

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise comparativa técnica-econômica de uma Central de  
Água Gelada alterando o gerenciamento das Cargas dos  
*Chillers* utilizando o *software* YorkCalc**

Thamyres Lindaura Freitas de Almeida

Vitor Costa Marques

Prof. Orientador: Tatiane de Campos Chuvas

Coorientador: Eng. Rodrigo Sino

**Rio de Janeiro  
Outubro de 2021**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise comparativa técnica-econômica de uma Central de  
Água Gelada alterando o gerenciamento das Cargas dos  
*Chillers* utilizando o *software* YorkCalc**

Thamyres Lindaura Freitas de Almeida

Vitor Costa Marques

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica, do Departamento  
de Engenharia Mecânica, do Centro  
Federal de Educação Tecnológica Celso  
Suckow da Fonseca

Prof. Orientador: Tatiane de Campos Chuvas

Coorientador: Eng. Rodrigo Sino

**Rio de Janeiro  
Outubro de 2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

A447 Almeida, Thamyres Lindaura Freitas de  
Análise comparativa técnica-econômica de uma Central de  
Água Gelada alterando o gerenciamento das Cargas dos Chillers  
utilizando o software YorkCalc / Thamyres Lindaura Freitas de  
Almeida [e] Vitor Costa Marques – 2021.  
xiv, 40f.: il. color. + anexo, enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação  
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2021.

Bibliografia: f. 39-40

Orientadora: Tatiane de Campos Chuvas

Coorientador: Rodrigo Sino

1. Engenharia mecânica. 2. Energia elétrica – Conservação.  
3. Energia elétrica – Consumo. 4. Refrigeração – Consumo de  
energia. I. Chuvas, Tatiane de Campos (Orient.). II. Sino, Rodrigo  
(Coorient.). III. Marques, Vitor Costa. IV. Título.

CDD 620.1

## DEDICATÓRIA

A todos aqueles que estiveram por perto me incentivando a nunca desistir do meu sonho e vibravam com cada desafio superado, cada matéria conquistada em cada período durante estes 6 anos de graduação.

Dedico à minha família que sempre me apoiou a continuar até a conclusão do meu sonho, principalmente ao meu querido avô Francisco da Luz Freitas (in memoriam), cujo sonho era me ver formada na Federal de Engenharia Mecânica, com todo o meu amor e gratidão!

Esta conquista é nossa, foram muitas noites em claro, porém, o grande dia chegou!

Thamyres Lindaura Freitas de Almeida

Dedico aos meus pais, que investiram tempo e dinheiro em prol do amadurecimento do meu conhecimento.

Vitor Costa Marques

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de cursar Engenharia Mecânica numa das melhores instituições do país e por ter me fornecido a saúde necessária para encarar este desafio.

Agradeço também aos meus pais Francimira e Carlos Almeida pela educação, por sempre me apoiarem em minhas escolhas pessoais e profissionais e por proverem todas as condições necessárias para minha formação. Também a minha querida irmã, Thayane Almeida por todo o apoio e paciência.

Agradeço também ao meu professor Alexandre Silva (in memoriam) por toda ajuda, paciência e compreensão no início da concepção do trabalho. E agradeço muito à professora Tatiane Chuvas por ter aceitado nos orientar mediante à todas as adversidades, você foi fundamental para a finalização deste projeto com todo o seu comprometimento e expertise.

Ao Eng. Rodrigo Sino, que aceitou fazer parte como Co-orientador, agradeço por toda atenção e dedicação durante a realização deste trabalho e suporte em todas as informações necessárias para a elaboração deste.

Gostaria de agradecer as amizades que adquiri durante a graduação, sem a ajuda de todos nós juntos, jamais conseguiríamos o êxito que obtivemos. Juntos somos mais fortes.  
T++

**Meus sinceros agradecimentos, Muito Obrigada!**

Thamyres Lindaura Freitas de Almeida

Agradeço a toda família e amigos que fizeram parte disso.

Vitor Costa Marques

## RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo técnico-econômico sobre o potencial de otimização energética de uma Central de Água Gelada (CAG), a partir do sequenciamento lógico do funcionamento dos *Chillers* em um empreendimento localizado no centro do Rio de Janeiro. Para contextualizar a análise realizada foram levantados dois estudos considerando as mesmas condições climáticas e mapa de funcionamento, já que se trata do mesmo empreendimento, ao longo dos meses do ano. O primeiro sistema foi composto por *Chillers* de condensação à água com operação em cargas parciais com automação buscando a otimização constante da performance e o segundo mapa de funcionamento da CAG utilizou o formato de carga mista, sem aperfeiçoamento de eficiência. Por fim, com a análise técnica econômica e simulações térmicas, comprovou-se que entre as opções analisadas, a alternativa de cargas parciais com automação garante uma redução de aproximadamente 9% no consumo elétrico.

Palavras-chave: *Chiller*. *Nonstandard Part-load Value*. Cargas Parciais. Lógica de funcionamento. Central de Água Gelada.

## ABSTRACT

This Project presents a technical-economic study on the optimization potential energy for a Cold Water Plant (CAG), from the logical sequencing of Chillers operation in a plant located in the center of Rio de Janeiro. To contextualize the analysis, two studies were approached considering the same climatic conditions and operating schedule, as it is the same plant throughout the months of year. The first system was composed of water condensed chillers at partial loads with automation seeking performance optimization, however the second CAG operation map used the mixed load system, without efficiency improvement. Finally, with the technical economic analysis and thermal simulation it was proven that, among the options analyzed, the alternative of partial loads with automation, seeking constant optimization, guarantees a reduction of approximately 9% in electrical consumption

Key words: *Chiller. Nonstandard Part-load Value. Heating, Ventilating and Air Conditioning. Part-Load.*

## SUMÁRIO

Capítulo 1 .....	1
Introdução.....	1
1.1.  Motivação .....	1
1.2.  Justificativa.....	2
1.3.  Objetivo .....	2
1.4.  Metodologia.....	3
1.5.  Organização do Trabalho.....	3
Capítulo 2 .....	5
Revisão Bibliográfica .....	5
2.1.  Carga Térmica .....	6
2.2.  Ferramenta Computacional para estudo de Caso .....	6
2.2.1. <i>YorkCalc</i> .....	7
2.2.2. Arquivos Climáticos .....	8
2.3.  Ciclo de Refrigeração por vapor.....	9
2.4.  Coeficiente de Performance (COP) .....	10
2.4.1. IPLV e NPLV .....	10
2.5.  Sistemas de climatização .....	12
2.6. <i>Chiller</i> .....	14
2.7.  Torre de Resfriamento .....	19
2.8. <i>Fan coils</i> .....	20
Capítulo 3 .....	22
Métodos .....	22
3.1.  Seleção dos equipamentos .....	23
3.2.  Vida útil dos <i>Chillers</i> .....	24
3.3.  Análise comparativa entre os dois sistemas .....	25
Capítulo 4 .....	30
Resultados e Discussão.....	30
4.1.  Análise comparativa entre as duas alternativas .....	30
4.1.1. Alternativa #1: .....	30
4.1.2. Alternativa #2: .....	32



Capítulo 5 .....	37
Conclusão .....	37
Sugestões para trabalhos futuros .....	38
Referências Bibliográficas.....	39
ANEXOS .....	41
A. Dados de Desempenho dos <i>Chillers</i> Seleccionados.....	41

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Coeficiente de Performance .....	10
Equação 2 – Desempenho de um Chiller em carga parcial .....	11

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Software de simulação termo energética YORKCALC .....	8
Figura 2 - Ciclo de compressão a vapor de um Chiller .....	10
Figura 3 - Classificação de sistemas de refrigeração.....	12
Figura 4 - Sistema de expansão direta do tipo Split condensação à ar.....	13
Figura 5 - Sistema de expansão indireta por condensação à água.....	14
Figura 6 - Tipos de Chillers.....	14
Figura 7 - Fluxograma Simplificado do Chiller que será estudado.....	15
Figura 8 - Chiller condensação à água e componentes da CAG. ....	16
Figura 9 - Esquema simplificado do Ciclo de Refrigeração.....	17
Figura 10 - Vista em corte isométrico de um compressor de mancal magnético.....	18
Figura 11 - Vista em corte frontal do motor do mancal magnético.....	19
Figura 12 - Representação de uma torre de resfriamento com 10 seções.....	20
Figura 13 – Fan coil modular YE Tetrix YORK.....	21
Figura 14 - Definição do schedule de funcionamento da CAG durante o ano.....	26
Figura 15- Dados climáticos de Rio de Janeiro.....	27
Figura 16 - Interface de input dos Chillers e suas definições de funcionamento.....	28
Figura 17 - Design Conditions do Chiller YMC <sup>2</sup> .....	29
Figura 18 - Custo energético operacional da Alternativa #1 .....	31
Figura 19 - Custo energético operacional da Alternativa #2.....	33
Figura 20 - Comparação do custo elétrico mensal das duas alternativas propostas.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de funcionamento dos quatro pontos da Equação 2 de um Chiller condensação à água .....	11
Tabela 2 - Capacidades dos Chillers disponíveis no mercado.....	15
Tabela 3 - Cargas parciais estudadas no projeto.....	23
Tabela 4 - Mapa de eficiência em Partload x CEFT (unidades em SI) .....	24
Tabela 5 - Vida útil estimada dos equipamentos.....	25
Tabela 6 - Definição de cargas da edificação e a lógica de operação de cada Chiller - Alternativa #1 .....	31
Tabela 7 - Resultado da simulação energética - Alternativa #1 .....	32
Tabela 8 - Definição de cargas da edificação e a lógica de operação de cada Chiller - Alternativa #2 .....	33
Tabela 9 - Resultado da simulação energética - Alternativa #2 .....	34
Tabela 10 - Resultado comparativo da simulação energética - custo anual .....	35
Tabela 11 - Resultado comparativo da performance dos sistemas anual .....	36



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Símbolos:

h	Entalpia	[kJ/kg]
p	Pressão	[kPa]

### Siglas:

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHRI	<i>Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute</i>
AHU	<i>Air Handler Unit</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.</i>
CAG	Central de Água Gelada
CEFT	<i>Cooler Entering Fluid Temperature</i>
CLF	<i>Cooling Load Factor</i>
CLTD	<i>Cooling Load Temperature Difference</i>
COP	Coeficiente de Performance
DOE	<i>Department of Energy</i>
EPW	<i>EnergyPlus Weather File</i>
GPM	<i>Gallons Per Minute</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
I-P	Inch-Pound
IPLV	<i>Integrated Part-load Value</i>
IWEC	<i>International Weather for Energy Calculations</i>
<b><i>Erro! Autoreferência de indicador não válida.</i></b>	<i>Light Emitting Diode</i>
NBR	Norma Brasileira
NPLV	<i>Nonstandard Part-load Value</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
RPM	Rotação por minuto
RTS	<i>Radiant Time Series Method</i>
SI	Sistema Internacional ou métrico

SPLV	<i>System Part Load Value</i>			
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>			
TFM	<i>Transfer Function Method</i>			
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>			
TR	Tonelada de Refrigeração			
TRY	<i>Test Reference Year</i>			
URL	Unidade Resfriadora de Líquido			
VSD	<i>Variable Speed Drive</i>			
YMC <sup>2</sup>	YORK	<i>Magnetic</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Chiller</i>

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1.Motivação

A vida é alimentada por energia elétrica. Praticamente tudo que os cerca funciona com energia, desde o ligar de uma luz de *Erro! Autoreferência de indicador não válida.* a supercomputadores com inteligência artificial. O uso crescente, quase que logarítmico, deste recurso imaterial, além de trazer cada vez mais interdependência para os humanos, exige um trabalho de equilíbrio de gastos e preservação do meio-ambiente, de tal forma que nas duas últimas décadas não se mediram esforços para elaborar maneiras mais eficientes para explorá-la tendo consequências mais amenas tanto para o aspecto ambiental quanto econômico.

Com a verticalização das cidades, a demanda por energia por metro quadrado, cresceu vertiginosamente pelo simples fato de em um mesmo espaço num plano, onde haveria uma casa com apenas uma família, agora abrigam grandes prédios repletos de escritórios ou apartamentos. Tal fenômeno gerou diversas exigências, entre elas a climatização.

Seja para conforto pessoal ou para fins de processos industriais que exigem a necessidade de um controle térmico e de umidade, a climatização por água gelada tem sido demasiadamente explorada há muito tempo. Contudo, o alto consumo de energia e o gasto exacerbado para manter os processos térmicos de maneira contínua preocupam os empresários que despendem altas quantias de dinheiro. Nos horários de maior consumo de energia, seu custo é elevado. Desta forma, aparecem opções economicamente plausíveis para edificações com um gasto elevado de energia devido a condicionadores de ar, haja vista que esses equipamentos são responsáveis, por cerca de 40% do consumo elétrico mensal de um empreendimento comercial. [1]



Tendo em vista a redução de custo com a climatização, são realizados estudos que promovem diferentes estratégias e configurações dos dispositivos que compõe o sistema de refrigeração. Dentre esses sistemas, o conceito de resfriador de líquido que é um equipamento cuja finalidade é resfriar água ou salmoura para processos industriais ou para conforto (HVAC). Seus principais componentes são: o evaporador, o compressor, o condensador e a dispositivo de expansão [2]

Outro dispositivo é o *Chiller*, um resfriador de água que pode ser utilizado em diversos ambientes, sendo indicado, de modo geral, para lugares que necessitam de refrigeração em diferentes pontos estratégicos, que são distantes uns dos outros como *shoppings centers*, hospitais, aeroportos e indústrias com grandes áreas. Seu sistema age praticamente como um resfriador de água, em que o líquido resfriado produzido tem o objetivo de resfriar o ar. [3]

## **1.2. Justificativa**

O *Chiller* possui um alto grau de flexibilidade quanto a sua instalação, mesmo sendo um equipamento de grande porte. Por mais que ar-condicionados, de modo geral, sejam responsáveis por elevados gastos com energia elétrica [1], o *Chiller* tem a vantagem de seu sistema ser elaborado de acordo com a demanda térmica do empreendimento buscando um equipamento mais eficiente que se encaixe no projeto junto com a automação, gerando um ótimo custo-benefício para prédios e indústrias. Além da altíssima eficiência, é um equipamento que possui boa durabilidade, o que justifica o seu uso em larga escala para longos períodos [4]. Haja vista todas essas vantagens, este equipamento é uma das melhores escolhas para fábricas e prédios comerciais. Dentro de seu sistema podem ser rearranjados novas configurações de gerenciamento de cargas térmicas e de cada um dos componentes que o formam e, dessa forma, é possível adaptar o projeto para o melhor rendimento possível que o *Chiller* pode obter absorvendo uma carga térmica parcial de 0% até 100% da capacidade efetiva.

## **1.3. Objetivo**

A utilização de sistemas de água gelada em grandes obras é amplamente utilizada. Para que não ocorra a dependência de apenas um resfriador, a tendência é a utilização de mais de um resfriador líquido [5]. Isso ocorre pelo fato de que se um equipamento apresentar algum defeito, ou esteja em manutenção ou até mesmo tenha uma pausa em sua operação por qualquer outro motivo, haverá outro resfriador operante favorecendo a continuidade da operação. Além disso, também é possível realizar o rearranjo entre as cargas do principal equipamento da CAG, denominado *Chiller*, utilizando *software* de controle para que possa ser evidenciado uma otimização na eficiência do sistema a partir de uma análise técnica-econômica entre duas opções de parametrização da automação destes equipamentos.

## **1.4. Metodologia**

A metodologia utilizada para formar este trabalho foi o conceito de estudo de caso, a partir do software *YorkCalc*. Inicialmente, foram revisados os temas abrangentes para fundamentação técnica do estudo de climatização e refrigeração. Desta forma, explicam-se conceitos teóricos que são abordados no decorrer do trabalho, e também é esclarecido a essencialidade do sistema de ar-condicionado no cotidiano das pessoas e a função de seus componentes.

Depois, o capítulo Métodos, tem como finalidade mostrar as condições do prédio comercial onde foi implementado o sistema de climatização estudado. Foram divididos dois cenários: um com modo de operação dos *Chillers* operando com a carga dos equipamentos funcionando flutuando entre seu ponto ótimo e o segundo caso sem automação.

Posteriormente, apresentam-se as análises realizadas com base em todo o estudo teórico e com o estudo de caso realizado e as justificativas da viabilidade ou não do sistema.

Para finalizar, foi mostrada a análise econômica simples ponto-a-ponto do processo, sua respectiva eficiência energética e a taxa anual de economia financeira proveniente da nova configuração do gerenciamento de cargas.

## **1.5. Organização do Trabalho**

Este projeto de graduação é dividido em 5 capítulos. Em sua origem foi feito uma abordagem geral do tema de estudo e de sua relevância atual e para perspectivas futuras.

No segundo capítulo, é realizado uma revisão bibliográfica de trabalhos com temas semelhantes publicados sobre unidades de resfriadores de água para um sistema de climatização. Além disso, apresenta os conceitos teóricos os quais serão abordados ao longo do estudo. É apresentado também a ferramenta computacional utilizada para o estudo de caso e todas as tecnologias que serão envolvidas no processo.

No capítulo 3 é apresentado o cenário do estudo de casos e suas respectivas premissas. Sendo adaptado um panorama mais próximo possível do real para maior grau de confiabilidade do estudo. Ademais, também é apresentado as comparações analíticas entre os sistemas e a seleção dos equipamentos.

O capítulo 4 relata os resultados técnicos e toda a análise econômica entre os sistemas abordados, comparando-os e definindo seus valores nominais de consumo energético e gasto financeiro. Por fim, o capítulo 5 com a conclusão de todos os levantamentos e análises realizadas durante o projeto, e a definição da melhor configuração do equipamento para o estudo de caso.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionado, ASHRAE (do inglês *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers*) é uma organização dedicada ao avanço da tecnologia de controle de ambiente interno na indústria de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC). Sendo responsável por todas as definições e normas do mundo do ar-condicionado. Desta forma, segundo a definição da ASHRAE o termo “sistema HVAC” é “os equipamentos, sistemas de distribuição e terminais que fornecem, seja coletivamente ou individualmente, os processos de aquecimento, ventilação ou ar-condicionado para um edifício ou parte de um edifício”. [4]

Em meados do século XX, Willis Carrier, também conhecido como “pai do ar-condicionado” inventou um mecanismo para solucionar problemas de umidade e calor, inicialmente apenas no ramo industrial, chamado de *Chiller* [6]. Desde sua invenção, em 1910, os *Chillers* passam por grandes investimentos em pesquisa e inovação, por exemplo, fluidos refrigerantes mais sustentáveis (conforme o Protocolo de Montreal que é um tratado internacional entre nações para diminuir os danos à camada de ozônio [5]), otimização em eficiências energéticas, redução do *footprint*, atenuação do nível de ruído e diversas possibilidades de customizações e opcionais dependendo da necessidade de cada projeto.

Os *Chillers* operam de maneira dinâmica, em condições de utilização variadas, dependendo diretamente da carga térmica do edifício e das condições do ar externo. Mediante a esta inconstância, a performance do sistema e a eficiência energética são variáveis, havendo a necessidade da implementação de um projeto de automação para otimizar o desempenho e controle da central de água gelada, também conhecida como CAG, com base na carga térmica para resfriamento. [5]

## 2.1.Carga Térmica

A carga térmica para resfriamento é a quantidade de calor que necessita ser subtraído do ambiente, sendo igual à soma de calor sensível e calor latente, no mesmo período de tempo. Sabe-se que esta carga térmica pode variar ao longo do dia conforme a quantidade de pessoas no ambiente condicionado, quantidade de equipamentos em operação e condições climáticas do ambiente externo. A característica do ambiente é um fator importante, bem como a quantidade de janelas, tipo de persianas utilizadas, ou a falta delas, tipo de material de construção, aletas, ou seja, qualquer característica construtiva pode afetar na carga térmica do ambiente.

A NBR 16401-1:2008 informa que todos os cálculos de carga devem obedecer aos métodos baseados na normativas da ASHRAE (TFM – *Transfer Function Method* ou preferivelmente RTS – *Radiant Time Series Method* – para sistemas complexos) e (CLTD/CLF – *Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Factor* – para sistemas únicos ou pequeno número de zonas). [7]

Ainda conforme o que rege a lei da termodinâmica, o calor sensível é considerado o “calor que produz uma variação da temperatura do ar sem alteração do conteúdo de umidade”. Já o calor latente é “calor de evaporação ou condensação o vapor de água do ar, que produz uma variação do conteúdo de umidade do ar sem alteração da temperatura”. [2]

## 2.2.Ferramenta Computacional para estudo de Caso

Com a evolução dos computadores no século XX e a Revolução Informacional, também conhecida como Terceira Revolução Industrial, a simulação computacional se tornou cada vez mais utilizada para uma ótica mais aproximada da realidade.

À vista disso, a implementação de ferramentas computacionais para sistemas de climatização progrediu significativamente, atingindo resultados de maior confiabilidade e, conseqüentemente, auxiliando na tomada de decisão sobre o sistema instalado. Por exemplo, em sistemas de grande relevância que exigem alta redundância, como: salas cirúrgicas, fabricação de vacinas, salas cofre e *datacenters*, são amplamente simulados, posto que seu grau de assertividade é considerável.

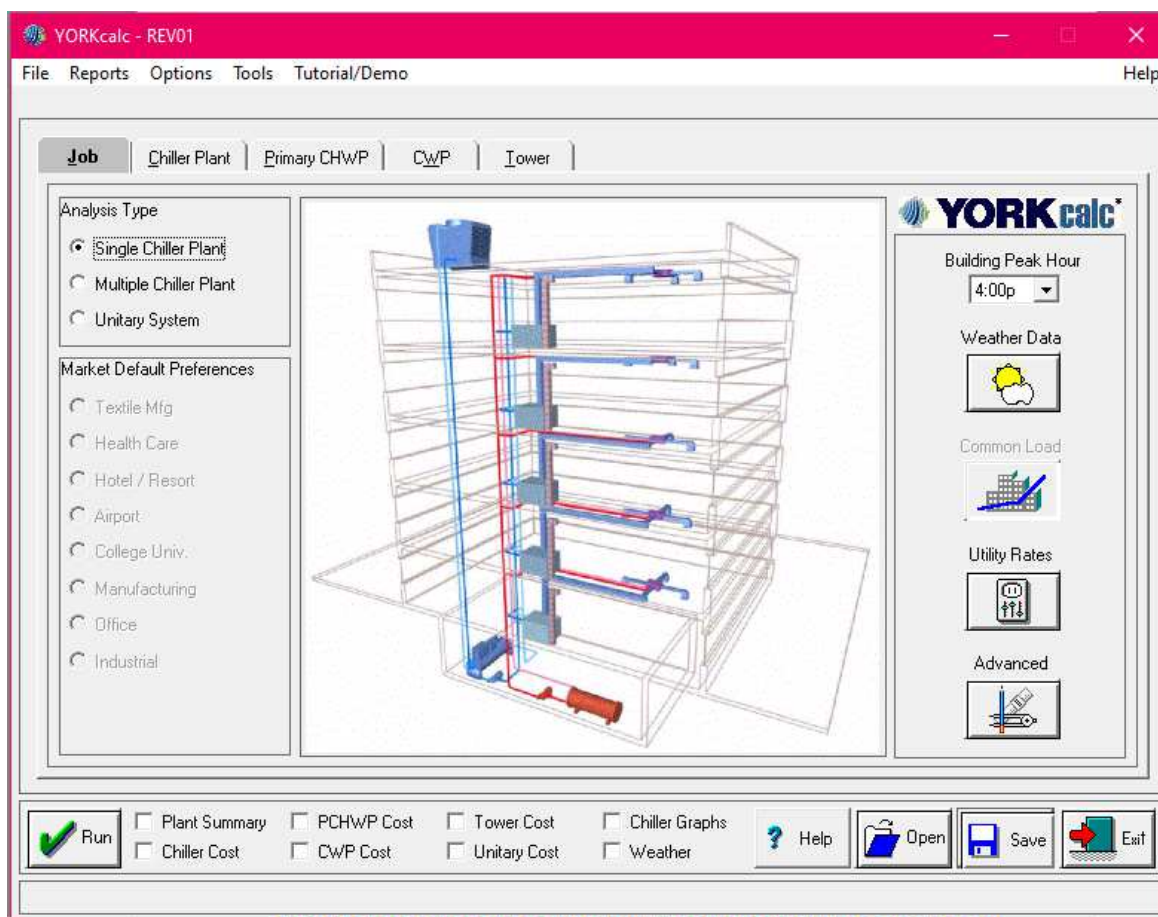
Destarte, os *softwares* amplamente utilizados para dimensionamento térmico são: *Sketchup*, *Open Studio* e *Energy Plus* e, como suas funções se complementam, é muito comum em um projeto de climatização ser utilizado mais de um software. O *software* que foi utilizado no presente trabalho é o *YorkCalc*, habilitado para alguns projetistas e aos Colaboradores da *Johnson Controls HITACHI*, já que apresenta curva de performance e rendimento de equipamentos constituintes de uma CAG.

### **2.2.1. YorkCalc**

O *YorkCalc* foi o *software* utilizado para a simulação operacional da CAG estudada, já que sua finalidade é avaliar os custos dos componentes em funcionamento, tais como: *Chillers*, bombas e torre de arrefecimento (para condensadores à água). Os primeiros passos para manusear o programa são definir mapa [*schedule*] de funcionamento dos equipamentos e o arquivo climático da região que será analisada. Neste caso, o mesmo, possui banco de dados de temperatura Bin certificados pela ASHRAE, mostrando temperaturas de bulbo seco externas durante as horas do ano de determinadas regiões disponíveis.

Um dos resultados [*outputs*] que se obtém do *software* é o SPLV, que significa o consumo energético operacional de todo o sistema de refrigeração que compõe a CAG. A Figura 1 apresenta a imagem da tela inicial do *YorkCalc*.

Este *software* também auxilia em estudos de eficiência energética para reforma [*retrofit*] de centrais de água gelada, além do mais, o mercado possui uma grande variedade de equipamentos, sendo necessário análises profundas para selecionar o equipamento que mais se ajusta a cada projeto de refrigeração. [8]



**Figura 1 - Software de simulação termo energética YORKCALC**  
**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01**

### 2.2.2. Arquivos Climáticos

Como dito anteriormente, além das cargas internas dos ambientes que serão condicionados, existe a atuação de variáveis externas influenciando diretamente na carga térmica, sendo elas: valores de temperatura externa ao longo do dia, radiação solar incidente, velocidade do vento e umidade. Conseqüentemente, na fase de projeto de um sistema de climatização é essencial considerar os arquivos climáticos da região de implementação para idealizar a carga térmica que será usufruída no espaço condicionado, sendo um ambiente ou um empreendimento inteiro.

Posto isto, os arquivos climáticos são bases de dados meteorológicos de uma região/cidade específica durante o período de um ano inteiro, por aferições realizadas de hora em hora, totalizando 8760 horas de medição. Também vale ressaltar, que estes dados devem ser compilados no mínimo durante 10 anos para resultar num arquivo climático, abrangendo peculiaridades e informações gerais do local de estudo.

Para estas requisições apontadas, atualmente, existem diferentes arquivos climáticos que são licenciados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) para serem utilizados adequadamente nos programas de simulação computacional. No entanto, suas informações muitas vezes são para países específicos. No Brasil, os arquivos mais utilizados são: *Test Reference Year (TRY)*, *Typical Meteorological Year (TMY)*, *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, *International Weather for Energy Calculations (IWEC)*; INMET (dados medidos nas estações automáticas do INMET, com extensão .EPW). [9]

### **2.3.Ciclo de Refrigeração por vapor**

A maioria dos sistemas de ar-condicionado realizam um ciclo fechado de compressão de vapor de fluido refrigerante, que contém quatro etapas: compressão, condensação, expansão e evaporação (resumidos a seguir e mostrado na Figura 2). Para este estudo foi utilizado o diagrama de Pressão vs. Entalpia (um dos diagramas de *Mollier*).

1. Compressão: O fluido refrigerante em fase vapor superaquecido em baixa pressão é succionado pelo compressor que eleva sua pressão e temperatura, seguindo para o condensador.
2. Condensação: O fluido, saindo do compressor, em fase de vapor superaquecido de alta pressão, ao entrar no condensador é resfriado até o ponto de saturação no estado vapor, condensado e subresfriado. Isso ocorre pela transferência de calor que acontece entre a água de condensação ou ar externo (condensação à água ou à ar, respectivamente) e o fluido refrigerante.
3. Expansão: O Fluido entra no dispositivo de expansão no estado líquido subresfriado. Este dispositivo é caracterizado por uma redução abrupta de área, que resulta em perda de carga do fluido, ou seja, redução de pressão. É considerado isoentálpico, ou seja, sem ganho de calor.
4. Evaporação: O fluido refrigerante em baixa pressão e, na sua maior parte, no estado líquido, absorve o calor proveniente do fluido a ser resfriado, evaporando o fluido refrigerante até o seu ponto de saturação máximo e, em seguida, superaquecendo. Desta forma, o ciclo se reinicia.



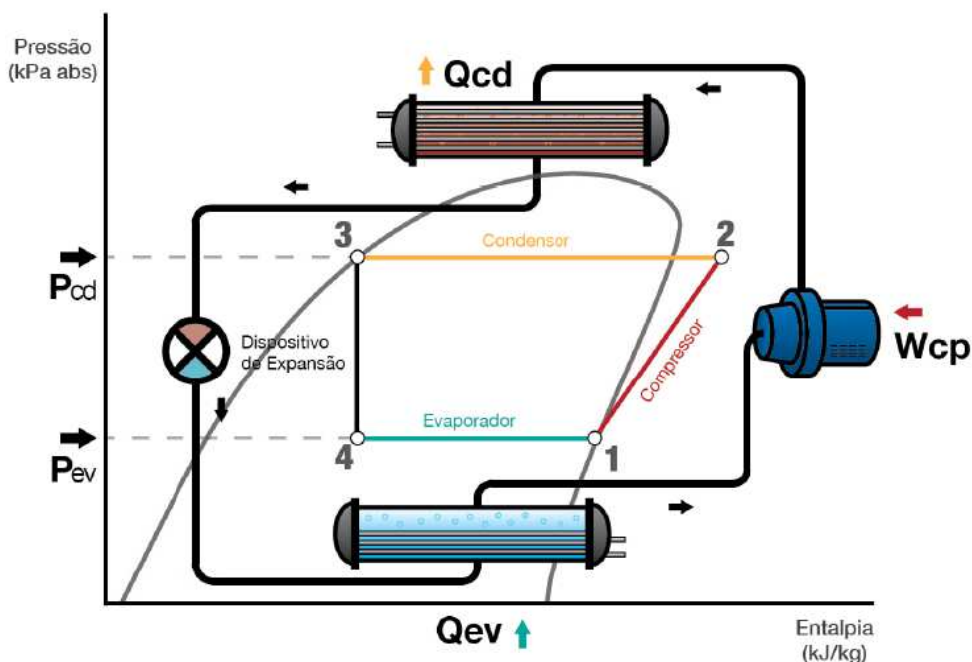


Figura 2 - Ciclo de compressão a vapor de um Chiller  
Fonte: [5]

## 2.4. Coeficiente de Performance (COP)

O método para medir a eficiência do ciclo refrigerante de um equipamento frigorífico é chamado de Coeficiente de Performance (COP), definido pela razão entre a capacidade de resfriamento do equipamento e a potência utilizada pelos motores dos seus componentes, ou seja, potência térmica sobre potência motriz. A Equação 1 explicita a definição:

$$COP = \frac{\text{Capacidade de resfriamento}}{\text{Consumo para produzi-lo}} \quad (1)$$

O mercado de HVAC está acostumado com uma grande pluralidade em suas unidades de medida, com o COP não é diferente. Mesmo sendo uma medida adimensional, encontra-se tanto na forma kW/kW, ou mais usualmente pelo mercado kW/TR, já que expressa diretamente quanta Energia é utilizada para produzir uma tonelada de Refrigeração (TR).

### 2.4.1. IPLV e NPLV

Com a flutuação da carga térmica de uma edificação ao longo do dia, uma URL (Unidade Resfriadora de Líquido) não trabalha exclusivamente à carga plena. Na maioria das instalações, a temperatura de saída de água gelada do evaporador é mantida fixa e a temperatura de retorno é variável, a partir da demanda da edificação, acarretando a alteração da capacidade térmica do *Chiller*. Vale ressaltar que em instalações de termoacumulação existem duplo *set point* de temperatura de saída do evaporador, já que em uma parte do seu funcionamento é utilizado para fabricação de gelo ou água gelada num tanque específico que armazena esta carga térmica.

Para expressar a eficiência de um *Chiller* em cargas parciais utiliza-se o índice IPLV definido pela Norma ANSI/AHRI *Standard 550/590* (I-P) [10] e/ou Norma ANSI/AHRI *Standard 551/591* (SI) [11], sendo criados também como um parâmetro de comparação entre estes equipamentos.

A equação é a mesma para as duas normas, uma média ponderada de desempenho entre quatro pontos de operação do equipamento, como mostrado na Equação 2:

$$IPLV \text{ ou } NPLV = \frac{1}{\frac{0,01}{A} + \frac{0,42}{B} + \frac{0,45}{C} + \frac{0,12}{D}} \quad (2)$$

A seguir, a Tabela 1 explica a interpretação da Equação 2 e a peculiaridade de cada norma.

**Tabela 1 - Condições de funcionamento dos quatro pontos da Equação 2 de um Chiller condensação à água**

		Versões da AHRI – IPLV	
Eficiência (kW/TR)	% do tempo em operação	IP (550/590)	SI (551/591)
		Temperatura Condensação	
A = kW/TR a 100%	1%	85.0 °F	30 °C
B = kW/TR a 75%	42%	75.0 °F	24.5 °C
C = kW/TR a 50%	45%	65.0 °F	19 °C
D = kW/TR a 25%	12%	65.0 °F	19 °C
Componentes do Chiller		Demais condições de operação	
Evaporador		Vazão = 2.4 GPM/TR	TEAG = 12.0°C
		Tsag = 44 °F	Tsag = 7.0°C
		ΔT ag = 41.9°F	ΔT ag = 5.0°C
Condensador		Vazão = 3.0 GPM/TR	TSAC = 35.0°C

Fonte: Norma ANSI/AHRI *Standard 550/590* (I-P) [10] e *551/591* (SI) [11] (Modificado)

Caso as condições de carga parcial sejam fora do padrão IPLV definido por norma, igual na maioria dos projetos, utiliza-se o índice NPLV que utiliza a mesma Equação 2, entretanto as circunstâncias dos pontos são singulares para cada projeto.

## 2.5. Sistemas de climatização

Ambientes condicionados por um sistema de climatização, seja para conforto ou processo industrial controlado, demandam retirada/adição de carga térmica ao longo do dia dependendo do seu mapa [*schedule*] de funcionamento. Para ocorrer esta troca existem duas classificações de ar-condicionado, conforme Figura 3.

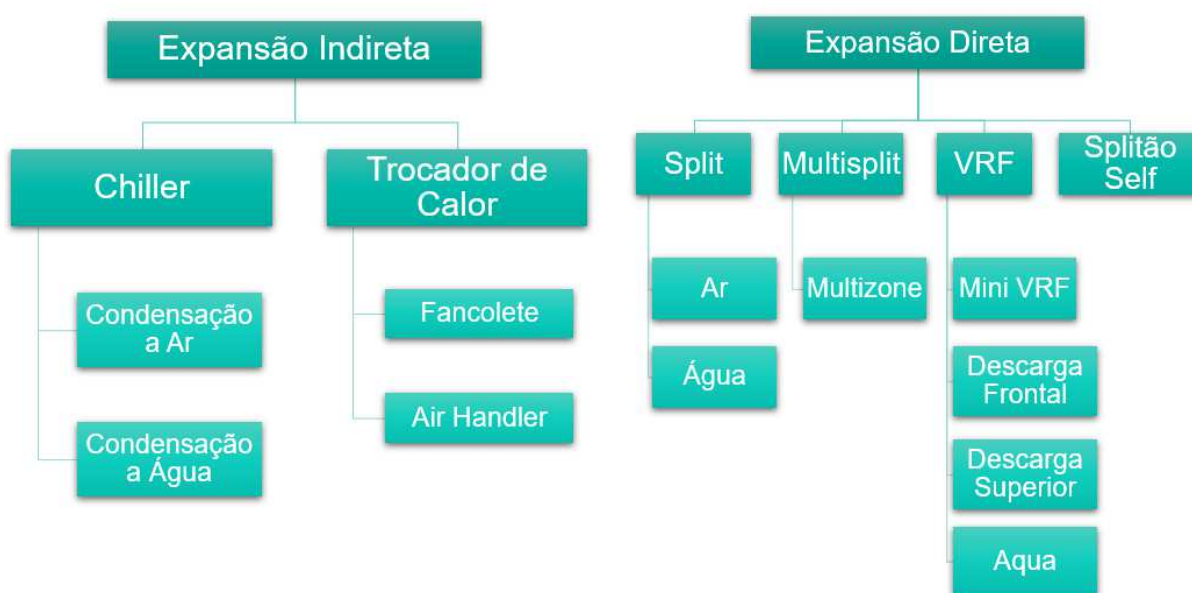
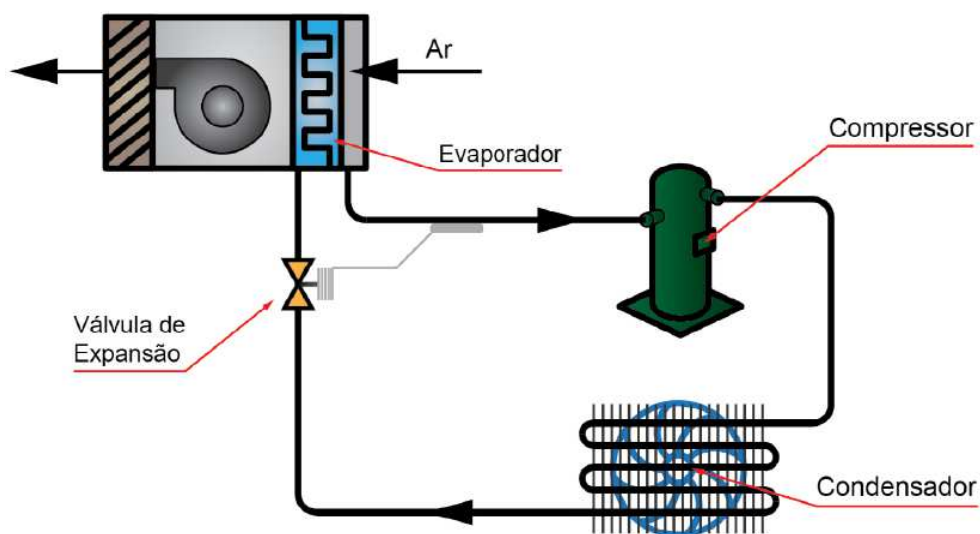


Figura 3 - Classificação de sistemas de refrigeração  
Fonte: Autoral

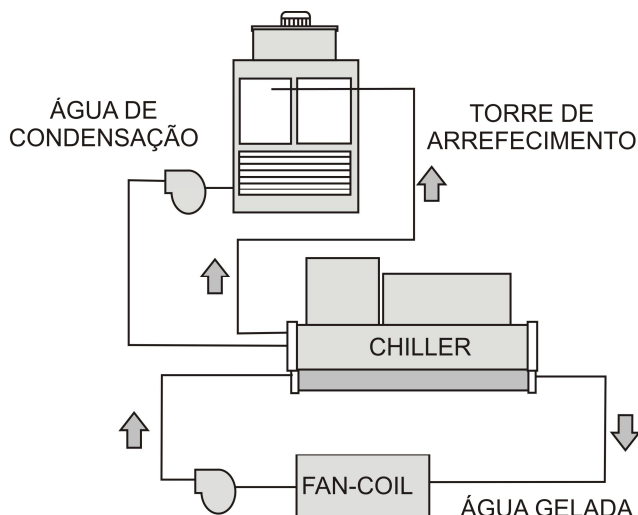
A expansão direta é quando o próprio fluido refrigerante (que sofre expansão e compressão) é quem resfria de maneira direta o ar. Caracteriza-se por um sistema fechado, o qual realiza o processo de resfriamento do ambiente condicionado transferindo o calor do ambiente para o fluido refrigerante e finaliza o ciclo dissipando o calor no ambiente externo através da troca térmica entre o ar externo e o fluido refrigerante no condensador, como pode ser observado na Figura 4.



**Figura 4 - Sistema de expansão direta do tipo Split condensação à ar**  
 Fonte: [5]

Para ambientes com grande demanda de carga térmica, alto grau de filtragem do ambiente climatizado ou distanciamento significativo entre a unidade externa e interna a expansão indireta é mais indicada. Este sistema se caracteriza por conter um fluido secundário no processo, na maioria das vezes, utiliza-se apenas água. Quando há necessidade de temperaturas inferiores ao ponto de congelamento da água, adiciona-se etilenoglicol ou propilenoglicol à solução.

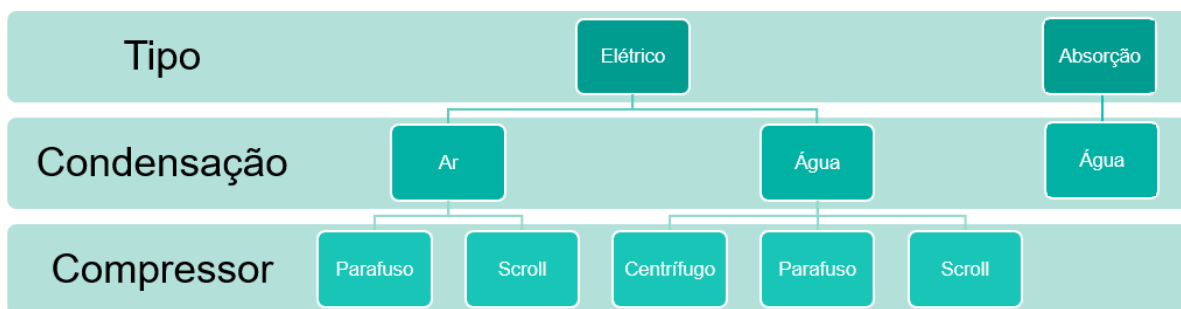
O funcionamento deste processo, como apresenta a Figura 5, baseia-se na circulação de fluido secundário na tubulação e nas unidades interiores, também conhecido como água gelada, após absorver calor do ambiente condicionado se direciona à unidade exterior fazendo a troca térmica com o fluido refrigerante do *Chiller*.



**Figura 5 - Sistema de expansão indireta por condensação à água**  
 Fonte: [12]

## 2.6. Chiller

O *Chiller* é o equipamento responsável por resfriar a água do sistema de ar-condicionado de expansão indireta, esta água gelada é utilizada posteriormente em *fancoils* para resfriar o ar do ambiente. Os *Chillers* disponíveis no mercado possuem uma grande variedade de modelos, diferenciando-se conforme sua condensação e compressor (Figura 6).



**Figura 6 - Tipos de Chillers**  
 Fonte: Autoral

O *Chiller* de absorção trabalha com diferentes fontes térmicas para aquecer o gerador e realizar as reações químicas não havendo a necessidade do compressor, ou seja, sem energia elétrica para seu funcionamento. Em contra partida, os *Chillers* elétricos possuem quatro componentes principais, sendo eles: evaporador, compressor, condensador e dispositivo de expansão. [13]

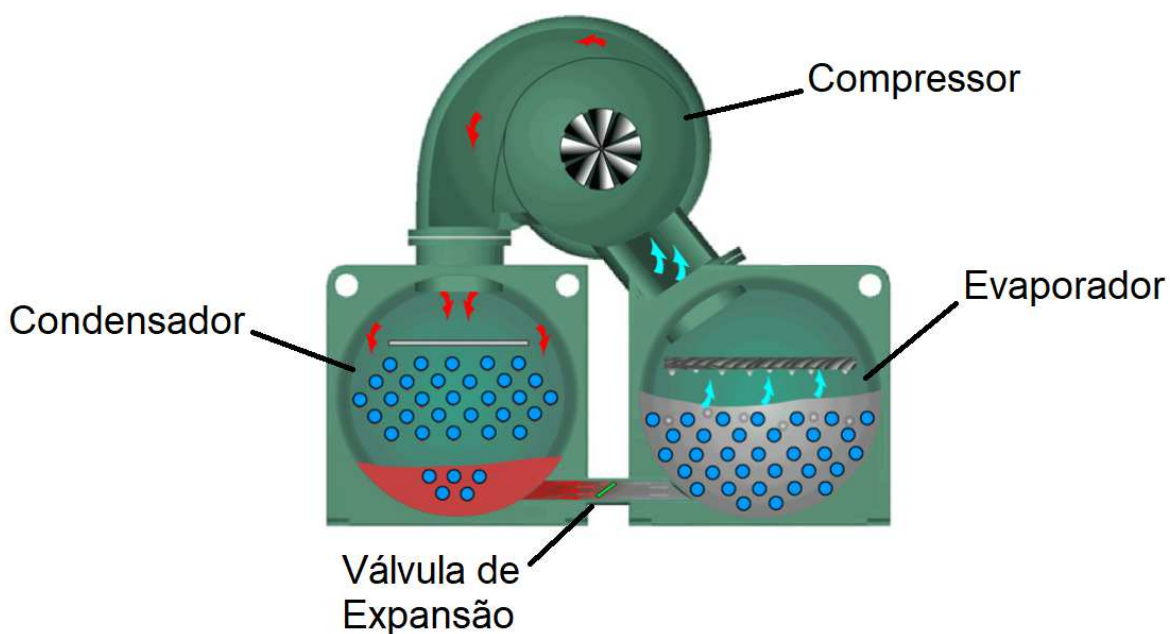
O motivo para a diversidade de *Chillers* é a especificidade de cada projeto, por exemplo: equipamentos de condensação a ar ficam em locais expostos ao tempo, já em *Chillers* com condensação a água há necessidade de locais fechados/cobertos. Além disso, tanto pela demanda do mercado como pela característica de cada compressor, os fabricantes de HVAC oferecem os ranges de capacidade diferenciados para cada tipo de *Chiller*, conforme Tabela 2.

**Tabela 2 - Capacidades dos *Chillers* disponíveis no mercado**

Condensação	Compressor		
	Scroll	Parafuso	Centrífugo
AR	15 a 200 TR	50 a 500 TR	-
ÁGUA	50 a 200 TR	55 a 300 TR	165 a 3000 TR

Fonte: [14]

E, como neste trabalho é analisado o *Chiller* elétrico com condensação a água e compressor centrífugo, será detalhado os seus componentes principais, conforme seu fluxograma de funcionamento, como mostra a Figura 7.



**Figura 7 - Fluxograma Simplificado do Chiller que será estudado**

Fonte: [14]

No *Chiller* com condensação a água a troca térmica no condensador é entre o fluido refrigerante e a água de condensação, conseqüentemente existe a necessidade de uma torre de

resfriamento e uma bomba para circular este processo (Figura 8). Este esquema é chamado de sistema de condensação e seu funcionamento ocorre da seguinte forma: a água de resfriamento absorve o calor do fluido refrigerante em troca térmica no condensador do *Chiller* e dissipa este calor no ambiente através da torre de resfriamento.

É importante observar que capacidade independe de ser água ou ar. As principais vantagens são: área de instalação, nível de ruído, não necessita ser instalada em ambientes externos.

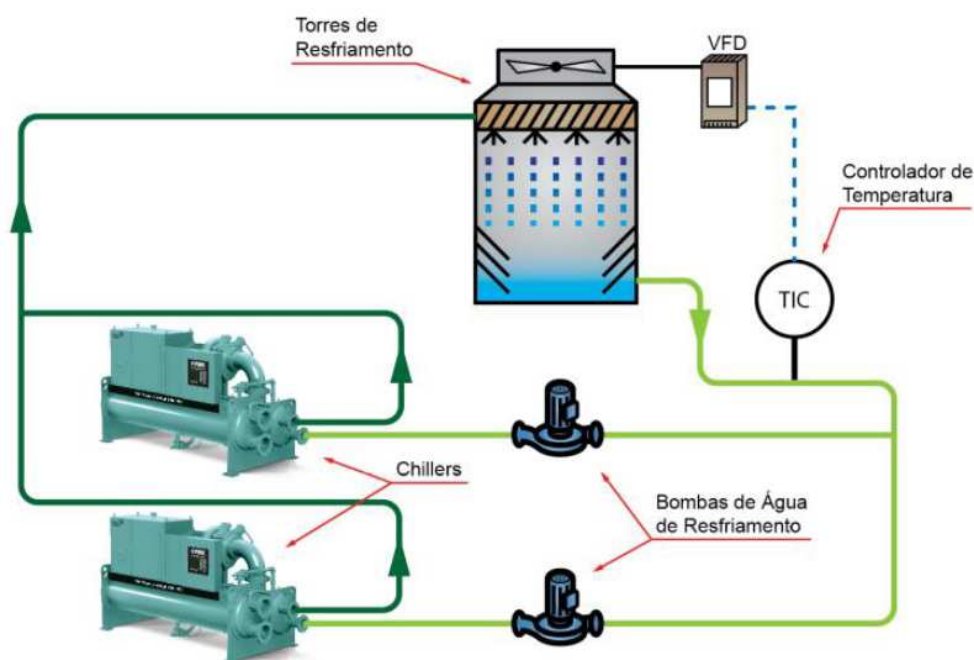


Figura 8 - Chiller condensação à água e componentes da CAG.  
Fonte: [6]

Quando não existe uma restrição quanto a utilização de água, os *Chillers* de condensação a água são muito utilizados pela sua flexibilidade de instalação (subsolos), capacidade térmica alta e por possuírem eficiências elevadas (COP).

Outro componente imprescindível para o funcionamento do *Chiller* é a válvula de expansão sua funcionalidade é separar o lado de alta pressão e de baixa pressão (Figura 9) do equipamento, bem como garantir que na entrada do evaporador haja fluido refrigerante líquido na vazão e velocidade suficiente para a expansão completa.

No mercado de HVAC, as válvulas mais utilizadas são as eletrônicas e as termostáticas, visto que possuem uma boa eficiência e precisão durante seu funcionamento. Entretanto este dispositivo não necessariamente precisa ser uma válvula, pode ser um orifício, tubos capilar, placa e entre outros.

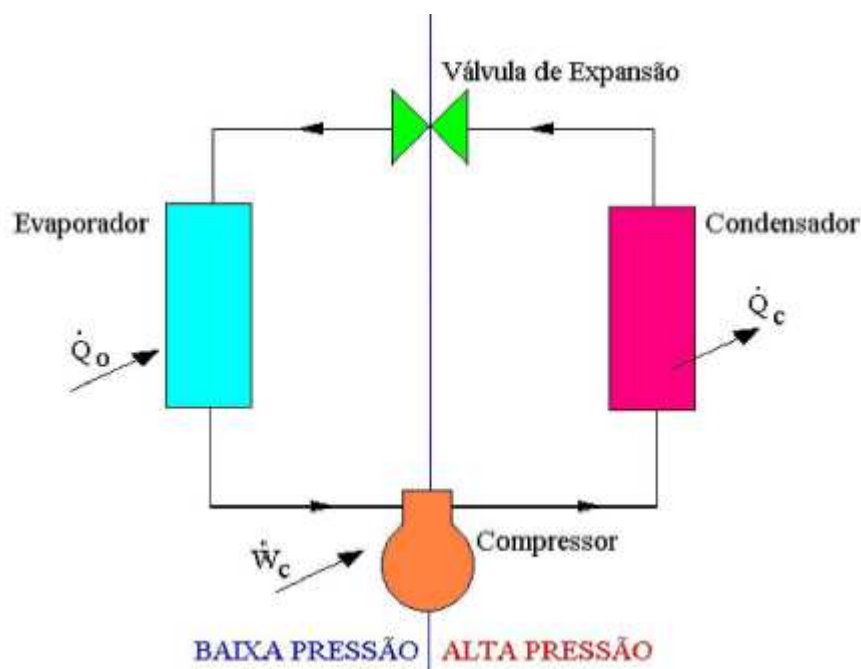


Figura 9 - Esquema simplificado do Ciclo de Refrigeração  
Fonte: [15]

O evaporador tem função primordial no ciclo de refrigeração. É nele onde ocorre a troca térmica entre o fluido refrigerante e a água a ser resfriada para utilização nos *fancoils*. Internamente nos tubos do evaporador (para evaporadores seco), circula o fluido refrigerante entre no evaporador em baixa pressão (devido ao processo de expansão previamente ocorrido na válvula de expansão) e, conseqüentemente, em baixa temperatura, com seu estado predominantemente líquido. Já no lado externo dos tubos e interno do casco, circula a água a ser resfriada, em contra fluxo com o fluido refrigerante. Esta circulação dos dois fluidos resulta na troca térmica entre ambos, onde o fluido refrigerante absorve este calor e muda de fase (do líquido para o gasoso) até atingir seu ponto de saturação e, em seguida, superaquecido. A água, por sua vez, em temperatura mais alta (ou com mais energia térmica), perde calor para o fluido refrigerante, sendo resfriada até o valor desejado para utilização.

Para evaporadores inundados, o fluido refrigerante circula externo ao tubo, enquanto a água circula no interior.

É importante que o fluido refrigerante, na saída do evaporador esteja no estado vapor superaquecido, pois pode danificar o compressor por calço hidráulico, caso haja em sua sucção fluido refrigerante no estado líquido.

Por sua vez, os compressores com mancais magnéticos trabalham sem nenhum contato ou atrito, não havendo a necessidade de qualquer tipo de lubrificação, também são chamados



de *oil free*. Esta é a última tecnologia lançada no setor de ar-condicionado e é a mesma tecnologia dos trens-bala que funcionam por levitação magnética. [14]

Entre as principais vantagens da aplicação desses mancais pode-se citar: operação mais sustentável por não haver carga de óleo, manutenção mais confiável pela redução de 80% dos componentes móveis do *Chillers* (sistema de lubrificação), baixíssimo nível de ruído e vibração e elevada eficiência energética.

A Figura 10 observa-se o compressor de mancal magnético, do *Chiller* modelo YMC<sup>2</sup> (York®), em corte isométrico, na qual mostra alguns componentes internos, como: motor com ímã permanente, rolamentos magnéticos ativos e o impelidor, do tipo fechado. Este conjunto tem como função tornar a energia adquirida pelo motor em energia cinética no impelidor, que por sua vez a transforma em energia de pressão, ou seja, trocando velocidade por pressão.

Uma curiosidade é que o impelidor [*impeller*] pode alcançar uma rotação de 16.000 a 25.000 RPM (rotações por minuto) enquanto levita no ar devido ao magnetismo.

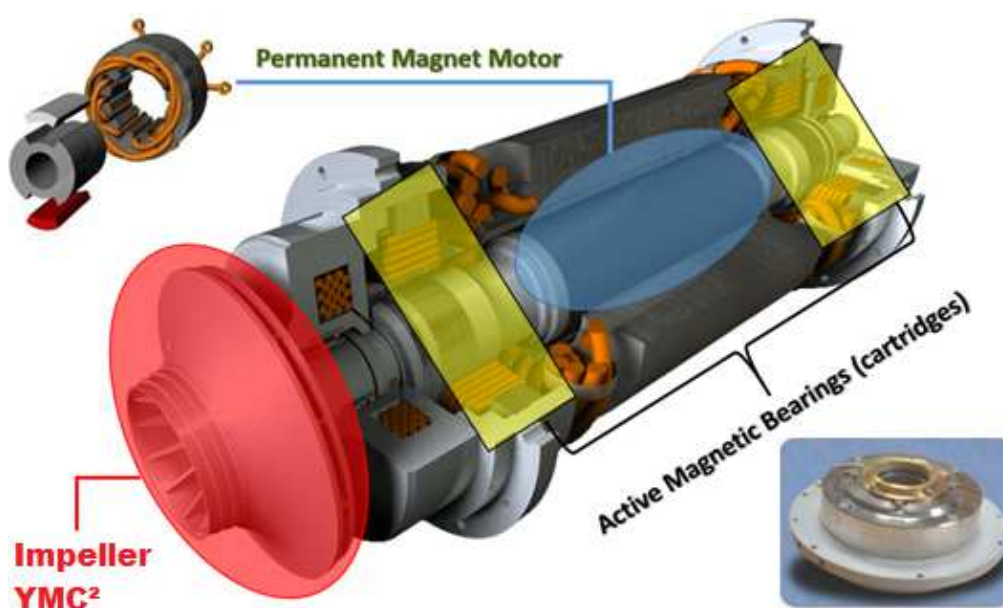


Figura 10 - Vista em corte isométrico de um compressor de mancal magnético  
Fonte: [14]

Com relação ao motor, como mostra a Figura 11, é o componente rotativo da linha de transmissão e o impelidor à esquerda da imagem é conectado diretamente a ele. Já o estator é responsável por enviar o sinal elétrico que faz o rotor girar, esta rotação é feita por ondas

magnéticas. Vale ressaltar que o rotor e o estator nunca se tocam enquanto a máquina está fornecendo resfriamento ao edifício.

Por sua vez, os rolamentos radial e axial (*radial and axial bearing*) proporcionam levitação ao rotor e os sensores ao longo do eixo aplicam e corrigem a posição eixo/rotor. No entanto, os rolamentos de aterragem (*touchdown bearing*) são rolamentos de esferas mecânicas, portanto, servem para o rotor se apoiar quando o *Chiller* está desligado. Sendo assim, enquanto a URL está em funcionamento o rotor nunca toca os rolamentos de aterragem, porém são tão robustos que podem lidar com quedas contínuas do rotor operando em velocidade máxima, sendo um componente de “*backup*” também.

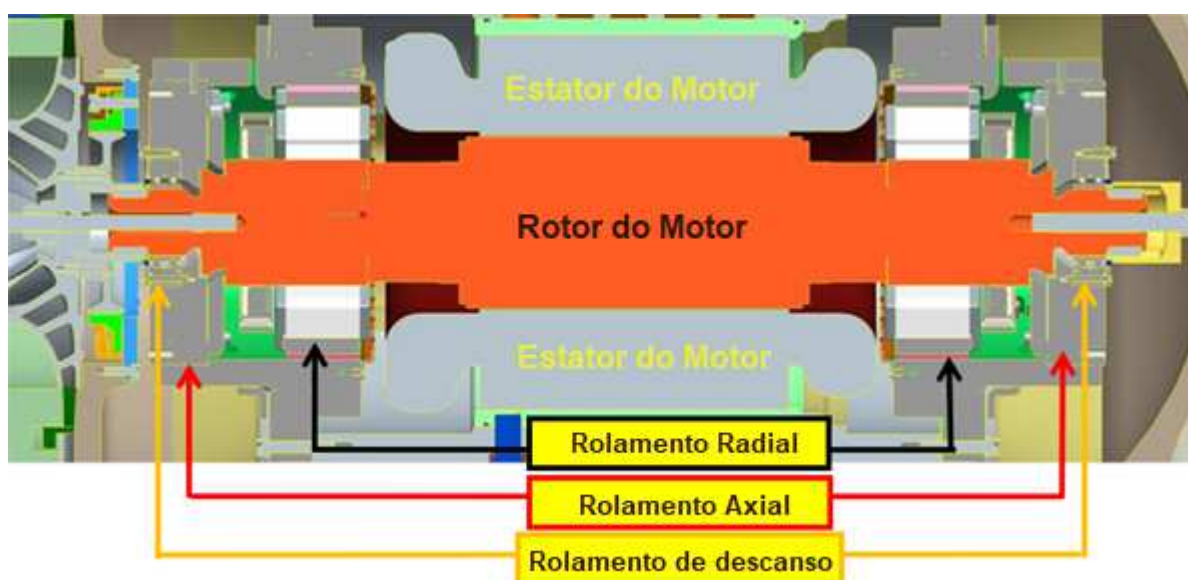


Figura 11 - Vista em corte frontal do motor do mancal magnético  
Fonte: [14] (modificado)

## 2.7. Torre de Resfriamento

Os sistemas de refrigeração irão rejeitar calor após o processo ao qual foi designado. Para sistemas de *Chiller* com condensação a água, o sistema de dissipação de calor é a utilização da torre de resfriamento (Figura 12), a não ser que se possa utilizar este calor para algum processo externo, porém não é o caso deste trabalho. A água de resfriamento, entra na parte superior da torre, é pulverizada no seu interior da torre ou escorre pelas aletas ou, em alguns casos, colmeias da torre, trocando calor com o ar que, por sua vez, resfria a água.

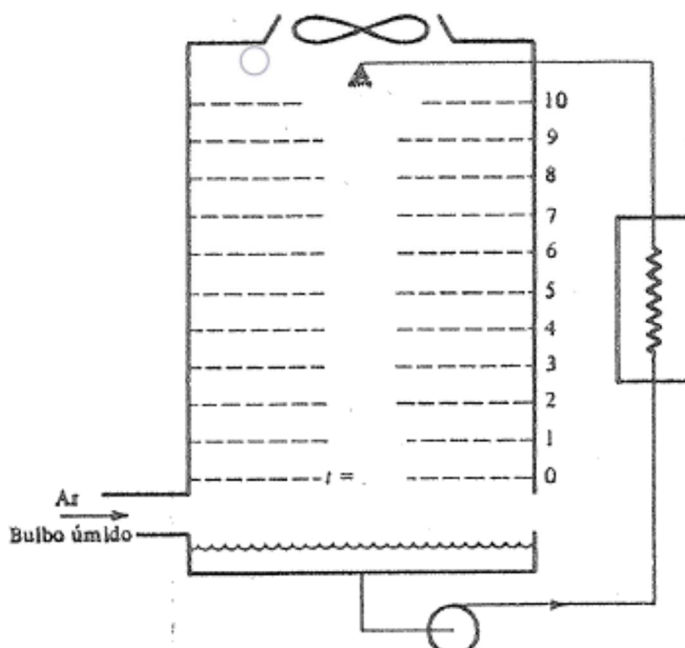


Figura 12 - Representação de uma torre de resfriamento com 10 seções  
 Fonte: [16] (modificado)

## 2.8. Fan coils

Os *Air Handlers unit*, mais conhecidos como *fan coils*, são intercambiadores de calor que realizam a troca térmica entre o ar do ambiente condicionado e a água gelada. São utilizados para climatizar grandes ambientes pela sua capacidade de atingir altas pressões estáticas e maiores distancias entre o Chiller já que há menos perdas no transporte de água gelada do que de um fluído refrigerante [14] e também, locais que necessitam de uma determinada pureza no ar visto que possuem filtragem fina, grossa e absoluta, dependendo de cada projeto. Desta forma, são equipamentos altamente customizáveis, como: forma de montagem (vertical ou horizontal), insuflamento (lateral ou superior), lado de hidráulica (esquerdo ou direito), com ou sem caixa de mistura, resistência de umidificação, de aquecimento etc. A Figura 13 demonstra a representação de um *fan coils* YE Tetrix:



**Figura 13 – Fan coil modular YE Tetrax YORK**  
**Fonte: [14]**

## Capítulo 3

### Métodos

Para o presente estudo, foi determinado uma localização fictícia no município de Rio de Janeiro/RJ. Dois estudos de casos foram usados, sendo considerada a carga térmica necessária para conforto para condicionar o conjunto de duas torres prediais de 11 andares com área de 6300 m<sup>2</sup>. Sendo assim, a carga térmica total considerada foi de 5274 kW (ou 1500 TR), já que o intuito do trabalho é um estudo comparativo entre dois sistemas de CAG e o empreendimento, em pauta, é fictício, não foi considerado o cálculo de carga térmica.

O local de estudo tem como premissas os dados climáticos, de acordo com as condições climáticas atuais disponíveis, o utilizado foi TMY3/IWEC/CWEC. E, para selecionar do equipamento, também serão consideradas todas as normas da ASHRAE e AHRI como parâmetro de desempenho.

Os equipamentos selecionados para este estudo utilizaram o programa *YorkWorks* da *Johnson Controls* utilizando os padrões AHRI 551/591 – 2018, de acordo com a Tabela 1. Como se trata de um estudo de caso com dois cenários, tendo uma comparação de cargas parciais e carga mista entre eles, foi necessário a utilização de dois ou mais equipamentos. Sendo assim, foram utilizados 3 *Chillers* de condensação à água e compressor de mancal magnético, em paralelo de 500TR, utilizando uma tensão de funcionamento de 380V, trifásico e a 60 Hz (dados no Anexo A).

Após a seleção foi utilizado o programa *YorkCalc* para a comparação dos sistemas. Foram duas alternativas estudadas, sendo a primeira o método utilizado pelo programa que é o modo que uma CAG funcionaria com automação otimizando a eficiência das cargas (sequenciamento parcial) e a segunda alternativa sendo sem otimizações (sequenciamento pleno + parcial). A Tabela 3 exemplifica as cargas do ambiente de acordo com a temperatura utilizando o método Bin, que utiliza a quantidade de horas no ano que o ambiente selecionado é exposto em uma determinada faixa de temperatura.

Tabela 3 - Cargas parciais estudadas no projeto

Linha Base de utilização de chiller Software X CPO									
Capacidade Total		5274 kW	1499,64 TR	Sequenciamento Parcial (Alt#1) kW			Sequenciamento Plena+Parcial(Alt#2)		
Capacidade individual		1758 kW	499,88 TR	Chiller 1	Chiller 2	Chiller 3	Chiller 1 (KW)	Chiller 2 (KW)	Chiller 3 (KW)
Temperatura Bin (°C)	ECWT (°C)	Capacidades percentuais (%)	Capacidade em KW	Chiller 1	Chiller 2	Chiller 3	Chiller 1 (KW)	Chiller 2 (KW)	Chiller 3 (KW)
37,8 => 40,5	30	100,0%	5274	1758	1758	1758	1758	1758	1758
35 => 37,7	28,58	95,0%	5010	1670	1670	1670	1758	1758	1494
32,2 => 34,9	28,11	90,0%	4747	1582	1582	1582	1758	1758	1231
29,4 => 32,1	27,24	80,0%	4219	1406	1406	1406	1758	1758	703
26,7 => 29,3	25,84	70,0%	3692	1231	1231	1231	1758	1758	176
23,9 => 26,6	25,87	60,0%	3164	1582	1582	0	1758	1406	0
21,1 => 23,8	23,74	50,0%	2637	1319	1319	0	1758	879	0
18,3 => 21,0	21,21	40,0%	2110	1055	1055	0	1758	352	0
15,6 => 18,2	21,3	30,0%	1582	1582	0	0	1582	0	0
12,8 => 15,5	17,62	20,0%	1055	1055	0	0	1055	0	0
10,0 => 12,7	14,37	15,0%	791	791	0	0	791	0	0
7,2 => 9,9	11,63	10,0%	527	527	0	0	527	0	0

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01

### 3.1. Seleção dos equipamentos

Com a carga térmica do empreendimento estimada, o passo seguinte foi efetuar a seleção dos equipamentos que vão climatizá-lo. E, para isso, o programa utilizado para selecionamento foi o *YorkWorks* (responsável pelos *Chillers* da marca YORK®) com base em todas as normas AHRI [10][11] e ASHRAE [4].

Como o intuito do trabalho é comparar sistemas de cargas parciais e cargas mistas, obviamente, é necessário a aplicação de mais de um equipamento por sistema. Desta forma, para o estudo ser válido, as alternativas, obrigatoriamente, devem ter a mesma base de comparação, operando as mesmas máquinas na mesma carga térmica com o mesmo período de funcionamento, no mesmo local; alterando apenas a forma de utilização dos *Chillers* (com e sem programação). Para estruturação do trabalho, a carga térmica total de 5274 kW (1500TR), foi dividida em três *Chillers* de 1758 kW (500TR).

Foram selecionadas as máquinas do modelo YMC<sup>2</sup>, devido a tecnologia dos mancais magnéticos possibilitando a operação com temperaturas mais amenas na água de condensação vinda da torre de resfriamento, gerando alta eficiência em cargas parciais menores, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Mapa de eficiência em Partload x CEFT (unidades em SI)

Dados em Cargas Parciais (Temperatura de Água de Condensação Mínima)										
CEFT (°C)	% LOAD									
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
30.00*	6.129	6.354	6.562	6.638	6.611	6.460	6.148	5.562	4.227	-
27.00*	6.904	7.172	7.442	7.644	7.698	7.652	7.384	6.692	5.241	2.649
24.00*	7.802	8.218	8.528	8.786	9.016	8.960	8.686	8.134	6.477	3.288
21.00*	8.907	9.448	9.904	10.31	10.67	10.81	10.57	9.951	8.745	4.415
18.00*	10.18	10.94	11.62	12.27	12.82	13.32	13.31	12.61	11.26	5.652
15.00*	11.63	12.74	13.84	14.87	15.86	16.72	17.20	16.61	14.98	10.20
12.00*	13.44	14.91	16.61	18.44	20.22	21.79	23.09	23.14	21.28	15.81
9.00*	15.47	17.75	20.30	23.31	26.71	30.62	33.94	36.39	35.26	27.00
6.00*	18.41	19.31	22.98	27.31	34.46	39.70	44.16	40.51	25.72	15.81
3.00*	17.34	20.03	23.41	27.52	36.26	42.51	49.40	39.65	24.28	15.16

\* Valores são em COP

	O ponto avaliado é 60% ou mais eficiência em comparação com o ponto de operação do projeto
	O ponto avaliado é 70% ou mais eficiência em comparação com o ponto de operação do projeto
	O ponto avaliado é 80% ou mais eficiência em comparação com o ponto de operação do projeto

Fonte: Software YorkWorks, 2021 – selecionamento Projeto Final (modificado)

Conforme comentado anteriormente, a folha de dados [*datasheet*] do *Chiller* selecionado está no Anexo A. O equipamento YMC<sup>2</sup> foi importado para dentro do software *YorkCalc*, que foi utilizado para comparação dos sistemas. Esta facilidade transfere informações de performance, características, condições de operação, temperaturas, por fim, todos os dados essenciais para análise energética.

### 3.2. Vida útil dos *Chillers*

Qualquer máquina necessita de manutenção. No sistema de HVAC não é diferente, sendo essencial a constante manutenção. No planejamento de operação desse sistema existe a manutenção preventiva (checagem periódica dos componentes) e a preditiva (acompanha parâmetros de ajuste ou até mesmo troca de peças). Sendo assim, os custos com revisão, conservação e correção também devem ser considerados no OPEX da operação quando está em pauta a modernização [*retrofit*] da CAG.

A central de água gelada é influenciada por diversos parâmetros que impactam constantemente a alternância da carga térmica do empreendimento, principalmente pela variação diária das condições climáticas locais, como a temperatura externa. Sendo assim, condições de operação são em regime não permanente porque as variantes modificam-se

constantemente. Conseqüentemente, essas perturbações podem influenciar diretamente na vida útil do equipamento, e dependendo da magnitude, podem gerar danos permanentes no sistema.

Nas obras de revitalização ou modernização, os fatores primordiais mais comuns são: quando existe uma falha grave em algum equipamento, acarretando a paralisação do sistema e/ou quando os custos de operação são tão elevados que viabilizam a renovação dos equipamentos.

Na Tabela 5, conforme [4], tem-se uma análise estimativa da vida útil dos equipamentos de HVAC, onde é possível observar que é estimado aproximadamente 25 anos de vida útil para o *Chiller* centrífugo, o qual está sendo apurado neste trabalho.

**Tabela 5 - Vida útil estimada dos equipamentos**  
**Tabela 3 - Vida Útil Média**

<b>Tipos de Equipamentos</b>	<b>Vida Útil Média (anos)</b>	<b>Nº de unidades Totais</b>	<b>Nº de unidades substituídas</b>
<b>Distribuição de ar, expansão direta</b>	>24	1907	284
<b>Chillers, centrífugos</b>	>25	234	34
<b>Torres de Resfriamento, metal</b>	>22	170	24
<b>Boilers, Aquecedor, queimador a gás</b>	>22	117	24
<b>Controles, pneumático</b>	>18	101	25
<b>eletrônico</b>	>7	68	6
<b>Aquecedor de água quente potável, elétrico</b>	>21	304	36

Fonte: [4] (Modificado)

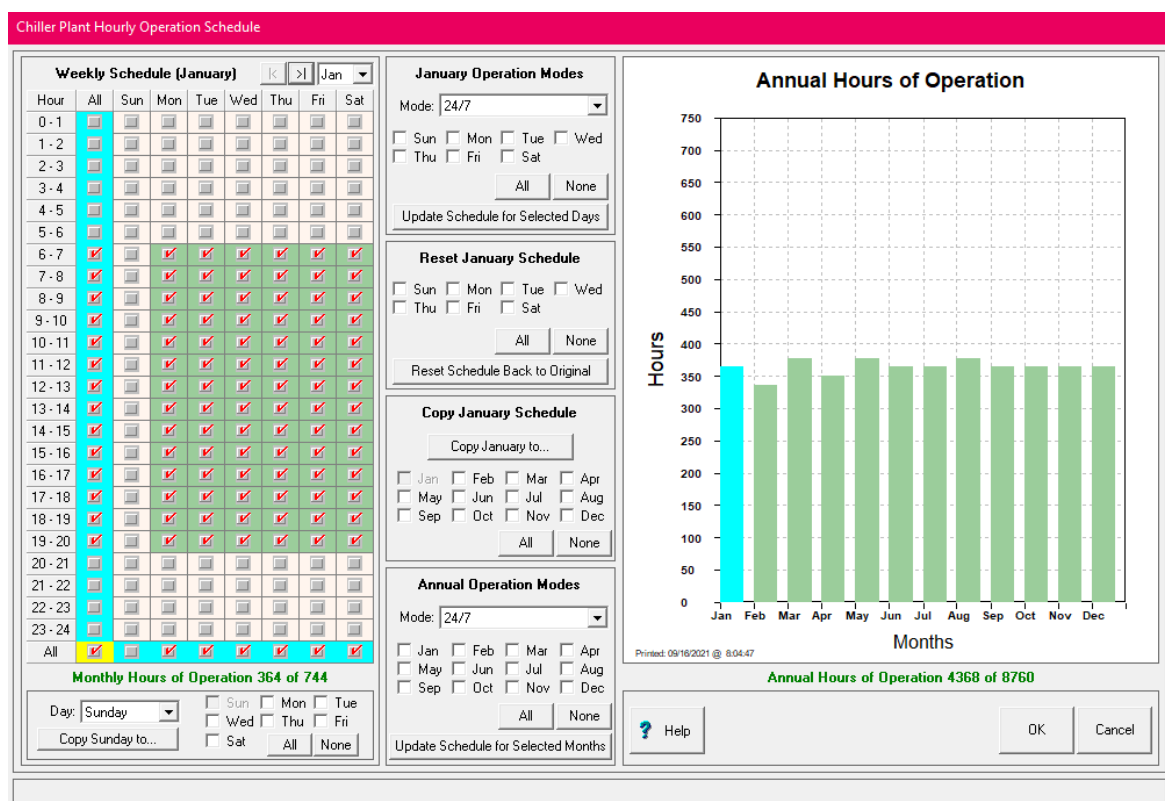
Vale ressaltar que para o *Chiller* alcançar a vida útil estimada por ASHRAE, o projeto obrigatoriamente deve ser bem dimensionado, sendo apropriado para a necessidade do prédio e contar com um planejamento programado das manutenções necessárias para cada componente e equipamento.

### **3.3. Análise comparativa entre os dois sistemas**

Como comentado, a simulação termo energética tem como característica a verificação do comportamento térmico do empreendimento e seu custo operacional referente as alternativas propostas, sendo viável conhecer as reduções do consumo energético da operação.



Para ser elaborado o estudo, é obrigatório conhecer o mapa de funcionamento da CAG da edificação para elaborar a condição real que o *Chiller* irá atuar durante todo o ano. Sendo assim, foi considerado de segunda a sábado das 06:00 às 20:00 ao longo de todos os meses do ano (similar ao intervalo utilizado em prédios comerciais), como representado na Figura 14.



**Figura 14 - Definição do schedule de funcionamento da CAG durante o ano**  
**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – selecionamento TCC\_REV01**

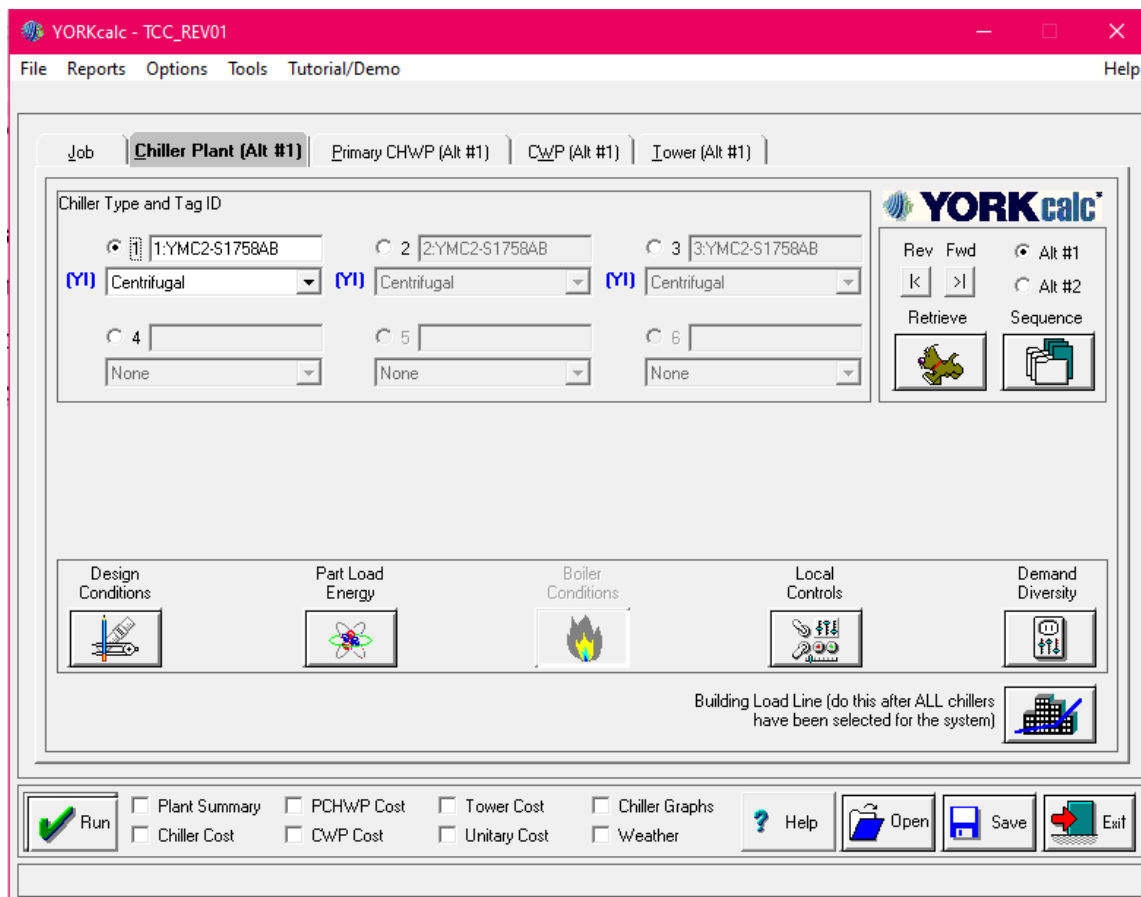
Tendo o perfil de funcionamento da CAG definido, concluí-se que a operação dos *Chillers* será de 4368 horas/ano. O próximo passo foi buscar informações sobre os dados climáticos no qual o empreendimento está localizado, determinando a distribuição de temperaturas externas em função das horas de ocorrência ao longo do ano, para a região do Rio de Janeiro/RJ. Desta forma, na Figura 15 explicita-se esta informação, definida pelo método TMY3/IWEC/CWEC:

Project							Location							
<b>PROJETO FINAL</b>							<b>Rio de Janeiro - Brasil</b>							
Arquivo Climático - TCC_REV01														
Temp Bin (°C)	Jan (hrs)	Feb (hrs)	Mar (hrs)	Apr (hrs)	May (hrs)	Jun (hrs)	Jul (hrs)	Aug (hrs)	Sep (hrs)	Oct (hrs)	Nov (hrs)	Dec (hrs)	Avg.WB (°C)	Total (hrs)
37.8=>40.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	25.04	2
35.0=>37.7	2	7	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	25.11	14
32.2=>34.9	2	32	8	13	3	0	1	0	0	0	5	22	24.97	86
29.4=>32.1	100	84	105	25	16	1	8	4	3	8	24	52	24.70	430
26.7=>29.3	144	155	144	108	52	24	43	38	28	25	88	93	23.40	942
23.9=>26.6	83	56	103	159	136	105	89	108	134	194	147	169	21.64	1483
21.1=>23.8	17	2	18	45	112	127	103	119	95	97	67	27	19.97	829
18.3=>21.0	16	0	0	0	59	96	99	95	96	33	28	0	18.15	522
15.6=>18.2	0	0	0	0	0	11	20	14	8	6	0	0	16.08	59
12.8=>15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	15.10	1
10.0=>12.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.32	0
7.2=>9.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.54	0
Totals:	364	336	378	350	378	364	364	378	364	364	364	364		4368

**Figura 15- Dados climáticos de Rio de Janeiro**  
**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01**

Após toda a definição de dados climáticos e funcionamento, foi necessário informar ao programa qual a tarifa média aplicada no sistema de CAG para avaliação do consumo elétrico das alternativas. Segundo o site da Aneel, a tarifa média para Rio de Janeiro foi de 0,694 R\$/kWh [17], sem considerar impostos e custos de distribuição.

Após todas as definições de custo para funcionamento do sistema serem inseridas no *YorkCalc*, foi necessário introduzir os equipamentos com suas condições de operação e mapa de funcionamento; e pela plataforma *YorkWorks* e *YorkCalc* se interagirem (por serem da mesma empresa), ou seja, é possível otimizar a importação do perfil dos *Chillers* no *YorkCalc* a partir de um arquivo específico adquirido no *YorkWorks* (.yxc). Como já descrito anteriormente, foram utilizadas três máquinas idênticas para fornecer a climatização do ambiente condicionado. Fazendo este *input* no *software*, é possível analisar na interface do *YorkCalc*, como explícito na Figura 16.



**Figura 16 - Interface de *input* dos *Chillers* e suas definições de funcionamento.**  
**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01**

O *software* tem a possibilidade de comparar um sistema de múltiplos *Chillers* sendo a opção para analisar o sistema que contém mais de um URL, assim como é o escopo deste trabalho. A Figura 17 apresenta a aba onde se compartilham as condições de *design* dos *Chillers* manipulados no estudo termo energético.

**Design Conditions (1:YMC2-S1758AB, Alt #1) - Multiple Plant**

Load (kW):	1758	Condenser Cooling:	Water
Input Energy (COP):	6.125	Drive Speed:	Variable
Input Energy (kW):	287	VSD Efficiency (%):	100

Note:  'Input Energy' set @Constant Speed (VSD efficiency will be added)

	--- Evaporator ---	--- Condenser ---
Entering Temperature (°C):	12	30
Leaving Temperature (°C):	7	34.96
Flow Rate (l/s):	83.78	98.8
Pressure Drop (kPa):	57.9	42.7
Fouling Factor ((m <sup>2</sup> ·°C)/kW):	0.017611	0.044028
Fluid Type:	Water	Water
Concentration by wgt (%):	n/a	n/a

Buttons: Help,  YW Import, Import YW Chiller, OK, Cancel

**Figura 17 - Design Conditions do Chiller YMC<sup>2</sup>**  
**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01**

Após descrever todas as premissas necessárias para o desenvolvimento do estudo termo-energético, como: mapa de funcionamento da CAG anual, a localização requerida do empreendimento e seus dados climáticos, a tarifa média da energia elétrica, o selecionamento do *Chiller* e seu perfil de performance; enfim, a próxima etapa é analisar as duas alternativas individualmente.

## Capítulo 4

### Resultados e Discussão

#### 4.1. Análise comparativa entre as duas alternativas

Quando se começa o planejamento de um projeto, antes de tudo é necessário detectar a sua viabilidade custo benefício, e de otimização do processo de operação. Desta forma, as simulações comparativas são muito utilizadas, pois alcançam um cenário próximo à realidade a partir das condições aplicadas no estudo.

No setor de climatização e refrigeração não é diferente, os engenheiros projetistas utilizam como grande aliado as simulações termo-energéticas para explicar de forma didática aos donos dos empreendimentos as diversas possibilidades para instalação do sistema de ar condicionado, vantagens adquiridas dependendo do escolhido, capital investido inicial e a redução no custo de operação. Para completar, esta análise também é elaborada quando a finalidade é trocar uma CAG antiga por uma nova e/ou parte dela, o termo utilizado para essa ação é *retrofit*.

##### 4.1.1. Alternativa #1:

Para a primeira alternativa foi embarcado um sequenciamento otimizado da utilização dos *Chillers* pelo programa de acordo com a carga do empreendimento, iniciando em uma capacidade de 10% da CAG com 527 kW (ou 150TR) até sua capacidade em *full load* com 5274 kW (ou 1500TR).

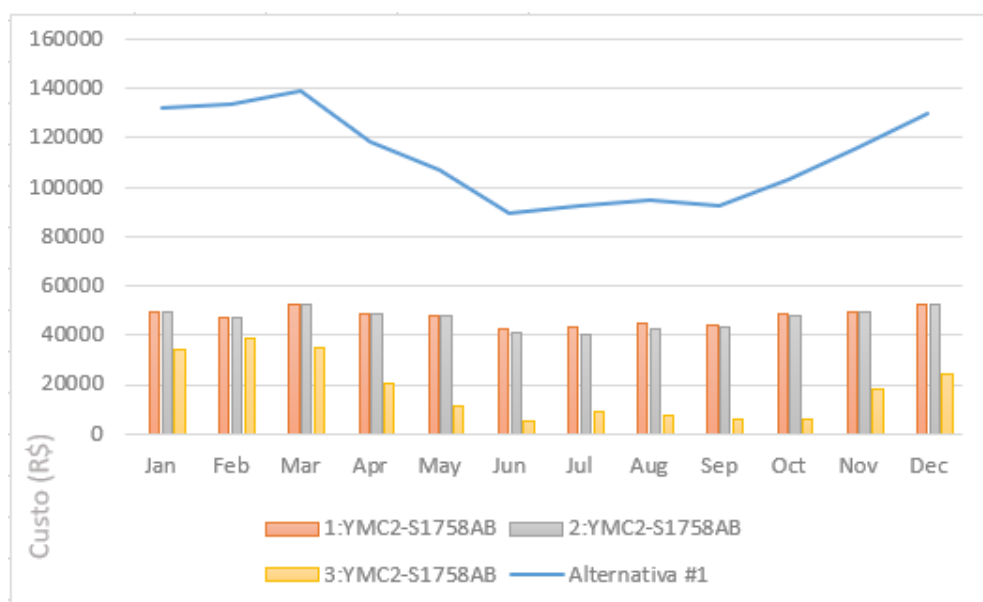
A partir da lógica apresentada na Tabela 6, é possível observar a utilização do sistema em cargas parciais, explorando seu ponto ótimo de funcionamento já que a eficiência de IPLV do *Chiller* de mancal magnético selecionado é extremamente alta (conforme explicitado na Tabela 4).

**Tabela 6 - Definição de cargas da edificação e a lógica de operação de cada Chiller - Alternativa #1**

Building Load (Alternate #1) - Multiple Plant						
Temperature Bin (°C)	Building Load (kW)	Building Load (%)	Chiller Capacity (%)	----- Chiller Capacities -----		
				#1 (kW)	#2 (kW)	#3 (kW)
37.8=>40.5	5274	100.0	100.0	1758	1758	1758
35.0=>37.7	5010	95.0	95.0	1670	1670	1670
32.2=>34.9	4747	90.0	90.0	1582	1582	1582
29.4=>32.1	4219	80.0	80.0	1406	1406	1406
26.7=>29.3	3692	70.0	70.0	1231	1231	1231
23.9=>26.6	3164	60.0	90.0	1582	1582	0
21.1=>23.8	2637	50.0	75.0	1319	1319	0
18.3=>21.0	2110	40.0	60.0	1055	1055	0
15.6=>18.2	1582	30.0	90.0	1582	0	0
12.8=>15.5	1055	20.0	60.0	1055	0	0
10.0=>12.7	791	15.0	45.0	791	0	0
7.2=>9.9	527	10.0	30.0	527	0	0
4.4=>7.1	0	0.0	0.0	0	0	0
1.7=>4.3	0	0.0	0.0	0	0	0

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01

Simulando o custo elétrico operacional da Alternativa #1, obtém-se a curva representada na Figura 18:

**Figura 18 - Custo energético operacional da Alternativa #1**

Fonte: Dados do Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)

Resumindo os valores apresentados no gráfico acima, para os dados na Tabela 7, obtém-se os seguintes resultados:

**Tabela 7 - Resultado da simulação energética - Alternativa #1**

Sistema de múltiplos Chillers (Alternativa #1)	Custo Mensal	1:YMC2-S1758AB	2:YMC2-S1758AB	3:YMC2-S1758AB	TOTAL
	Jan	R\$ 49.173	R\$ 49.173	R\$ 33.816	<b>R\$ 132.162</b>
	Fev	R\$ 47.341	R\$ 47.341	R\$ 38.765	<b>R\$ 133.447</b>
	Mar	R\$ 52.233	R\$ 52.233	R\$ 34.934	<b>R\$ 139.400</b>
	Abr	R\$ 49.023	R\$ 49.023	R\$ 20.484	<b>R\$ 118.530</b>
	Mai	R\$ 47.757	R\$ 47.757	R\$ 11.269	<b>R\$ 106.783</b>
	Jun	R\$ 42.653	R\$ 41.311	R\$ 5.192	<b>R\$ 89.156</b>
	Jul	R\$ 43.041	R\$ 40.601	R\$ 9.212	<b>R\$ 92.854</b>
	Ago	R\$ 44.531	R\$ 42.823	R\$ 7.180	<b>R\$ 94.534</b>
	Set	R\$ 43.938	R\$ 42.962	R\$ 5.921	<b>R\$ 92.821</b>
	Out	R\$ 48.764	R\$ 47.970	R\$ 6.290	<b>R\$ 103.024</b>
	Nov	R\$ 49.166	R\$ 49.166	R\$ 18.060	<b>R\$ 116.392</b>
Dez	R\$ 52.653	R\$ 52.653	R\$ 24.538	<b>R\$ 129.844</b>	

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)

Com a análise da tabela acima, é possível identificar o gasto energético por *Chiller* e seu custo mensal.

#### 4.1.2. Alternativa #2:

Para a segunda alternativa foi considerado o sequenciamento no qual envolve uma máquina como mestre e as restantes como escravas, no qual a primeira máquina permanecerá adquirindo carga máxima (1758 kW) de acordo com a carga térmica do prédio, e quando atingir o seu extremo, acionará a outra máquina que também irá seguir a mesma lógica com a máquina subsequente.

Como esta segunda aplicabilidade dos *Chillers*, analisada na Tabela 8, percebe-se que na maior parte do tempo, os equipamentos operam em *full load* utilizando assim a performance em COP.

Tabela 8 - Definição de cargas da edificação e a lógica de operação de cada Chiller - Alternativa #2

Building Load (Alternate #2) - Multiple Plant						
Temperature Bin (°C)	Building Load (kW)	Building Load (%)	Chiller Capacity (%)	----- Chiller Capacities -----		
				#1 (kW)	#2 (kW)	#3 (kW)
37.8=>40.5	5274	100.0	100.0	1758	1758	1758
35.0=>37.7	5010	95.0	95.0	1758	1758	1494
32.2=>34.9	4747	90.0	90.0	1758	1758	1231
29.4=>32.1	4219	80.0	80.0	1758	1758	703
26.7=>29.3	3692	70.0	70.0	1758	1758	176
23.9=>26.6	3164	60.0	90.0	1758	1406	0
21.1=>23.8	2637	50.0	75.0	1758	879	0
18.3=>21.0	2110	40.0	60.0	1758	352	0
15.6=>18.2	1582	30.0	90.0	1582	0	0
12.8=>15.5	1055	20.0	60.0	1055	0	0
10.0=>12.7	791	15.0	45.0	791	0	0
7.2=>9.9	527	10.0	30.0	527	0	0
4.4=>7.1	0	0.0	0.0	0	0	0
1.7=>4.3	0	0.0	0.0	0	0	0

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01

Com os dados operativos de cada equipamento proposto pode-se revisar na Figura 19 os parâmetros da simulação garantindo os seguintes resultados para a segunda alternativa proposta:

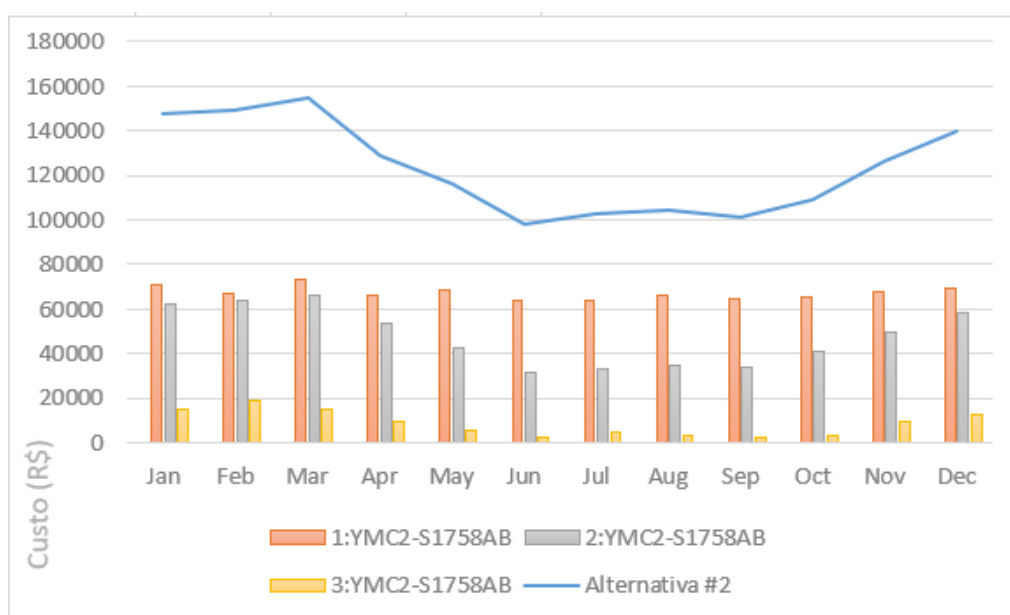


Figura 19 - Custo energético operacional da Alternativa #2

Fonte: Dados do Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)



Passando os dados da Figura 19 para uma Tabela 9, expondo uma visão mais detalhada do gasto energético:

**Tabela 9 - Resultado da simulação energética - Alternativa #2**

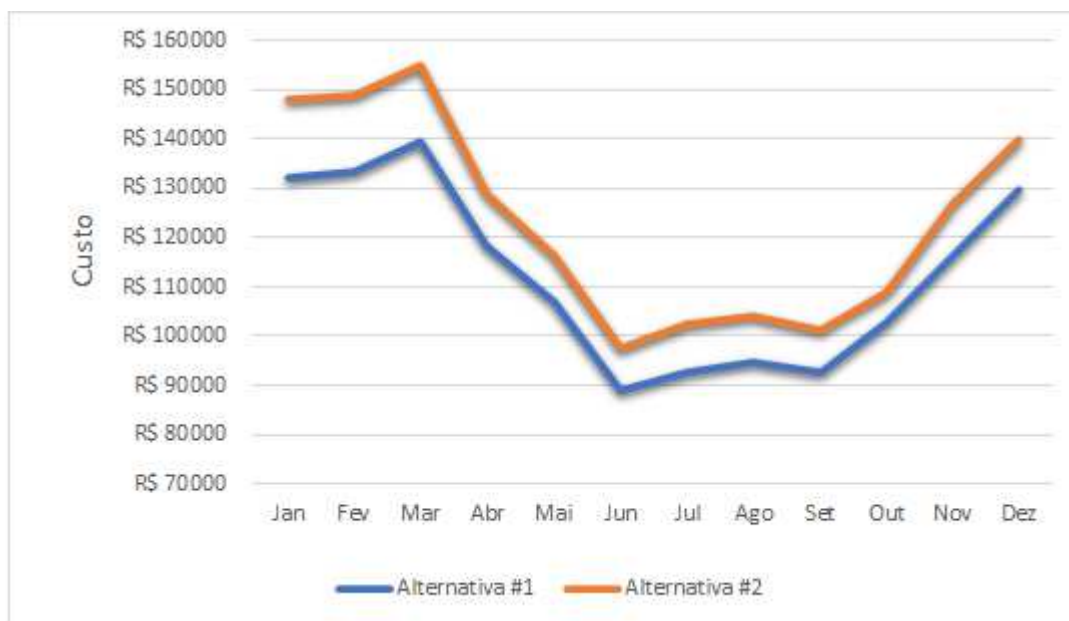
Sistema de múltiplos Chillers (Alternativa #2)	Custo Mensal	1:YMC2-S1758AB	2:YMC2-S1758AB	3:YMC2-S1758AB	TOTAL
	Jan	R\$ 70.505	R\$ 62.376	R\$ 15.117	<b>R\$ 147.998</b>
	Fev	R\$ 66.576	R\$ 63.473	R\$ 18.798	<b>R\$ 148.847</b>
	Mar	R\$ 73.455	R\$ 66.263	R\$ 15.253	<b>R\$ 154.971</b>
	Abr	R\$ 66.398	R\$ 53.512	R\$ 9.195	<b>R\$ 129.105</b>
	Mai	R\$ 68.526	R\$ 42.231	R\$ 5.396	<b>R\$ 116.153</b>
	Jun	R\$ 63.888	R\$ 31.501	R\$ 2.352	<b>R\$ 97.741</b>
	Jul	R\$ 63.990	R\$ 33.430	R\$ 5.060	<b>R\$ 102.480</b>
	Ago	R\$ 66.508	R\$ 34.558	R\$ 3.054	<b>R\$ 104.120</b>
	Set	R\$ 64.448	R\$ 34.243	R\$ 2.630	<b>R\$ 101.321</b>
	Out	R\$ 65.733	R\$ 40.573	R\$ 2.858	<b>R\$ 109.164</b>
	Nov	R\$ 67.817	R\$ 49.639	R\$ 9.265	<b>R\$ 126.721</b>
Dez	R\$ 69.634	R\$ 58.097	R\$ 12.307	<b>R\$ 140.038</b>	

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)

Com todas as informações fundamentais sobre dados técnicos e características de funcionamento dos *Chillers* pontuadas, assim como os resultados individuais de cada alternativa apresentados, inicia-se uma análise comparativa dos dois estudos de casos propostos neste trabalho.

É muito importante comentar, na Tabela 6 e Tabela 8 o *software* considera que a URL-01 sempre aparece em serviço a maior parte do tempo, porém sugere-se, por motivos de alternância entre os equipamentos existe uma lógica de rodízio na operação da CAG entre os *Chillers*, tanto para haver um desgaste uniforme nos componentes da máquina, garantindo uma vida útil otimizada, quanto para existir uma manutenção efetiva do sistema.

Analisando a Figura 20 verifica-se o gasto mensal, em reais (R\$), das duas alternativas propostas, considerando uma visualização inicial em que a Alternativa #2 obteve um custo elétrico maior ao confrontar com a lógica de funcionamento da Alternativa #1.



**Figura 20 - Comparação do custo elétrico mensal das duas alternativas propostas**  
**Fonte: Dados do Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)**

A Tabela 10 explana as informações mostradas no gráfico acima, com uma visão analítica para ser possível calcular a redução concreta que o sistema obteve, a partir do detalhamento dos valores com gasto elétrico de cada alternativa estudada:

**Tabela 10 - Resultado comparativo da simulação energética - custo anual**

Custo Anual		
Modelo Chiller	Alternativa #1	Alternativa #2
1:YMC2-S1758AB	R\$ 570.273,00	R\$ 807.478,00
2:YMC2-S1758AB	R\$ 563.013,00	R\$ 569.896,00
3:YMC2-S1758AB	R\$ 215.661,00	R\$ 101.285,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.348.947,00</b>	<b>R\$ 1.478.659,00</b>
<b>REDUÇÃO ANUAL</b>	<b>R\$ 129.712,00</b>	

**Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)**

Ao abordar os valores anuais, é evidente que a Alternativa #1 detém uma eficiência econômica superior em comparação com a Alternativa #2; mesmo as duas simulações operando no mesmo cenário com os três *Chillers* idênticos há esta disparidade já que suas lógicas de funcionamento são diferentes conforme a oscilação da carga térmica requerida pela edificação.

É possível verificar que existe uma redução de R\$129.712,00 por ano, correspondente à aproximadamente 9% de redução no gasto elétrico da Alternativa #2.

Avaliando por outra perspectiva, na Tabela 11 demonstra a discrepância entre o desempenho de cada sistema quando avaliado o SPLV total médio de cada sistema. A Alternativa #1 obteve um COP de 7.754 kW/kW (0.454 kW/TR) enquanto a #2 foi 6.563 kW/kW (0.536 kW/TR), uma diferença em torno de 15% na eficiência energética do sistema. Isso ocorre tendo em vista a lógica de funcionamento das duas automações e o escalonamento dos *Chillers*, enquanto na opção #1 opera em cargas parciais onde o equipamento usufrui das melhores eficiências energéticas (conforme demonstrado na Tabela 4), a segunda opção sempre opera os equipamentos na lógica mestre e escravo, não buscando o ponto ótimo de operação do sistema.

**Tabela 11 - Resultado comparativo da performance dos sistemas anual**

<b>Eficiência SPLV</b>		
<b>Modelo Chiller</b>	<b>Alternativa #1</b>	<b>Alternativa #2</b>
<b>1:YMC2-S1758AB</b>	7.838 COP	6.904 COP
<b>2:YMC2-S1758AB</b>	7.824 COP	7.627 COP
<b>3:YMC2-S1758AB</b>	7.329 COP	4.223 COP
<b>TOTAL</b>	<b>7.754 COP</b>	<b>6.563 COP</b>

Fonte: Software YorkCalc, 2021 – estudo TCC\_REV01 (Modificado)

## Capítulo 5

### Conclusão

A partir do estudo comparativo e dos dados analisados, é possível concluir que a lógica de funcionamento da automação do sistema de ar condicionado, do empreendimento idealizado na cidade do Rio de Janeiro com carga térmica total de 5274 kW (1500TR) que utiliza 3 *Chillers* condensação à água com compressor centrífugo e de mancal magnético de mesma capacidade com 1758 kW (500TR), possuem melhor eficiência energética quando são utilizados em cargas parciais com automação buscando a otimização constante da performance, conforme foi exemplificado na Alternativa #1.

A Alternativa #1 adquiriu uma redução no consumo elétrico de aproximadamente 9% quando comparado com a Alternativa #2, transformando em valores foi uma diminuição no consumo de R\$129.712,00 por ano. Esta lógica de operação também obteve aproximadamente 15% de otimização no desempenho do SPLV.

E, considerando a vida útil estimada destes *Chillers* centrífugos conforme ASHRAE (como foi dito anteriormente, cerca de 25 anos) obtém-se uma economia de R\$ 3.242.800,00 durante seu tempo de operação, capital economizado para ser planejado um novo *retrofit* na CAG no futuro.

## **Sugestões para trabalhos futuros**

Para projetos futuros é possível realizar novas análises complementares para este seguimento de estudo. Inicialmente, uma análise verificando os demais equipamentos da CAG como: bombas, válvulas e a(s) torre(s) de resfriamento como uma visão mais aprofundada do trabalho, gerando uma possibilidade de maior retorno financeiro dependendo de diversos fatores destes componentes, desde tecnologia disponível até lógica de operação.

Outra sugestão é limitar novamente o estudo apenas nos *Chillers*, porém utilizando outros modelos como compressores de velocidade fixa em comparação à velocidade variável (inverter), até mesmo compressores de outros modelos como tipo parafuso ou *scroll*.

## Referências Bibliográficas

- [1] LOPES, A. <https://www.fiesp.com.br/sindratar/>. [Online] Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/sindratar/noticias/o-uso-do-ar-condicionado-e-o-consumo-de-energia-eletrica/>, 2017. [Acesso em 22/Agosto/2021].
- [2] LOPES, M. A. **Projeto de Simulação de Resfriadores de Líquido**. 139 f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- [3] Transcalor, s. d. <http://www.transcalor.com.br/>. [Online] Disponível em: <http://www.transcalor.com.br/chiller-torre-resfriamento/chiller-ar-condicionado>. [Acesso em 15 Agosto 2021].
- [4] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. **ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment (SI Edition)**. Atlanta, USA, 2016.
- [5] CLETO, L. T. **Ar condicionado guia prático sobre sistemas de água gelada**. Brasília: Apostila do Ministério do Meio Ambiente e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2017.
- [6] CLETO, L. T. **Ar condicionado : manual sobre sistemas de água gelada : conceitos sobre chillers e sistemas de água gelada**. Brasília: Apostila do Ministério do Meio Ambiente e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2017.
- [7] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1/2008**. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. s.l., 2008.
- [8] MACHADO, L. E. A. **Projeto de controle e automação predial para um sistema híbrido de climatização com alta eficiência energética**, xvii, 113 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica). Brasília. Universidade de Brasília, 2015.
- [9] SCHELLER, C. **Análise de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações: um estudo em Florianópolis**. Dissertação (Graduação) - Programa de graduação em Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.
- [10] AHRI Standart 550/590 (I-P). **Performance rating of water- chilling packages using the vapor compression cycle**. s.l. , 2015.

- [11] AHRI Standart 551/591 (SI). **Performance rating of water- chilling packages using the vapor compression cycle.** s.l. , 2015.
- [12] SILVA, P. J. G. d. [jesuegraciliano.wordpress.com](http://jesuegraciliano.wordpress.com). [Online] Disponível em: <https://jesuegraciliano.wordpress.com/2018/05/05/a-bela-historia-da-refrigeracao/>, 2018. [Acesso em 22 Agosto 2021].
- [13] CREDER, H. **Instalação de ar condicionado (6ª edição)**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.
- [14] JOHNSON CONTROLS, s.d. **Catálogo de chiller da York**., [Online] Disponível em: [http://www.johnsoncontrols.com/pt\\_br/buildings/hvac-equipment/chillers](http://www.johnsoncontrols.com/pt_br/buildings/hvac-equipment/chillers). [Acesso em 20 Agosto 2021].
- [15] ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Curso Básico de Refrigeração**. São Paulo, Brasil, 2020.
- [16] STOECKER, W. F. e. J. J. W. **Refrigeração e Ar condicionado**. São Paulo: MAKRON BOOKS DO BRASIL EDITORA LTDA, 1985.
- [17] SGT. [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). [Online] Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>, 2021. [Acesso em 10 Agosto 2021].
- [18] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**.. Atlanta, USA, 2013.
- [19] CRUZ, V. . D. A. **Análise técnico-econômica do sistema de termoacumulação da Procuradoria Geral da República**: um estudo em Brasília. 2018. Dissertação (Graduação) - Programa de Graduação na faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 2018.

# ANEXOS

## A. Dados de Desempenho dos *Chillers* Seleccionados



### YMC<sup>2</sup> CHILLER PERFORMANCE SPECIFICATION

Unit Tag	Qty	Model No.	Net Capacity (kW)	Power	Refrigerant
CH-1	1	YMC2-S1758A B	1758	380/3/60.0	R-134a

Unit Data	Evaporator	Condenser
Compressor Model: M2C-246FAC	Model: EB3310-371-BS1-2FSL	Model: CB2910-471-DS1-2FSL
EWT (°C):	12.00	30.00
LWT (°C):	7.00	35.00
Flow Rate (l/s):	83.84	98.85
Pressure Drop (kPa H2O):	58.1	42.7
Fluid Type (%):	WATER	WATER
Circuit No. of Passes:	2	2
Fouling Factor (m <sup>2</sup> K / kW):	0.01800	0.04400
Tube No. / Description:	371 - 0.025" Turbo-ESP Copper (3/4")	471 - 0.025" Enhanced Copper (3/4")
Design Working Pressure (bar):	10.3	10.3
Entering Water Nozzle @ Location:	L	L
Leaving Water Nozzle @ Location:	L	L
Water Box Weight, ea (kg) :	149*	133*
Cover Plate Weight , ea (kg):	N/A	N/A
Return Head Weight (kg):	80	65
Water Weight (kg):	407	445
Water Volume(liters):	408	446
Min Flow Rate (l/s):	37.00	52.15
Max Flow Rate (l/s):	148.0	189.6

Performance Data		Electrical Data		Other	
Heat Rejection Capacity(kW):	2054	Job FLA:	456	Operating Wt. (kg):	8471
Job KW:	286.9	Min Circuit Ampacity(Amps):	570	Per Isolator (kg):	2118
COP.R:	6.129	Max Fuse/Breaker:	1000	Refrigerant Wt. (kg):	416
IPLV.SI (as COP):	10.53			Compressor Wt. (kg):	1356
				Ship Wt (kg):	7399
Isolation Valves:	YES				
		Type Starter: VSD w/ filter			
		VSD Model: HYP0612XHC30B-40B			

Notes:

\* with applicable water flanges