



ALEXANDRE SAMPAIO DA SILVA

**ESTRUTURA DE UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA E SUA
APLICAÇÃO**

Campinas
2019

ALEXANDRE SAMPAIO DA SILVA

ESTRUTURA DE UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA E SUA APLICAÇÃO

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

Orientadora: Carla Palma

Campinas
2019

ALEXANDRE SAMPAIO DA SILVA

ESTRUTURA DE UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA E SUA APLICAÇÃO

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

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Campinas, 28 de novembro de 2019

Dedico este trabalho para toda minha família, especialmente meus pais, esposa, filho, irmãs e amigos, que acreditaram na minha vitória desde o início dessa jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a todos os familiares e amigos que estiveram nos apoiando durante essa jornada acadêmica, aos colegas de turma, ao corpo docente, que ao longo do curso nos apoiou em todo desenvolvimento do curso, em especial, a orientadora que contribuiu de forma efetiva na conclusão deste trabalho.

“Nós somos aquilo que fazemos repetidamente.
Excelência, então, não é um modo de agir, mas um
hábito.” (*Aristóteles*) .

SILVA, Alexandre Sampaio. Estrutura de uma central de água gelada e sua aplicação. 2019. 34 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Anhanguera, Campinas, 2019.

RESUMO

O trabalho visa o desenvolvimento de uma pesquisa sobre o conceito de como é estruturada uma central de água gelada, dando ênfase em sua principal aplicação, no que se refere à climatização de ambientes, seja para conforto ou para um determinado processo em que devem ser controlada a temperatura e a umidade.

Essa pesquisa demonstra de forma sucinta a estrutura de uma Central de Água Gelada, teorizando o *Chiller*, que é uma das principais máquinas utilizadas para esse sistema, descrevendo os componentes que formam esse sistema e os métodos de operação, manutenção e controle.

Este trabalho foi importante, no que diz respeito a pesquisa bibliográfica, em que uma vasta bibliografia sobre esse tema pode ser encontrada, levando em consideração as especialidades que envolvem a pesquisa, como termodinâmica, transferência de calor e massa.

Palavras chave: Climatização; termodinâmica; transferência; calor.

SILVA, Alexandre Sampaio. Structure of a Cold Water plant and its application.. 2019. 34 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Anhanguera, Campinas, 2019.

ABSTRACT

The work aims to develop a research on the concept how a cold water plant is structured, emphasizing its main application, which refers to the climatization of environments, either for comfort for a certain process in which it should be controlled temperature and humidity.

This research briefly demonstrates the structure of an Ice Water Plant, theorizing the Chiller, which is one of the main machines used for this system, describing the components that make up this system and the methods of operation, maintenance and control.

This work was important, regarding the bibliographic research, in which a vast bibliography on this subject can be found, considering the specialties that involve the research, such as thermodynamics, heat and mass transfer, theses and monographs related to the subject.

Keywords: climatization; thermodynamics; transfer; heat.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Desenho esquemático dos primeiros <i>Chillers</i> , com o compressor montado sobre o condensador, com conexões de sucção e descarga na horizontal.	14
FIGURA 2 – Ciclo de compressão a vapor de um <i>Chiller</i>	15
FIGURA 3 – Fluxograma esquemático de <i>Chiller</i> com ciclo de absorção de simples efeito.	17
FIGURA 4 – Esquema simplificado de um sistema de água gelada	19
FIGURA 5 – Representação do Funcionamento e dos componentes básicos de uma unidade Fan Coil.	21
FIGURA 6 - Processo de evaporação em um <i>Chiller</i>	23
FIGURA 7 – Processo de condensação em um <i>Chiller</i>	24
FIGURA 8 – Fluxograma esquemático do funcionamento de um sistema de resfriamento de água de condensação.	26
FIGURA 9 – Approach no condensador e no evaporador de um <i>Chiller</i>	28
FIGURA 11 – Fluxograma esquemático de um sistema de água gelada com circuito primário e secundário e termocumulação de água gelada	29

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BACD	Bomba de Água de Condensação
BAGP	Bomba de Água Gelada Primária
BAGS	Bomba de Água Gelada Secundária
CAG	Central de Água Gelada
COP	Coeficiente de Performance

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 CONCEITUALIZAÇÃO DO <i>CHILLER</i> EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA	14
2.1 <i>CHILLERS</i> COM CICLO DE COMPRESSÃO A VAPOR	15
2.2 <i>CHILLER</i> COM CICLO DE ABSORÇÃO.....	16
3 TOPOLOGIA E COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ÁGUA GELADA.....	19
3.1 BOMBAS HIDRÁULICAS.....	20
3.2 FANCOIL.....	20
3.2 TROCADORES DE CALOR.....	21
3.2.1 EVAPORADOR	22
3.2.2 CONDENSADOR	23
3.3 TORRES DE RESFRIAMENTO.....	24
4 CONCEITOS DO PROJETO, OPERAÇÃO , MANUTENÇÃO E CONTROLE.....	27
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Na busca da eficiência energética nas aplicações dos processos de resfriamento, o sistema de água gelada é destinado na aplicação de ar condicionado para conforto térmico e para vários tipos de processos industriais, no que diz respeito a resfriamento, desumidificação de ar, resfriamento de líquidos, gases, alimentos, entre outros, que requerem processos com reações exotérmicas.

O uso de sistemas de refrigeração é indispensável em nosso cotidiano, seja de forma direta ou indireta, e, em grandes aplicações, a busca da eficiência é necessária para a redução do consumo de energia, conforto ao usuário e que se atenda o objetivo dos processos de resfriamento onde são empregados, levando em consideração aspectos econômicos e ambientais.

A pesquisa propôs em esclarecer os conceitos e componentes de um sistema de água gelada, destacando suas principais características e aplicações, bem como os desafios e oportunidades relacionadas a esse tema. Diante desse contexto, a pesquisa teve como premissa, responder a seguinte pergunta: De que forma é estruturada uma CAG (Central de Água Gelada), desde o projeto, construção e operação? E quais os conceitos ligados a eficiência desse sistema?

O objetivo da pesquisa foi de realizar um levantamento bibliográfico sobre como é estruturada uma CAG (Central de Água Gelada) e apresentar os principais conceitos que são adotados pelos setores onde são aplicados essa estrutura, bem como seus componentes e topologia, que devem atender o sistema e assegurar que o processo seja eficiente.

Nos capítulos, foram apresentados os objetivos específicos, que respectivamente se resumiram em: Conceitos de *Chiller* em sistemas de água gelada, teorizando essa máquina que é essencial para um sistema de água gelada, no capítulo seguinte foi apresentado topologias e componentes que formam um sistema de água gelada e, finalizando, apresentado alguns dos conceitos de projeto, bem como práticas relacionadas ao desempenho eficiente dos componentes do processo, e a operação, manutenção e controle de um sistema de água gelada.

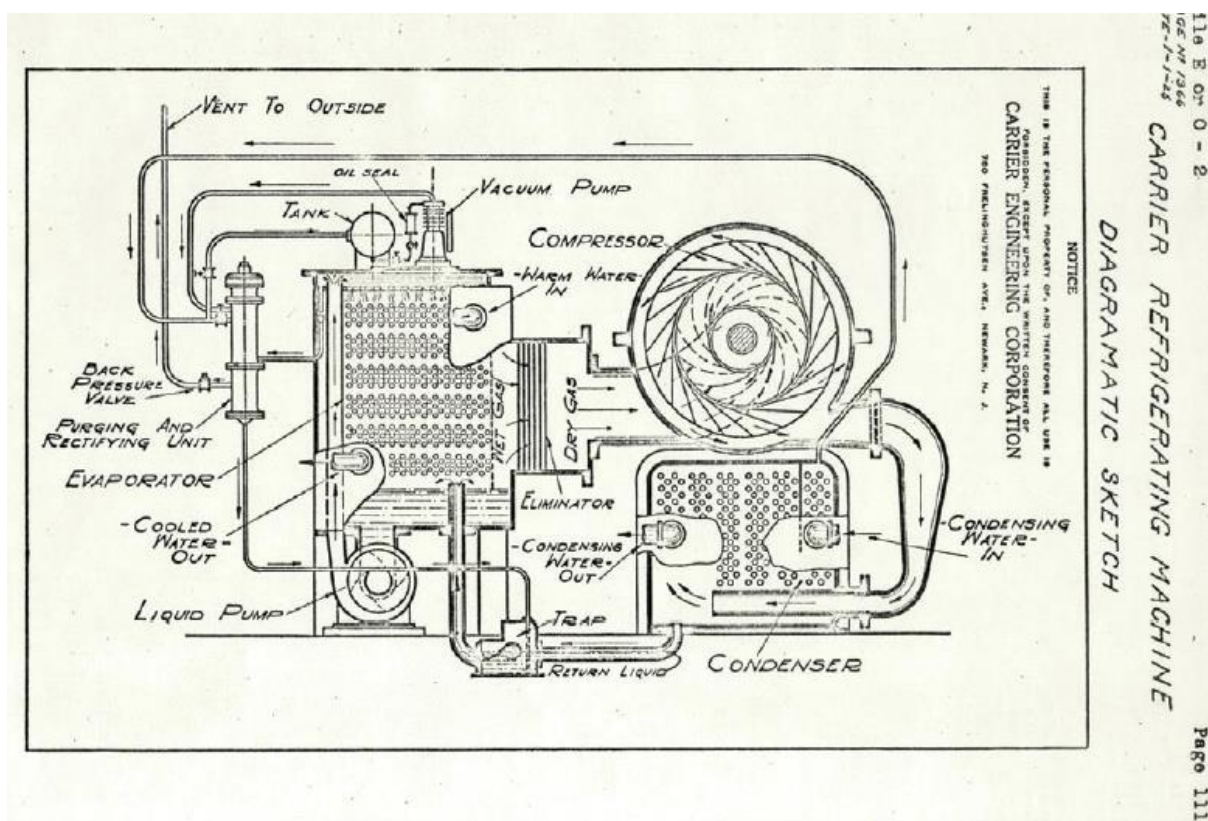
Para elaboração desta pesquisa, foi utilizada, além de livros de termodinâmica, transferência de calor e massa e de conceitos de refrigeração, foram utilizadas publicações catalogadas pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) que

atende requisitos para atender um acordo do Protocolo de Montreal, incluindo também pesquisas acadêmicas como teses, monografias e sites confiáveis devidamente referenciados que apresentam conteúdos que relacionam com a pesquisa.

2 CONCEITUALIZAÇÃO DO CHILLER EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

De acordo com Wickert (2011, p 208) “quando projetam máquinas que consomem e produzem energia, os engenheiros mecânicos exploram as propriedades do calor para manipular a temperatura e movimentar a energia entre lugares”. Diante desse conceito, em um sistema de água gelada, uma dessas máquinas que são utilizadas é o *Chiller*.

Figura 1 – Desenho esquemático dos primeiros *Chillers*, com o compressor montado sobre o condensador, com conexões de sucção e descarga na horizontal.



Fonte: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p.17)

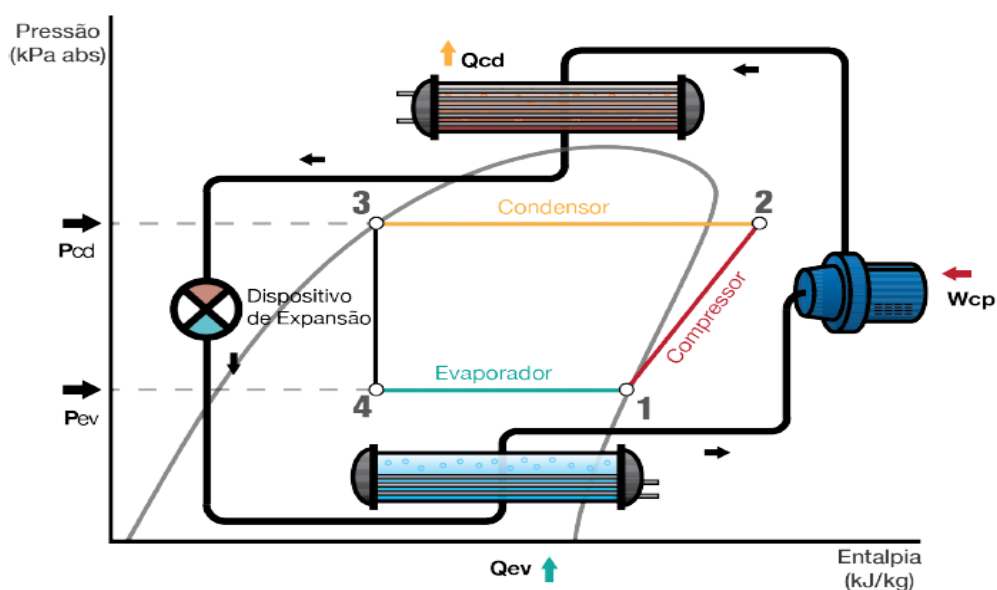
Esse tipo de máquina permite uma transferência de calor com um alto rendimento, podendo ser classificado em *Chiller* com compressão de vapor ou com ciclo de absorção, sendo que na compressão a vapor, [...] é realizado pela circulação contínua do refrigerante através de uma série de componentes. (MICHAEL J. MORAM, 2011, p 450.)

2.1 CHILLERS COM CICLO DE COMPRESSÃO A VAPOR

Os componentes que formam um *Chiller* de compressão a vapor, basicamente são o motor-compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador. Esse conjunto ainda pode ser incluído outros elementos, como economizadores, sub resfriador de líquidos e turbina de expansão, e, dependendo do tipo de compressor, do condensador, que pode ser a ar ou a água, do refrigerante usado no sistema, outros componentes também são acrescentados, [...] tais como recipiente de líquidos, separador de líquido, resfriador de óleo, separador de óleo, dispositivo de retorno de óleo, bomba de óleo, unidade de purga de incondensáveis... (Brasil.Ministério do Meio Ambiente, 2017,p 21).

A Figura 2 mostra um diagrama de Pressão vs. Entalpia em circuito de refrigeração, apresentado em um diagrama do ciclo de compressão a vapor.

Figura 2 – Ciclo de compressão a vapor de um *Chiller*



Fonte: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p.21)

Na compressão, conforme a Figura 2 acima, o fluido refrigerante, que está na fase de vapor, se direciona a sucção do compressor, elevando a pressão e temperatura do fluido, proveniente do trabalho de compressão, que é realizado por compressores. Em termos termodinâmicos, Segundo Moran e Shapiro (2017), diz que [...] o refrigerante é então comprimido adiabaticamente do estado 1, em que ele

se apresenta como uma mistura de duas fases líquido-vapor, para o estado 2 em que é vapor saturado. (MICHAEL J. MORAM, 2011, p.450).

Após a compressão, que é realizada por um compressor, o fluido refrigerante segue para o condensador, onde ocorre uma rejeição de calor a temperatura constante, no ponto 2 - 3 da Figura 2, e, de acordo com Moran e Shapiro (2017), ele [...] “muda de fase de vapor saturado para líquido saturado como resultado da transferência de calor a temperatura T_H .” (MICHAEL J. MORAM, 2011, p.450).

Referente ao ponto 3 - 4, o fluido refrigerante que está condensado, entra no evaporador introduzido por um dispositivo de expansão, que tem o objetivo de reduzir a pressão do fluido refrigerante, resultando numa evaporação parcial, diminuindo então a temperatura do fluido.

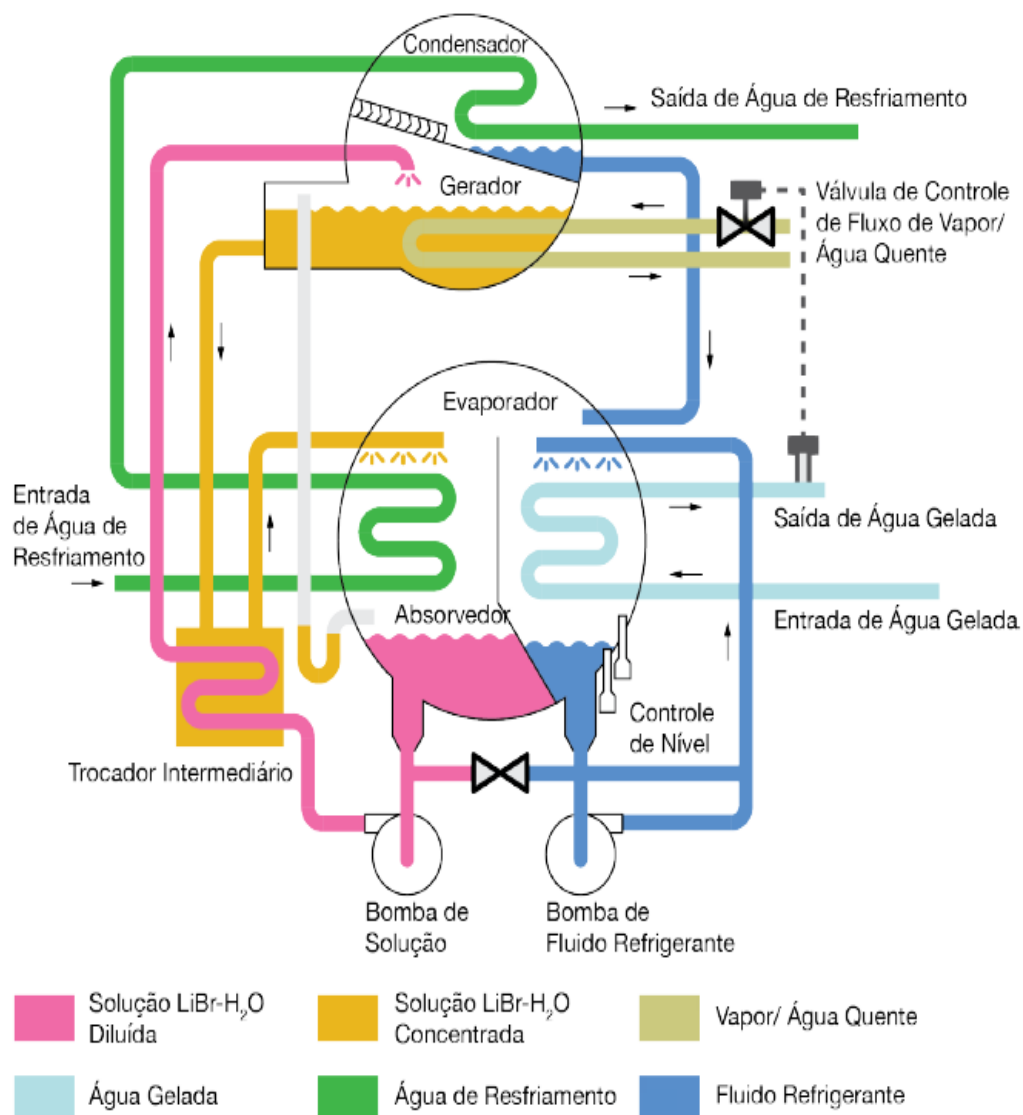
No evaporador, no ponto 4 – 1 da Figura 2 é onde o fluido refrigerante se transforma de líquido para vapor, através do processo de evaporação. Segundo Torreira, [...] “o evaporador é o elemento, através do qual, a carga de calor da substância a ser resfriada é transferida para o refrigerante, sendo absorvida por este fluido, principalmente como calor latente, durante o processo de evaporação”. (Torreira, 1979).

2.2 CHILLER COM CICLO DE ABSORÇÃO

Uma das diferenças entre o ciclo de compressão a vapor e o de absorção, basicamente é que o de absorção não usa a compressão do vapor para elevar a pressão do fluido refrigerante.

O processo de elevação de pressão do fluido refrigerante é realizado por meio de uma reação físico-química, que é a absorção do fluido refrigerante no estado vapor a baixa pressão (na saída do evaporador) por uma substância líquida, chamada de fluido absorvente, seguido de um processo mecânico de bombeamento da solução líquida rica em fluido refrigerante. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017 p 27).

Figura 3 – Fluxograma esquemático de *Chiller* com ciclo de absorção de simples efeito.



Fonte: (CARRIER CORPORATION, 2005)

Na Figura 3, ilustra um fluxograma de um sistema de refrigeração por absorção, e é possível perceber que nesse ciclo, não se usa um compressor, ele é substituído pelo absorvedor, pela bomba e o gerador, percebe-se que nesse processo, é usado uma fonte de alta temperatura, que pode ser um fluxo de vapor ou água quente, fluido esse que pode ser aproveitado de outro processo industrial.

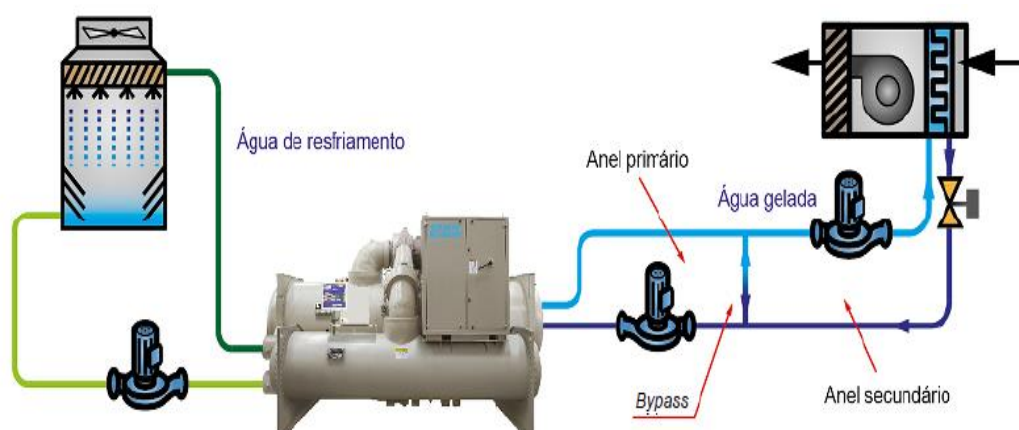
O líquido que vai ser resfriado, passa pelo evaporador onde é resfriado pelo processo de transferência de calor pelo fluido refrigerante que está na fase líquida e interligado a esse evaporador, encontra-se o absorvedor, onde o fluido que sai do

evaporador é absorvido por esse líquido denominado de absorvente, e então, esse fluido é bombeado a uma pressão mais alta chegando no gerador de vapor, onde é aquecido por uma fonte externa de calor para o ciclo de absorção, o fluido evapora e separa da solução absorvente, logo, esse [...] fluido refrigerante vapor superaquecido segue para os processos de condensação, expansão e evaporação, da mesma maneira que no ciclo de compressão a vapor. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 27).

3 TOPOLOGIA E COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ÁGUA GELADA

Esses sistemas para resfriamento de água gelada, que são unidades compactas, sendo o seu principal componente, o *Chiller*, descrito no capítulo anterior, também são inseridos equipamentos que completam essa unidade, conforme a figura 4, que são [...] montados em base compacta única (skid) e que necessitam apenas de interligações hidráulicas (como o circuito de bombeamento de água gelada e água de resfriamento, quando aplicável) e interligações elétricas para se interligarem ao sistema. (B823a Brasil. Ministério do Meio Ambiente., 2017, pag 15.)

FIGURA 4 – Esquema simplificado de um sistema de água gelada



FONTE: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 74)

Dependendo da aplicação, o sistema pode ser direto ou indireto, no caso de um sistema de água gelada, denomina-se sistema indireto, no qual um *Chiller*, que é composto de trocadores de calor, é interligado com bombas hidráulicas que circulam um fluido secundário:

O fluido secundário é bombeado e circula por uma rede hidráulica (tipicamente um circuito hidrônico fechado) e, após passar pela serpentina de resfriamento (ou aquecimento) do ar, retorna para o trocador de calor do sistema de refrigeração onde é resfriado pelo fluido frigorífico que evapora em uma temperatura mais baixa (ou no caso de aquecimento, que condensa em uma temperatura mais elevada). (B823a Brasil. Ministério do Meio Ambiente., 2017, pag 23.)

3.1 BOMBAS HIDRÁULICAS

As bombas hidráulicas são dispositivos essenciais para o bombeamento do fluído, utiliza-se nesses sistemas bombas centrífugas, são máquinas de fluxo, e , segundo Fox, “é um dispositivo que realiza trabalho sobre um fluído ou extrai trabalho (ou potência) de um fluído”. (Robert W. Fox, 2006, p 491.).

No caso do sistema de água gelada, as bombas centrífugas realizam um trabalho sobre o fluído, mantendo uma vazão adequada para cada trocador, no trocador de água gelada, a vazão não interfere tanto no desempenho do *Chiller*, pois, quando for [...] menor a vazão de água gelada, menor a velocidade nos tubos e menor o coeficiente de transferência de calor do lado da água. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 68.).

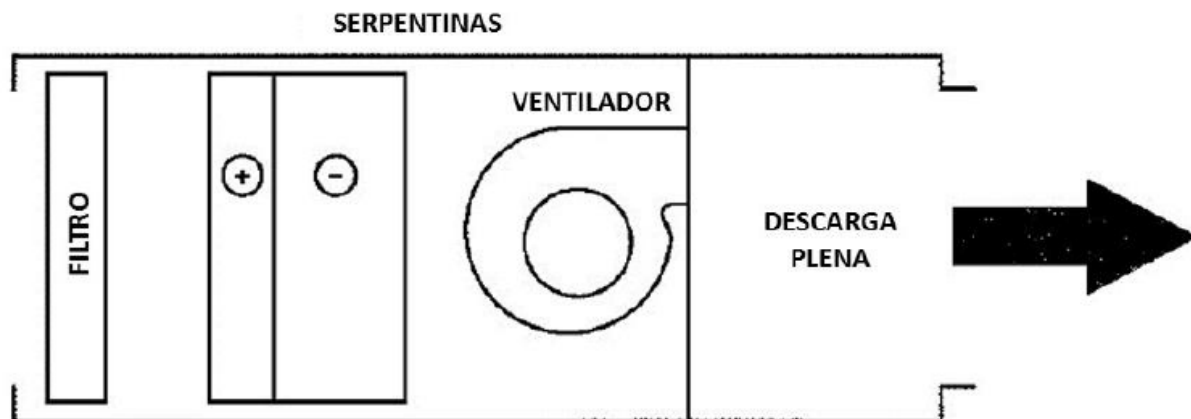
No caso da vazão da água de resfriamento, a água é responsável por retirar o calor do fluído refrigerante, no trocador do condensador, e, uma baixa vazão pode impactar o funcionamento do *Chiller*, [...] pois haverá uma aumento na temperatura de saída e na temperatura de condensação. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 68).

O circuito de bombeamento de água gelada, ainda pode ser composto por duas bombas, sendo uma BAGP e uma BAGS, em conjunto de válvulas e tubulações, como esquematizado acima na figura 4, no caso de uma bomba de água gelada primária, o projeto é [...] dimensionado com vazão constante para atender os *Chillers*, em circuito restrito á área da central de água gelada um conjunto de bombas de água gelada do circuito secundário, dimensionado com vazão variável. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 79).

3.2 FANCOIL

No circuito de água gelada de uma CAG, a água gelada que vem do resfriador, é bombeada para um equipamento denominado fancoil, responsável pelo resfriamento do ambiente, em que, segundo Junior, “O ventilador recircula o ar do ambiente através de suas serpentinas que retiram o calor deste ar e devolvem para o ambiente”. (MARTORELLI JUNIOR, 2015, p 35).

FIGURA 5 – Representação do Funcionamento e dos componentes básicos de uma unidade Fan Coil.



Fonte: (ASHRAE, 2000)

Na figura 5, é representada uma esquemática de um fancoil, esse equipamento que compõe uma CAG, fica localizado nos ambientes que serão resfriados, e podem ser encontrados nos mercados de vários modelos, a fim de se adaptar ao ambiente que será instalado, além disso, eles [...] dispõem ainda de dispositivos de controle de temperatura e fluxo do ar insuflado nos ambientes. (ASHRAE, 2000).

3.2 TROCADORES DE CALOR

Os trocadores de calor são fundamentais em um sistema de água gelada, no qual fazem parte do conjunto da máquina denominada *Chiller*, onde ocorrem os processos de transferência de calor, esse [...] processo de troca de calor entre dois fluídos que estão em diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida ocorre em muitas aplicações de engenharia. (FRANK P. INCROPERA, 2003).

Os trocadores de calor são responsáveis pela evaporação e condensação do circuito de refrigeração, [...] por meio deles que os *Chillers* se conectam com o circuito de água gelada e o circuito de água de resfriamento ou com o ar externo, (dependendo do tipo de condensador do Chiller). (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 35).

3.2.1 Evaporador

Os evaporadores estão diretamente ligados nos sistemas de resfriamento e desumidificação, além das aplicações que ocorrem diretamente, como [...] congeladores de placas, a maioria dos evaporadores resfria ar ou líquidos como água, salmouras etc., os quais serão os agentes de resfriamento no processo. (W.F.Stoecker, 2002, pag 112).

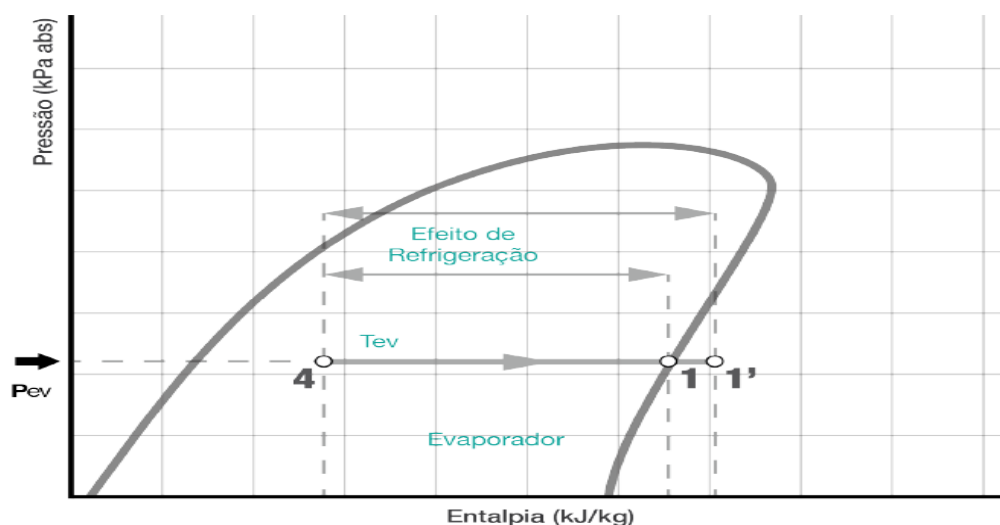
No caso de uma CAG, os evaporadores usados na aplicação, onde a água passa pelos tubos trocando o calor com o fluido refrigerante, [...] conhecidos como “inundado”, apresentam o líquido escoando pelo interior dos tubos, enquanto o refrigerante muda de fase no lado da carcaça. (W.F.Stoecker, 2002, p 113).

Esse processo de evaporação pode ser classificado como do tipo inundado ou através de expansão seca, no [...] evaporador “inundado” é disposto com um separador de líquido compensador localizado acima da serpentina, de modo que o interior do evaporador permaneça inundado com refrigerante... (Dias, 2012,p 24).

Já no [...] processo de evaporação por expansão seca, não requer um separador de líquido, pois o fluido refrigerante sai do evaporador no estado de vapor superaquecido... (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 22).

Na figura 6, em um diagrama de pressão versus entalpia, no ponto 1 do diagrama, o título, é igual a 1, sendo [...] uma mistura bifásica líquido vapor, a razão entre a massa de vapor presente e a massa total da mistura é seu **título**, x . (MICHAEL J. MORAM, 2011, p 74). Ainda na figura abaixo, no 1', temos o [...] **vapor superaquecido**, uma vez que o sistema estaria a uma temperatura superior à temperatura de saturação correspondente para a pressão dada. (MICHAEL J. MORAM, 2011, p 75).

FIGURA 6 - Processo de evaporação em um Chiller



FONTE: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, P 22)

3.2.2 Condensador

Dentre os modelos empregados em um sistema de refrigeração, são os condensadores resfriados a ar, onde, segundo Stoecker, “o refrigerante se condensa rejeitando o calor, através de uma superfície aletada, para o ar ambiente, circulado por um ventilador, geralmente, do tipo axial”. (W.F.Stoecker, 2002,p 188). Dentre os tipos de condensadores usados em uma CAG, destaca-se o de carcaça/tubos, onde [...] o refrigerante se condensa na carcaça e a água circula pelos tubos. (W.F.Stoecker, 2002, p 188).

Na saída do compressor, o fluido refrigerante segue em vapor superaquecido para o condensador sendo resfriado e condensado, e nesse trocador de calor [...] que todo o ganho de energia térmica resultante da retirada de calor no processo de resfriamento de água gelada (no evaporador) e do calor de compressão é transferido para o meio exterior em que o elemento final será o ar externo ambiente. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017,p 24).

Esse processo de rejeição de calor, em um diagrama de pressão versus entalpia, mostra [...] que é expresso como a diferença de entalpia entre a entrada do fluido refrigerante no condensador vapor superaquecido no ponto 2r – o mesmo que a descarga do compressor) e a saída do fluido refrigerante no condensador. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017).

que retirou o calor do fluido refrigerante no condensador, deve ser resfriada, e, para tanto, segundo Cortinovis, “Devido à sua crescente escassez e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água “quente” que sai desses resfriadores deve ser reaproveitada.” (Giorgia Francine Cortinovis, 2006,p 1).

A torre de resfriamento é de essencial importância para uma CAG, ou qualquer tipo de sistema refrigeração, principalmente levando em consideração que em certos locais da instalação não se podem obter água proveniente de fontes naturais e [...] em que as preocupações ambientais impõem um limite à temperatura à qual a água de resfriamento pode ser devolvida a vizinhança. (MICHAEL J. MORAM, 2011, p 583).

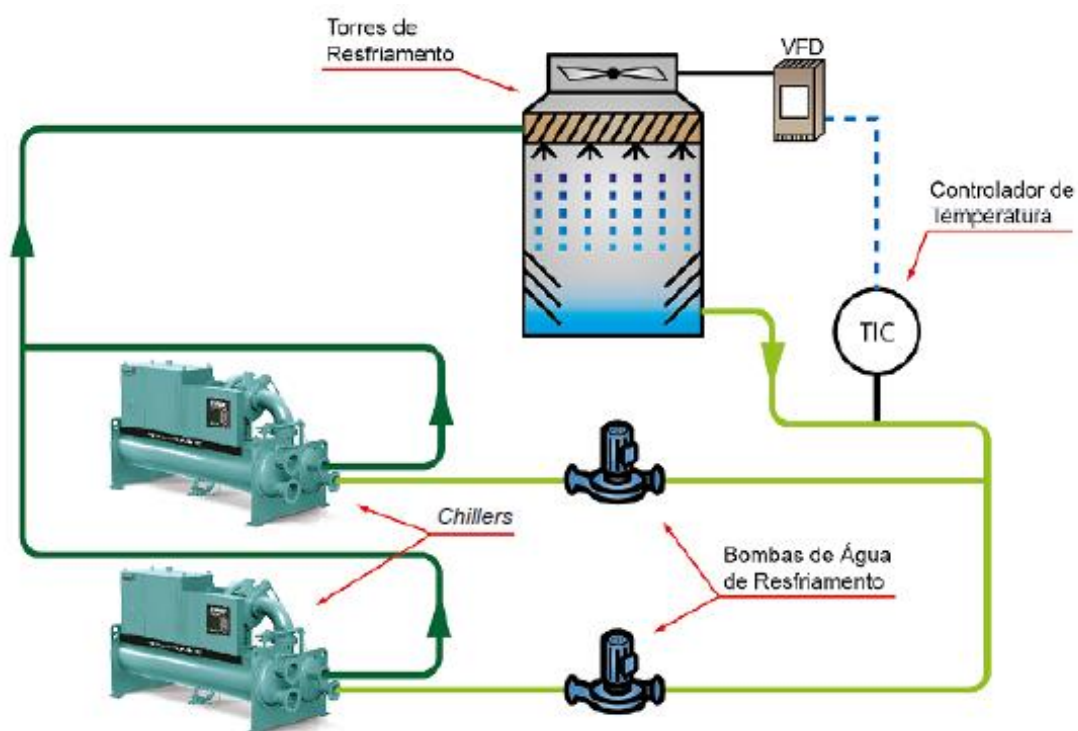
Ainda segundo Peragallo, “Uma torre de resfriamento de água é um equipamento de operação contínua que se utiliza de transferências de massa e energia para resfriar a água”. (Torreira, 1979, p 577).

De acordo com Cortinovis, “A água que sai dos resfriadores de processo é alimentada e distribuída no topo da torre de resfriamento, constituída de um enchimento interno para melhor espalhar a água”. (Giorgia Francine Cortinovis, 2006,p 2).

Em seguida, segundo Peragallo, “A temperatura da água se reduz ao entregar este calor ao ar que circula pela torre”. (Torreira, 1979, p 578).

A água que vem dos resfriadores são interligadas através de tubulações e válvulas, bombas e as torres de resfriamento, como mostrada em fluxograma na figura 8, que são [...] aplicados a uma determinada localidade, há uma condição ótima de mínima temperatura de saída de água de resfriamento das torres para a alimentação dos condensadores dos Chillers. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017 p 69).

FIGURA 8 – Fluxograma esquemático do funcionamento de um sistema de resfriamento de água de condensação.



FONTE: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017,p 70)

4 CONCEITOS DO PROJETO, OPERAÇÃO , MANUTENÇÃO E CONTROLE

Para que um sistema seja eficiente, é necessária relacionar a energia térmica fornecida e a energia elétrica que é necessária para que ocorra o processo, sendo assim é [...] como a relação entre a energia útil, que é o objetivo do ciclo, e a energia que deve ser paga para a obtenção do efeito desejado. (W.F.Stoecker, 2002, p 23).

Para avaliar a desempenho de um ciclo de refrigeração, definida a aplicação do sistema e objetivo que deve ser alcançado, no que refere em capacidade de refrigeração, [...] o parâmetro utilizado é o COP, Coeficiente de Performance. (MARTORELLI JUNIOR, 2015 p 26).

Para chegarmos a um resultado desse COP, relacionamos a potência térmica pela potência elétrica, resultando em [...] um número adimensional, porém, é comum expressar em kW/kWe para indicar a qualidade das potências na relação (térmica/ elétrica). (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017,p 49).

Quando falamos em ciclos de refrigeração, no caso dessa pesquisa sobre sistema de água gelada, o equipamento envolvido nesse ciclo é o Chiller, e, sendo a condensação resfriada a água tem a seguinte equação:

$$COP = \frac{Q_{ev}}{W_{cp}}$$

Nos trocadores de calor, onde ocorre a transferência de calor, seja no evaporador ou no condensador, é importante [...] a análise termodinâmica, através dos meios como o calor é transferido e do desenvolvimento das relações para calcular as taxas nas quais essa transferência ocorre. (FRANK P. INCROPERA, 2003, p 1).

Os mecanismos de origem físicos que são envolvidos nesse processo de transferência de calor, no que diz respeito a trocadores de calor do Chiller, são por meio da condução e convecção. Nos trocadores de calor, do tipo de expansão seca, que são mais utilizados numa CAG, em que o fluido refrigerante escoar por um casco entre os tubos onde passam água, a transferência de calor ocorre por meio da condução [...] que pode ser vista como a transferência de energia das partículas

mais energéticas para as partículas de menor energia, em um meio, devido às interações entre elas. (FRANK P. INCROPERA, 2003, p 2).

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Outro meio físico importante que ocorre nesses trocadores são por meio da convecção, que segundo Incropera

Além da transferência de calor devido ao movimento aleatório molecular (difusão), a energia também é transferida através do movimento global, ou macroscópico, do fluido. Esse movimento do fluido é associado ao fato de que, em qualquer instante, um grande número de moléculas está se movimentando coletivamente ou na forma de agregados de moléculas. (FRANK P. INCROPERA, 2003)

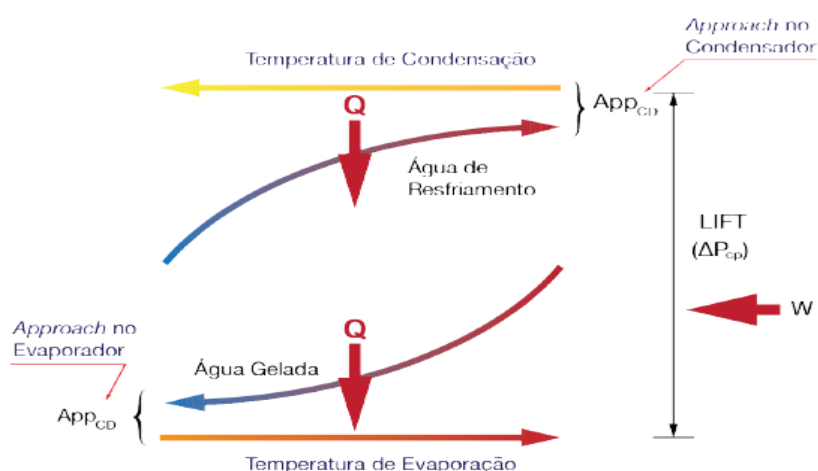
A equação que representa a transferência de calor por convecção é dada por:

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

Outro meio usado principalmente pela equipe de operação de um sistema de água gelada, e que é analisado o desempenho desses trocadores de calor de um Chiller e chamado de *approach*, no evaporador ele [...] indica o diferencial entre a temperatura de saída da água gelada e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017 p 67).

Na condensação é analisado pelo mesmo método onde o *approach*, [...] indica o diferencial entre a temperatura de condensação do fluido refrigerante e a temperatura de saída de água do resfriamento. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 67).

FIGURA 09 – Approach no condensador e no evaporador de um Chiller

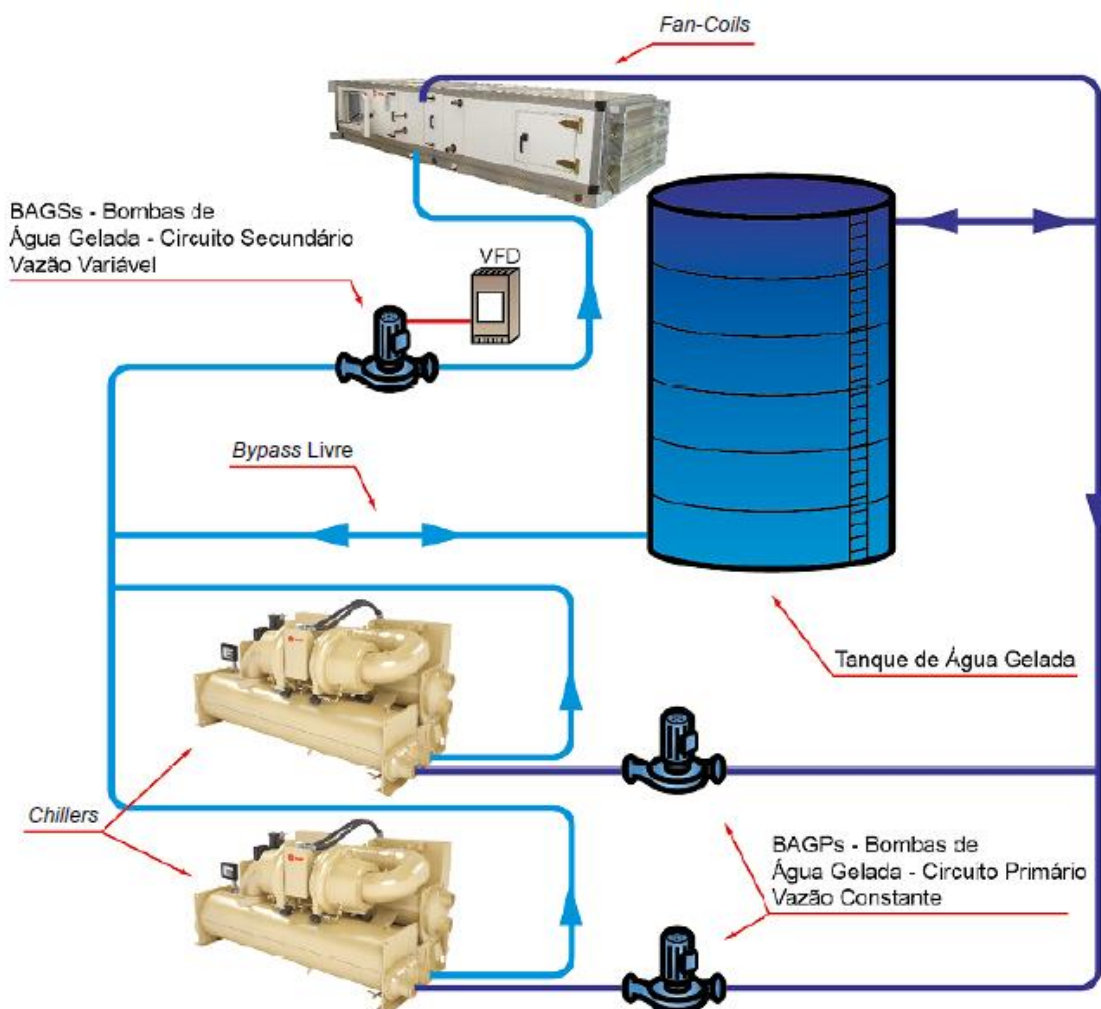


Fonte: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017 p 67)

Na figura 9, mostra o comportamento das temperaturas, durante o ciclo de refrigeração de um Chiller, onde é usado um termo de elevação conhecido como *lift*, que [...] é definido como a diferença de pressão do fluido refrigerante entre a descarga e a sucção no compressor do *Chiller*.

Outro sistema que pode ser usado, em sistema de água gelada, no que se refere a operação e controle de um processo eficiente são os sistemas de termocumulação, esses sistema consiste basicamente do acumulo de água gelada ou gelo em tanques, [...] capaz de eliminar a dependência entre a produção e consumo, ou entre a oferta e a demanda, o que permite operar os sistemas de condicionamento de ar de forma mais eficiente. (Barbosa, 2013, p 1).

FIGURA 11 – Fluxograma esquemático de um sistema de água gelada com circuito primário e secundário e termocumulação de água gelada



FONTE: (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 86)

Esse tanque de termocumulação, como esquematizado na figura 11, funciona em conjunto com as bombas primárias e secundárias, que são as BAGP e BAGS, e com o circuito de tubulações e válvulas, seu princípio de funcionamento se dispõe da seguinte forma:

Com o tanque instalado na tubulação de bypass entre os circuitos primário e secundário, durante o período normal de funcionamento do sistema de resfriamento, se a vazão no circuito primário for maior que o secundário, então o excesso de água gelada passa pelo tanque que vai acumulando água gelada e o retorno que sai do anel superior do tanque de termocumulação se junta com a vazão de retorno do circuito secundário para a sucção das BAGPs. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017,p 86).

Sendo que, quando a situação inverte, ou seja, quando a vazão do secundário for maior, [...] a diferença de vazão sai da parte inferior do tanque, que se mistura com o fluxo do circuito primário da saída dos Chillers para a sucção das BAGSs. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017p 86).

No que diz respeito ao controle e automação, quando a edificação, a aplicação dispõe de um sistema de automação predial, com supervisor e controladores de campo, [...] devem ser através da rede de comunicação de dados com a utilização de protocolo de comunicação aberto, preferencialmente BACNET ou MODBUS. (ABNT, 2008, p 30).

O controle e automação de um projeto controlam e monitoram equipamentos, bem como seus dispositivos de controle, [...] de modo a atender os requisitos de projetos (conforto, qualidade do ar, eficiência, etc.) e garantir a operação segura e estável, dentro das faixas operacionais previamente estabelecidas. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017, p 101).

Outro fator importante em um sistema de água gelada, e sua sequência de partida, onde as válvulas abrem, bombas ligam e em sequência o Chiller entra em operação, sendo que , quando o sistema está em automático,[...] todo sistema de água gelada opera sobre o controle do sistema de automação. (Brasil.Ministério do Meio Ambiente., 2017,p 124)

Quanto a uma operação eficiente e manutenção eficaz, segundo a ABNT, “Para garantir que cada parte da instalação seja executada e opere de acordo com os objetivos e requisitos do projeto devem ser exigidos no projeto a realização de um procedimento planejado e documentado”... (ABNT, 2018, p 30).

Um fator importante, quanto a manutenção de um sistema de água gelada, no que diz respeito a qualidade do ar que é refrigerado para atender o conforto térmico de edificações é o PMOC, e de acordo com a LEI N°13.589, DE 4 DE JANEIRO DE 2018, “Art. 1º Todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente devem dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle”.

Essa lei propõe, [...] a maximização da segurança, saúde, bem estar e o conforto dos ocupantes desse ambiente, levando se em conta as diversas fontes de poluentes de natureza biológica, química e física. (Garcia, 2018, s/n).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início da pesquisa, procurei mostrar os principais conceitos relacionados ao *Chiller*, que é uma máquina de refrigeração essencial a um projeto de uma Central de Água Gelada, de forma sucinta, através de uma pesquisa bibliográfica, foi descrito o seu funcionamento, citando principalmente os ciclos termodinâmicos dessas máquinas.

Procurei apresentar diferentes ideias de autores, no que diz respeito a topologia e componentes que formam um sistema de água gelada, e dentre os principais materiais bibliográficos utilizados, uma publicação do Ministério do Meio Ambiente, com três volumes, em que, apesar de o tema ter um vasto conteúdo a ser estudado, essas publicações conseguiram simplificar da melhor forma possível a estrutura de um sistema de água gelada, proporcionando uma orientação cronológica e direcionando a outros conteúdos bibliográficos.

Os sistemas de resfriamento, com centrais de água gelada, podem atender a diversos tipos de processo, neste trabalho, procurei realizar uma pesquisa em que, uma Central de Água Gelada atende um sistema de condicionamento de ar para ambientes, seja para o conforto, ou para controlar temperatura e umidade para um determinado processo, portanto, apresentei alguns conceitos do projeto, operação, manutenção e controle de uma CAG que atende diversos tipos de edificações de grande porte, no que diz respeito a condicionamento de ar.

REFERÊNCIAS

- Evapco. (2019). Acesso em 22 de Outubro de 2019, disponível em <https://www.evapco.com.br/pt-br: https://www.evapco.com.br/pt-br/products/torres-de-resfriamento-montada-de-fabrica/torre-de-resfriamento-sta>
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2008). NBR 16401-1:2008. **Controles e Automação**.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2018). **Ensaio e aprovação. NBR 16.1.1**.
- ASHRAE. (2000). ASHRAE Han book- **HVAC System and Equipament**. [s.n]. Atlanta.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2017). **AR CONDICIONADO - GUIA PRÁTICO SOBRE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO**. Brasília.
- Barbosa, F. F. (09 de Julho de 2013). **ANÁLISE COMPUTACIONAL DE CENTRAL DE ÁGUA GELADA COM TANQUE DE TERMOCUMULAÇÃO**. Brasília: Universidade de Brasília.
- Brasil.Ministério do Meio Ambiente. (2017). **AR CONDICIONADO - Manual sobre Sisttemas de Água Gelada. APLICAÇÕES - PROJETO, INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO, III**. Brasília: MMA.
- Brasil.Ministério do Meio Ambiente. (2017). **Manual sobre Sistemas de água Gelada. Conceitos sobre Chillers e Sistemas de água Gelada, I**, p. 109.
- CARRIER CORPORATION. (2005). *Chiller Application Guide - Fundamentals of Water and Air Cooled Chillers*.
- Dias, J. A. (Março de 2012). **Concepções em instalações frigoríficas em expansão direta versus sistemas inundados: análise energética das soluções**. 123. (T. F. Mecânica, Ed.) INSTITUO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.
- FRANK P. INCROPERA, D. P. (2003). **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa** (Vol. QUINTA). Rio de Janeiro: LTC.
- Garcia, L. C. **Plano de Manutenção , Operação e Controle - PMOC-** Aplicado à Escola de Ciências e Tecnologia da UFRG.2018.52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.
- Giorgia Francine Cortinovis, T. W. (2006). **Funcionamento de uma torre de resfriamento**. *Revista de Graduação de Engenharia Química*, São Paulo, SP,v.6, n.14, p.5-10.

MARTORELLI JUNIOR, Paulo Salvador. **Implantação de um sistema de controle de vazão em malha fechada para uma bomba secundária de água gelada do prédio da administração do Superior Tribunal de Justiça.** 2015 xiv 117f, il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) Universidade de Brasília, Brasília 2015.

MICHAEL J. MORAM, H. N. (2011). ***Princípios de Termodinâmica para Engenharia.*** Rio de Janeiro: LTC.

Robert W. Fox, A. T. (2006). ***Introdução à Mecânica dos Fluidos*** (Vol. Sexta). Rio de Janeiro: LTC.

Torreira, R. P. (1979). ***Refrigeração e ar condicionado.*** São Paulo: FULTON EDITORA TÉCNICA LTDA.

W.F.Stoecker, J. J. (2002). ***REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL*** (Vol. 2). São Paulo: BLUCHER.

Wickert, J. (2011). ***Introdução a Engenharia Mecânica.*** São Paulo: CENGAGE Learning.