétrica em parâmetros que não são aceitáveis sob ponto de vista econômico, não possuem confiabilidade de operação pois podem apresentar defeitos graves e paradas longas para reparos, utilizam peças e componentes de reposição que se tornaram raras e de difícil aquisição tendo em vista a data de fabricação do equipamento datado de 1998 e, por fim, utilizam fluido refrigerante não ecológico e que possui prazo para ser retirado do mercado que é o fluido R22.

4.2 – Soluções propostas de *retrofit*

Não existe soluções gerais de *retrofit*, o método de levantamento de possíveis soluções que possam atender aos requisitos e demanda são personalizados de acordo com o diagnóstico e as análises realizadas da planta. Entretanto, a modernização é sempre um fator significativo considerado. Na elaboração destas soluções e futuros projetos conceituais, deve-se focar na melhoria das características operacionais do sistema a fim de atender as novas demandas.

Para o caso deste estudo, foi levantado e propostas as soluções voltadas especificamente para o *chiller* visto a ineficiência operacional apresentada pelo mesmo e demais necessidades de *retrofit* já citadas, como a questão de atendimento à sustentabilidade (Protocolo de Montreal).

Dentre as justificativas para as soluções propostas foram considerados também os seguintes pontos, como: utilização plena e segura da estrutura de energia elétrica existente com o mínimo de alterações e utilização do espaço dedicado para as áreas atualmente ocupadas pelos equipamentos. Desta maneira, foram propostas duas alternativas de *retrofit*:

- a. Substituição dos dois *chillers* existentes com compressor alternativo, 120 TR e condensação à água por dois *chillers* com compressor parafuso de 120 TR e condensação a água de alta eficiência
- b. Substituição de um dos dois *chillers* existentes com compressor alternativo, 120 TR e condensação à água por *chiller* com compressor parafuso de 120 TR e condensação a água de alta eficiência

4.3 – Análise financeira para execução do projeto

Diante das propostas de soluções apresentadas para o projeto, foi definido os investimentos iniciais que envolvem aquisição do equipamento novo e serviço de instalação e em seguida estimado as economias de energia para cada solução.

Para a obtenção de estimativa de custos para investimento de instalação dos equipamentos e investimento na instalação foram necessárias pesquisas de mercado e contato com fornecedores e empresas locais que prestam serviços especializados na parte de climatização. A Tabela 2 apresenta estes valores.

Tabela 2: Estimativa custos soluções propostas.

	Substituição 2x <i>Chillers</i> à água 120 TR	Substituição 1x <i>Chiller</i> à água 120 TR
Tecnologia		
<i>Chillers</i>	R\$ 430,000.00	R\$ 215,000.00
Instalação/Serviços		
Locação do <i>Chiller</i>	R\$ 28,865.00	R\$ 28,865.00
Limpeza química circuito água condensada	R\$ 15,000.00	R\$ 15,000.00
Start up (realizado pelo fabricante)	R\$ 15,000.00	R\$ 15,000.00
Mão de obra e materiais aplicados no serviço	R\$ 120,000.00	R\$ 100,000.00
Total Geral		
Custos	R\$ 608,865.00	R\$ 373,865.00

Dentre os serviços para a implantação destas soluções do projeto que inclui a substituição do *chiller* existente, foi estudado a instalação de *chiller* auxiliar (reserva) ao lado da CAG. A finalidade deste *chiller* é para viabilizar tecnicamente a manobra de remoção do *chiller* da casa de máquinas e posteriormente ser possível de se realizar a instalação do novo *chiller*, sendo que nesta etapa estimou-se o mesmo período de locação de 30 dias do *chiller* auxiliar para os dois casos propostos. Portanto, a locação do equipamento para atender a demanda do prédio enquanto é realizado a desmontagem e remoção do *chiller* a ser substituído e em seguida a instalação e *start up* do equipamento se fez necessário neste levantamento de investimento.

Pode-se observar pela Tabela 2 que o investimento da substituição de apenas um *chiller* frente a substituição dos dois *chillers* se difere num valor de R\$ 235.000,00. Já a Tabela 3 apresenta estes valores de investimentos consolidados com a análise de economia de energia estimada e, finalmente, apresentado um *payback* simples do investimento para cada solução. Enfim, é apresentado na Tabela 4 os valores de *payback* em anos para os investimentos nos dois casos. Para o cálculo do *payback* simples, foi estimado tomando como base os custos de aquisição do equipamento e serviços para a implantação do projeto e economia gerada pela redução no consumo de energia elétrica. Pode-se observar que apesar do investimento de capital maior inicial para a substituição dos dois *chillers*, o *payback* apresentado para esta solução foi de 6,16 anos em comparação com 7,97 anos verificado para a solução de substituição de apenas um dos *chillers*.

Na tabela 4 pode ser observado os dois cenários de estudo, no qual é apresentado os valores de potência estimada para os resfriadores de líquido existentes e novos bem como o tempo em operação do equipamento considerado para este levantamento foi o diário

correspondente à 11 horas (de 07:00 às 18:00) e mensal correspondente à 22 dias (excluindo-se os finais de semana). Além disso, foi considerado um valor de tarifa de kWh média de R\$ 0,45 para obtenção dos valores de custos com consumo de energia elétrica, servindo de parâmetro no levantamento desta análise financeira das duas opções de projetos propostos.

Tabela 3: Estimativa de consumo e custos propostas.

Novo Cenário								
Equipamento	Capacidade térmica (TR)	Qtd.	Potência (kW)	Tempo operação (h)	Consumo total (kWh/mês)	Consumo total (kWh/ano)	Custo/Mês (R\$)	Custo/Ano (R\$)
Chiller	120	2	67.32	11	32,582.88	390,994.56	R\$ 14,336.47	R\$ 172,037.61
Chiller	120	1	67.32	11	16,291.44	195,497.28	R\$ 7,168.23	R\$ 86,018.80
Cenário Atual								
Equipamento	Capacidade térmica (TR)	Qtd.	Potência (kW)	Tempo em operação (h)	Consumo total (kWh/mês)	Consumo total (kWh/ano)	Custo/Mês (R\$)	Custo/Ano (R\$)
Chiller	120	2	106	11	51,304	615,648	R\$ 23,242.25	R\$ 270,885.12
Chiller	120	1	106	11	25,652	307,824	R\$ 11,621.13	R\$ 135,442.56

Tabela 4: Comparação Viabilidade das propostas.

	Cenário atual	Substituição 2x Chillers à água 120 TR	Substituição 1x Chiller à água 120 TR
Consumo total (kWh/mês)	51,304	32,583	41,943
Consumo total (kWh/ano)	615,648	390,994.56	503,321.28
Custo (R\$/mês)	R\$ 23,242.25	R\$ 14,336.47	R\$ 18,455.11
Custo (R\$/ano)	R\$ 270,885.12	R\$ 172,037.61	R\$ 221,461.36
Economia (R\$/ano)	-	-R\$ 98,847.51	-R\$ 49,423.76
Payback simples (ano)	-	6.16	7.56

4.4 – Definição Solução Proposta para o Retrofit

Tendo em vista às informações técnicas, revisão da carga térmica e análise financeira, chegou-se a solução da proposta do projeto de *retrofit* a ser implantado na central de água gelada existente. Apesar do *payback* para a solução de substituição dos dois *chillers* ser menor que a outra como apresentado acima, o fator do capital a ser aplicado e disponibilidade de utilização deste recurso de uma única vez foi um limitante dentro da escolha da empresa pela melhor solução. Dessa forma, a solução optada para a melhoria da climatização dos ambientes de escritório para conforto humano do prédio em conjunto com uma melhor eficiência energética

e segurança operacional foi pela elaboração e execução de projeto de substituição de um dos dois *chillers* existentes de compressor alternativo por um *chiller* novo de compressor parafuso de mesma capacidade térmica de 120 TR, mas de alto rendimento e tecnologia inovadora.

Neste caso, para a seleção do novo *chiller* instalado em substituição ao antigo foi analisado e levantado características e parâmetros próximo do equipamento existente tomando-se como base, além da capacidade térmica, a vazão e bitola da tubulação pois seria necessário o aproveitamento de infraestrutura hidráulica existente. Dessa forma, foi mantida a tubulação de água resfriada que serve aos *fan coils* que possui bitola suficiente para atender a demanda futura com a substituição de um dos *chillers* por outro mais eficiente e garantindo, assim, um menor investimento que seria necessário para adequação da infraestrutura.

Para a seleção deste novo equipamento resfriador de líquido foi considerado algumas características principais, como: arrefecimento por água, compressor parafuso de alta eficiência, capacidade térmica efetiva de forma a atender à demanda da carga térmica existente no prédio, fluido refrigerante aceito pelo protocolo de Montreal e emendas subsequentes, ou seja, de aceitabilidade ambiental atual (R-410 A, R-407C, R-134 A) e fabricação de origem ou representatividade de fabricação no Brasil por no mínimo 20 anos a fim de garantir durabilidade do equipamento adquirido.

Portanto, o equipamento escolhido no projeto foi o resfriador de líquido fabricante Carrier modelo 30 HX que pode ser observado na Figura 4.16.



Figura 4.16: *Chiller* fabricante Carrier modelo 30 HX.

A Figura 4.17 ilustra a instalação in loco do *chiller* selecionado para este projeto em substituição ao equipamento existente antigo. Pode-se observar que o espaço ocupado pelo novo resfriador de líquido é bem menor se comparado ao espaço ocupado pelo antigo como ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.17: *Chiller* fabricante Carrier modelo 30 HX instalado.

As especificações técnicas deste *chiller* podem ser visualizadas na Figura 4.18. É possível observar as principais características deste equipamento como: capacidade térmica de 120 TR, fluido refrigerante R-134a, composta por compressor tipo duplo parafuso semi-hermético e evaporadora e condensadora do tipo casco e tubo.

30HX		080	090	100	110	120	130	140
Capacidade nominal de refrigeração*	TR	80.8	87.9	96.4	105.5	118.0	126.8	143.6
Capacidade nominal de refrigeração*	KW	284	309	339	371	415	446	505
Peso em operação	kg	2274	2279	2302	2343	2615	2617	2702
Refrigerante	kg	HFC-134a						
Circuito A**		33	33	32	31	49	51	48
Circuito B**		34	34	30	35	52	47	48
Óleo		Óleo polyolester código CARRIER SPEC. PP47-32						
Circuito A	l	15	15	15	15	15	15	15
Circuito B	l	15	15	15	15	15	15	15
Compressores		Duplo parafuso semi-hermetico						
Circuito A - capacidade nominal/comp		39	46	46	56	56	66	80
Circuito B - capacidade nominal/comp		39	39	46	46	56	56	56
Controle de capacidade		Controle PRO-DIALOG Plus						
Número estágios de capacidade		6	6	6	6	6	6	6
Capacidade mínima	%	19	19	21	19	21	19	17
Evaporador		Casco & tubo com tubos de cobre aletados internamente						
Volume de água	l	50	50	58	69	65	65	75
Conexões de água		Fornecido pela fábrica e soldados em campo						
Diametro entrada/saída	pulg.	4	4	4	5	5	5	5
Dreno (NPT)	pulg.	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
Pressão máxima serv./lado água	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Condensador		Casco e tubo com tubos de cobre ranhurados internamente						
Volume de água	l	48	48	48	48	78	78	90
Conexões de água		Fornecido pela fábrica e soldado em campo						
Entrada/saída	pulg.	5	5	5	5	5	5	5
Dreno e purga (NPT)	pulg.	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
Pressão máxima serv./lado água	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Figura 4.18: Especificações técnicas de *chiller* selecionado. Fonte: Catálogo de produtos CARRIER

4.5 – Resultados medidos

Nesta etapa, foi considerado e levantado os dados para análise e comparação de consumo de energia antes e após a realização do projeto de *retrofit* na central de água gelada. Para este processo, foi utilizado o equipamento analisador de energia EMBRASUL como apresentado na Figura 4.19.

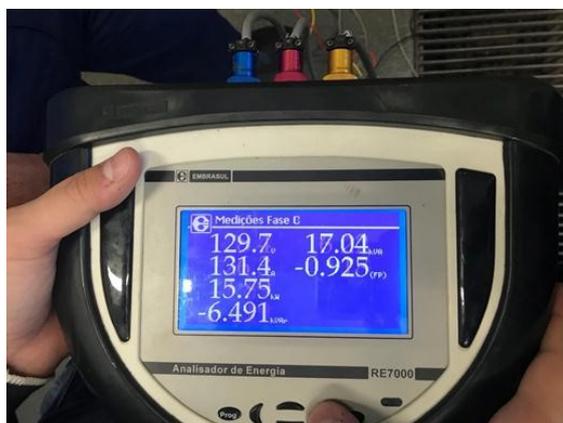


Figura 4.19: Analisador de energia EMBRASUL.

As medições são de fundamental importância, haja em vista que informam a respeito das características físicas do sistema. Neste levantamento, foi possível extrair os dados de tensão, corrente, potências (ativa, reativa e aparente) e fator de potência para cada fase. A Figura 4.20 mostra a instalação de conexões dos cabos junto ao quadro elétrico existente na CAG para execução do levantamento de dados de consumo e parâmetros de energia.



Figura 4.20: Conexão de cabos no quadro elétrico.

Os dados registrados pelo aparelho foram obtidos a partir da medição durante o período de um mês. Portanto, esta etapa objetivou a identificação do consumo e desempenho do sistema antes existente e após a substituição do *chiller* por um mais novo e mais eficiente

A Tabela 5 apresenta o consolidado dos valores das medições realizadas por meio da utilização do equipamento analisador de energia EMBRASUL referentes às medidas realizadas nos cenários pré e pós-*retrofit*.

Tabela 5: Dados de valores médios diários coletados.

Grandezas médias diárias - pré <i>Retrofit</i>				
	Fase A	Fase B	Fase C	Total
Tensões (V)	127.54	127.16	128.63	221.32
Correntes (A)	264.963	255.803	275.517	265.428
Potências ativas (kW)	27.847	26.942	28.824	83.613
Potências reativas (kVAr)	17.825	16.998	19.675	54.498
Potências aparentes (kVA)	33.064	31.856	34.899	99.819
Fatores de potência	0.842	0.846	0.826	0.838
Grandezas médias diárias - pós <i>Retrofit</i>				
	Fase A	Fase B	Fase C	Total
Tensões (V)	128.17	127.85	128.85	222.20
Correntes (A)	98.245	97.973	98.929	98.382
Potências ativas (kW)	12.317	12.235	12.506	37.058
Potências reativas (kVAr)	0.328	0.261	0.778	1.367
Potências aparentes (kVA)	12.321	12.238	12.53	37.089
Fatores de potência	0.999	0.999	0.998	0.999

As grandezas foram registradas como médias, calculadas a partir de uma amostragem realizada no intervalo de 10 segundos. Além disso, os valores máximos e mínimos dos módulos das tensões, correntes e potência em cada fase também foram registrados. A Figura 4.20 representa a conexão do aparelho para a realização das medições, onde pode ser observado o envolvimento da abraçadeira de corrente do instrumento e conexões ao barramento a fim de permitir a coleta de dados em cada fase.

A grandeza de maior interesse nesta avaliação é a medição da potência ativa total trifásica consumida pelo equipamento *chiller*. Como pode ser observado nos valores de potência ativa, das situações de pré e pós realização do *retrofit*, houve uma significativa redução de valores de potência consumida pelo equipamento que mostrou resultado de cerca de 44% a menor. Este parâmetro indica a melhoria da eficiência do sistema e, essencialmente, isso se reflete na redução de consumo energético do sistema haja em vista que o consumo de energia elétrica é calculado a partir da potência consumida multiplicando-se pela hora de utilização do mesmo e pela tarifa de energia elétrica (resultando na redução de consumo elétrico e economia nas faturas de energia do prédio).

O fator de potência pode ser compreendido pela relação entre a potência ativa e aparente (potência total que equipamento retira da rede de alimentação). Segundo a legislação (ANEEL, 2010), é determinado que o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível do valor 1, mas admite um valor mínimo de 0,92. A partir da análise do resultado obtido para o fator de potência, então, pode-se perceber que o valor verificado para o cenário pré *retrofit* está

aproximadamente 9% abaixo do valor mínimo permitido por legislação. Enquanto que para o cenário pós *retrofit*, é possível observar que o valor de 0,999 aproxima-se ao máximo do valor ideal que seria igual a 1, ou seja, evidenciando o ganho de eficiência energética.

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente. Como o valor da corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência indicado na situação de pré-*retrofit*.

Dessa forma, para fins de análise, é possível visualizar a melhoria da eficiência energética com a substituição do resfriador de líquido existente pelo novo instalado no projeto de *retrofit* justificando, assim, a importância e necessidade de execução do projeto de *retrofit* no sistema a fim de se obter uma melhora operacional do sistema e uso energético mais eficiente da planta.

5 CONCLUSÃO

A proposta de melhoria na eficiência energética do edifício executivo a partir do projeto de *retrofit* realizado, analisado neste trabalho, proporcionou uma melhoria significativa no desempenho energético da central de água gelada que compõe o sistema de climatização do prédio e, conseqüentemente, redução no custo de energia elétrica. A implantação do projeto de *retrofit* do sistema de água gelada, no qual foi focado a substituição do componente *chiller* antigo pela instalação de *chiller* novo, e com a realização das análises apresentadas resumidamente no estudo foi possível obter melhores condições de operação do sistema incluindo melhoria da climatização dos ambientes do prédio.

No desenvolvimento deste trabalho, foram apresentados os conceitos gerais em relação ao *retrofit* direcionando a análise para o *retrofit* aplicado a um sistema de climatização. Durante o processo de implantação do projeto no sistema de condicionamento de ar do prédio foram realizadas as principais atividades de investigação e análise do sistema como: levantamento de dados da planta, pesquisa documental para informações de projeto de climatização e arquitetônico, verificação de histórico de manutenção nos componentes que integram o sistema e informações adicionais significativas para a definição inicial de propostas de *retrofit*. Além disso, foi verificada e revisada a carga térmica dos ambientes do edifício a fim de se comparar e avaliar o sistema existente em operação no cenário antes de implantação e servir de parâmetro na seleção de proposta do projeto apresentado.

Durante a etapa de avaliação de viabilidade econômica para definição das propostas de *retrofit* foi verificado que diante das duas opções de projetos propostos que incluía a substituição de *chiller* existente por *chiller* com compressor parafuso de alta eficiência para operar na mesma condição existente foi optado pela substituição de apenas um dos dois *chillers* existentes. O resultado apresentado para a substituição de apenas um dos *chillers* foi de 7,56 anos de *payback* frente ao valor de 6,16 anos da solução de troca dos dois *chillers*, mas o investimento de capital inicial maior e de uma única vez foi um fator definitivo para a escolha pela primeira opção. Dessa forma, este investimento do projeto de *retrofit* evidencia sua viabilização diante do sistema obsoleto e muito deficiente encontrado no prédio.

Na fase de resultados medidos a partir do analisador de energia instalado, foi possível verificar o contraste do consumo e parâmetros de energia das situações de pré e pós-*retrofit*. Os resultados obtidos mostraram um ganho de eficiência energética, no qual a grandeza de maior interesse na avaliação, que é a potência ativa total trifásica consumida pelo equipamento, foi

aproximadamente 44% menor. Dessa forma, como o consumo energético é calculado e faturado em cima dos valores de potência consumida dos equipamentos em toda a planta do prédio, obteve-se uma redução significativa no consumo da central de água gelada diante consumo total do edifício e o que impacta conseqüentemente na economia nas faturas de energia.

Conclui-se que foi possível identificar a melhoria na eficiência energética justificando, assim, a importância da necessidade de execução do projeto de *retrofit* a fim de se obter um uso energético mais eficiente do sistema e que refletisse na redução de consumo e custos com energia elétrica.

Portanto, fica evidenciado com o trabalho a relevância de compreender melhor as características dos equipamentos existentes e quando possível buscar trazer sobrevida aos ativos da empresa. Observa-se a importância da avaliação de propostas e possíveis soluções para alcançar a melhoria da eficiência energética do sistema como citado e estudado no trabalho, requerendo um levantamento técnico e metodologia para aplicação e implantação tendo em vista a estratégia de equilíbrio econômico e ambiental.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se definir:

- A implantação de proposta de melhoria sugerida neste trabalho, incluindo a substituição do outro *chiller* ineficiente existente.
- Acompanhamento e análise de eficiência energética de demais componentes integrantes do sistema de água gelada como torres de resfriamento e bombas.
- Elaboração de um plano de ação detalhado com todas etapas e tarefas necessárias para realizar *retrofit* completo no sistema de água gelada existente, incluindo também a substituição de outros componentes como *fan coils*, torres de resfriamento e bombas.

6 REFERÊNCIAS

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

ANEEL, resolução número 414, decretado no dia 9 de setembro de 2010.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **Handbook Fundamentals**. Atlanta, 2009.

ASSMANN, RODRIGO FELIPE. **Estratégia de Retrofit do Refrigerante HCFH-22 em Máquinas de Refrigeração de uma Indústria Petroquímica Visando Eficiência Energética**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

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

BENNET, C. O., Myers, J.; **Fenômenos de Transporte Quantidade de Movimento Calor e Massa**, 1978.

CARRIER. Catálogo de Produtos. Disponível em: < <http://www.carrierdobrasil.com.br/modelo/downloads/meu-negocio/31/chiller> >. Acessado em: 20/01/18.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2004.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração: Manual prático**. Apostila. Rio de Janeiro. Ministério de Minas e Energia, 2011. 75p.

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.

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

LINS, Júlia Naves; CAIAFA, Vanessa de Souza Lima. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Aplicação de Retrofit em Sistema de Água Gelada.** 2016. 132 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) —Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

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.

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

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

NICOLETTI, A.M.A. **Eficiência Energética em um Ministério da Esplanada em Brasília: Propostas para Retrofit de Envoltória.** Brasília, Universidade de Brasília, 2009.

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

THERMOVIX disponível em 10 de maio de 2018
<<http://thermovixar.com.br/2017/?page_id=49>>

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.

ANEXO A – PLANTA BAIXA TÉRREO



ANEXO C – DESCRITIVO CARGA TÉRMICA ESTIMADA

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 01			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	3565,1		3565,1
Insolação	2032,8		2032,8
Pessoas	8913,9	3999	12912,9
Iluminação	10500		10500
Equipamentos	17200		17200
Ventilação	11110,77	15838,5942	41623,4986
Valor Total	53322,57	19837,5942	73160,1642
Valor Total (Kcal/h)	73160,16		
Valor Total (TR)	24,2		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 02/03			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	8478,4		8478,4
Insolação	0		0
Pessoas	19002,5	8525	27527,5
Iluminação	13260		13260
Equipamentos	34185		34185
Ventilação	21532,5	33764,445	41623,4986
Valor Total	96458,4	42289,445	138747,845
Valor Total (Kcal/h)	138747,85		
Valor Total (TR)	45,87		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 04			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	1989,4		1989,4
Insolação	0		0
Pessoas	2487,6	1116	3603,6
Iluminação	1394		1394
Equipamentos	3096		3096
Ventilação	2818,8	4420,0728	41623,4986
Valor Total	11785,8	5536,0728	17321,8728
Valor Total (Kcal/h)	17321,87		
Valor Total (TR)	5,73		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 05			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	0		0
Insolação	0		0
Pessoas	5873,5	2635	8508,5
Iluminação	4182		4182
Equipamentos	89784		89784
Ventilação	6655,5	10436,283	41623,4986
Valor Total	106495	13071,283	119566,283
Valor Total (Kcal/h)	119566,283		
Valor Total (TR)	39,60		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 06			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	12180		12180
Insolação	5859		5859
Pessoas	14303,7	6417	20720,7
Iluminação	13770		13770
Equipamentos	12040		12040
Ventilação	16208,1	25415,4186	41623,4986
Valor Total	74360,8	31832,4186	106193,2186
Valor Total (Kcal/h)	106193,22		
Valor Total (TR)	35,10		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 07			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	4823		4823
Insolação	3038		3038
Pessoas	7601	3410	11011
Iluminação	6545		6545
Equipamentos	13421		13421
Ventilação	8613	13505,778	41623,4986
Valor Total	44041	16915,778	60956,778
Valor Total (Kcal/h)	60956,778		
Valor Total (TR)	20,15		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 08			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	12999		12999
Insolação	0		0
Pessoas	3765	3134	6899
Iluminação	13907		13907
Equipamentos	3606		3606
Ventilação	2540	2820	41623,4986
Valor Total	36817	5954	42771
Valor Total (Kcal/h)	42771		
Valor Total (TR)	14,13		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 09			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	8088,3		8088,3
Insolação	0		0
Pessoas	488	416	904
Iluminação	2137,8		2137,8
Equipamentos	2360,94		2360,94
Ventilação	659,2	964,8	41623,4986
Valor Total	13734,24	1380,8	15115,04
Valor Total (Kcal/h)	15115,04		
Valor Total (TR)	5,00		

Descritivo Carga Térmica Estimada - Sistema 10			
Calor	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
Condução	16074,1197		16074,1197
Insolação	0		0
Pessoas	1830	1560	3390
Iluminação	4348,3		4348,3
Equipamentos	5903,3		5903,3
Ventilação	2532,2	3707	41623,4986
Valor Total	30687,9197	5267	35954,9197
Valor Total (Kcal/h)	35954,92		
Valor Total (TR)	11,90		