

## ELABORAÇÃO DE PROJETO E ANÁLISE DE CUSTOS ENTRE DOIS SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

**Autor 1 – Leonardo Stuani Odyá**

144803@upf.br

**Autor 2 – Prof. Msc. Auro Candido Marcolan**

marcolan@upf.br

**Comissão Examinadora – Prof. Lucas Zavistanovicz**

### RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a análise de custos, através de uma planilha orçamentária detalhada, entre dois sistemas de ar condicionado (Sistema VRF e água gelada). Inicialmente, é apresentado um projeto contendo os dois sistemas em questão, sistema de ar condicionado VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) e sistema de água gelada, com todo o dimensionamento para o bom funcionamento de ambos. Após, com o projeto detalhado, contendo todos os itens, os mesmos são listados, e é elaborada uma planilha de custos com todos os itens dimensionados. Ao final, deseja-se avaliar, através da planilha de custos, a implementação dos dois sistemas, analisando os principais fatores impactantes no custo, e concluir qual sistema é mais adequado para a implementação na edificação analisada.

**Palavras chave:** Ar condicionado. VRF. Água gelada. Planilha de custos. Sistemas.

### 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que, atualmente, antes de adquirir qualquer produto, é feita uma ampla pesquisa de valores no mercado, buscando o produto ideal com um custo/qualidade adequado.

Neste trabalho, serão apresentados dois projetos de ar condicionado: o primeiro utilizando um sistema de ar condicionado VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) e o segundo contendo um sistema de água gelada. Os dois sistemas conterão os mesmos parâmetros de funcionamento, as mesmas marcas de referência e os mesmos equipamentos internos (evaporadores/intercambiadores de fluido), para que seja feita uma comparação adequada entre eles. Na realização do projeto, será feito todo o dimensionamento do sistema, desde a escolha dos equipamentos até o cálculo dos diâmetros das tubulações dos dois sistemas, através de *softwares* disponibilizados pelo fabricante dos equipamentos. Após a realização do projeto, será elaborada uma planilha orçamentária, detalhando todos os itens compostos no projeto, quantificando-os, e uma busca de preço dos itens no mercado.

Ao final, com a planilha orçamentária finalizada, os dois sistemas em questão poderão ser analisados, levando em consideração todo o funcionamento, o qual integrará os itens que

serão instalados, o custo, a manutenção e a vida útil dos equipamentos. Com os dados coletados, será efetuada a análise, concluindo qual sistema é mais adequado para a implementação na edificação analisada.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise de custos, através da planilha orçamentária, tendo como objeto de estudo dois sistemas de ar condicionado (Sistema VRF e água gelada).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificar os equipamentos e componentes dos sistemas;

Elaborar o projeto detalhado de ambos os sistemas, apresentando o sistema de funcionamento de ambos;

Elaborar, a partir dos resultados, a planilha orçamentária dos dois sistemas;

Analisar e avaliar o custo energético e o custo de implementação, definindo o sistema que melhor se adequa à edificação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração do Trabalho Final de Graduação I, foram feitos estudos conforme mostram os itens 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5. Já para a elaboração do presente trabalho, Trabalho Final de Graduação II, foram feitos estudos conforme os itens 2.6, 2.7 e 2.8.

### 2.1 HISTÓRIA DO AR CONDICIONADO

Em 1902, o engenheiro Willis Carrier teve o desafio de resolver um problema na qualidade de impressão de uma gráfica nos Estados Unidos da América, pois, devido à umidade do ar, o resultado das impressões estava abaixo do esperado.

Em 1902, Willis Carrier, um engenheiro americano, desenvolveu o que seria o precursor do ar condicionado. A gráfica Sacket & Wilhelms, no Brooklyn, Nova Iorque, sofria com a dilatação do papel em razão das altas temperaturas e da umidade do ar, o que fazia com que suas impressões saíssem com qualidade bem inferior ao

desejado. Para solucionar o problema, o jovem engenheiro projetou um equipamento que fazia o ar circular sob a água fria (figura 1), sendo resfriado através da troca de calor. Continuou trabalhando e o tornou capaz de controlar a umidade do ambiente, a circulação e limpeza do ar, além da temperatura (CARRIER, 2019, *apud* MORAIS PAZZE, 2020, p. 16).

Em 1904, Carrier conquistou o chamado “aparelho para o tratamento de ar”, que foi emitido em 1906. Em 1915, Carrier fundou a Carrier Engineering Corporation, na qual o aparelho passou a ser utilizado para o conforto humano, e não apenas pela indústria, o que foi um marco para sua popularização (CARRIER, 2019).

Figura 1 - Willis Carrier



Fonte: WILLIS, Carrier, 1902

Já em 1923, foram instalados os primeiros aparelhos de ar condicionado em locais públicos nos Estados Unidos da América. Em 1930, foram instalados em escritórios executivos da Casa Branca, em Washington, tornando mais agradável o trabalho dos usuários no verão quente e úmido. Em 1952, a empresa Carrier, de Willis Carrier, desenvolveu a primeira produção em série de unidades centrais de ar condicionado para residências, a qual obteve sucesso. Em apenas duas semanas foram vendidos todos os equipamentos em estoque. Com o mercado se expandindo cada vez mais, em 1970 foi lançado o equipamento tipo janela (Figura 2), com fluido refrigerante, novas bombas de calor, que começaram a operar com temperaturas exteriores mais baixas, permitindo, assim, a climatização através do ciclo reverso. Em 2000, foram desenvolvidos os primeiros equipamentos tipo split, os quais são divididos em duas unidades, evaporador e condensador. Em 2003, segundo dados da Abrava (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento), 40% dos equipamentos residenciais no Brasil eram split (WEB AR CONDICIONADO, 2021).

Figura 2 - Ar condicionado de janela em 1970<sup>1</sup>



Desde então, com a alta demanda de mercado e sua aplicação, os equipamentos de ar condicionado estão evoluindo constantemente, obtendo-se equipamentos menos barulhentos, mais robustos, com fluidos refrigerantes melhores, causando menos destruição na camada de ozônio, compressores com a tecnologia inverter, gastando, assim, menos energia elétrica, entre outras qualidades.

## 2.2 INTRODUÇÃO À TEORIA DA TERMODINÂMICA

Para entender como funciona um equipamento de ar condicionado, devemos obrigatoriamente saber alguns conceitos termodinâmicos: ciclo de compressão de vapor, composto pelos quatro componentes principais do sistema, e o diagrama pressão x entalpia, estabelecendo as propriedades do fluido refrigerante em cada etapa.

Um aspecto importante na análise de um sistema térmico é a identificação das propriedades termodinâmicas adequadas. Uma propriedade é uma característica ou atributo da matéria que pode ser avaliada quantitativamente, tais como temperatura, pressão e densidade. Trabalho e calor podem ser determinados em termos de variações de propriedades, não sendo, entretanto, propriedades. Uma propriedade é algo inerente à matéria. Trabalho e calor, por outro lado, são interações entre sistemas que alteram suas propriedades, podendo ser medidos somente na fronteira do sistema. A quantidade de energia transferida depende de como uma dada mudança ocorre (STOECKER; JONES, 1985, p. 16).

O entendimento do ciclo de compressão de vapor, associado ao comportamento do fluido refrigerante, expresso no diagrama de pressão x entalpia, é fundamental para a compreensão dos processos termodinâmicos de um equipamento de climatização.

---

<sup>1</sup> Fonte: Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em: 02 de nov. de 2021.

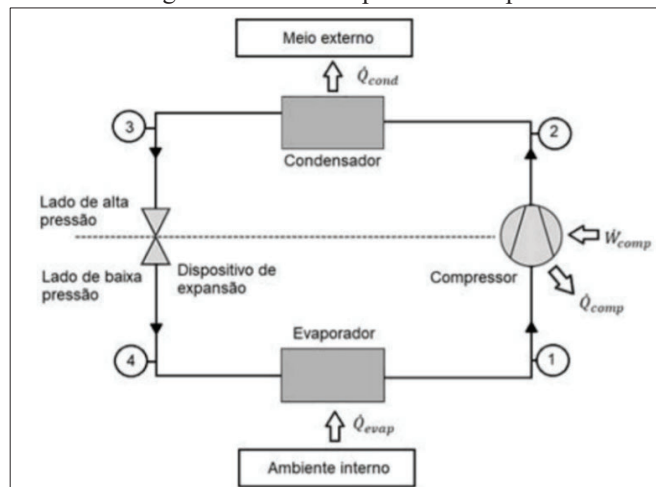
### 2.2.1 Ciclo de compressão de vapor

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor funciona basicamente com quatro componentes principais, sendo eles um evaporador (trocador de calor), um compressor, um condensador (trocador de calor) e um dispositivo de expansão, conforme a Figura 3. Nesse circuito fechado, circula um fluido refrigerante, que faz a troca térmica com o ambiente interno e externo (MERCOFRIO, 2018).

A troca térmica do ciclo com o ambiente se dá através da transferência de calor por convecção entre o ar e o trocador de calor. Isso ocorre com o evaporador e o ambiente interno e com o condensador e o ambiente externo.

O evaporador é um trocador de calor em que, nele, o fluido refrigerante chega a uma baixa temperatura e pressão, e absorve o calor do ambiente interno através da transferência de calor por convecção entre o ar e o tubo do trocador. Ocorre o processo de evaporação do fluido refrigerante e, conseqüentemente, o resfriamento do ar.

Figura 3 - Ciclo compressão de vapor



Fonte: Refrigeração para todos, 2016

Passando pelo processo do evaporador há o compressor, que comprime o fluido refrigerante, elevando a pressão e a temperatura do mesmo. A sua principal função é fazer o fluido circular em todo o sistema. Após o compressor existe o condensador, que também é um trocador de calor como o evaporador. Nele o fluido refrigerante chega a uma temperatura e pressão alta, e, ao trocar calor com o meio externo, condensa, baixando a temperatura e trocando de fase. Após o condensador, o fluido refrigerante passa pelo dispositivo de expansão (válvula de expansão), que tende a baixar a temperatura e pressão do circuito até o evaporador.

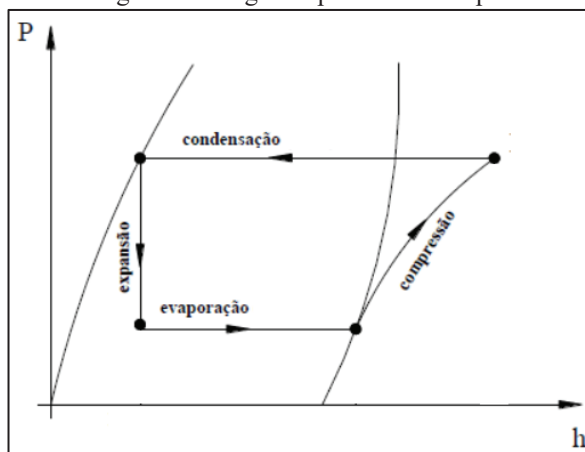
## 2.2.2 Diagrama pressão x entalpia

O diagrama de pressão x entalpia demonstra as propriedades e o comportamento do fluido refrigerante em cada componente do sistema.

A maioria dos sistemas de aquecimento ou refrigeração operam com substâncias que mudam de fase líquido para a fase vapor e vice-versa durante um ciclo completo. As substâncias mais comuns são a água e os refrigerantes. As pressões, temperaturas e entalpias são as propriedades mais importantes, de modo que a relação entre elas é apresentada em tabelas ou ábacos (STOECKER; JONES, 1985, p. 19).

Conforme a Figura 4, o processo de evaporação 4-1 representa a troca de calor entre o evaporador e o ambiente, sendo, assim, uma evaporação isobárica e isotérmica, onde a pressão e a temperatura são constantes. Já no processo de compressão 1-2, existe o trabalho do compressor, onde ele irá fazer uma compressão isoentrópica do fluido refrigerante, tornando-se um vapor superaquecido. O condensador reduz a temperatura do fluido refrigerante, passando do ponto 2 para o ponto “X”, ou seja, de vapor superaquecido para vapor saturado. Do ponto “X” para o ponto 3, predomina a condensação isobárica e isotérmica, com pressão e temperatura constante.

Figura 4 - Diagrama pressão x entalpia



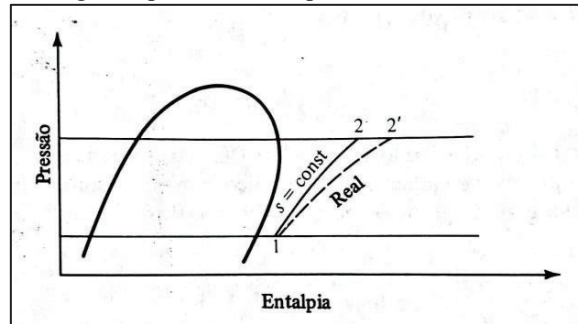
Fonte: Autor próprio, 2022

Finalizando o ciclo, possui a expansão 3-4, que ocorre através do dispositivo de expansão, baixando a pressão e temperatura do fluido em uma expansão adiabática, com uma entalpia constante, e assim segue para o evaporador, a fim de completar a evaporação do fluido refrigerante.

### 2.2.3 Processo isentrópico

No processo isentrópico, a entropia do fluido permanece constante. Analisando a Figura 5, o processo de compressão isentrópica ocorre no decorrer dos pontos 1-2, onde não possui transferência de calor (STOECKER, JONES, 1985).

Figura 5 - Diagrama pressão x entalpia mostrando linha isentrópica



Fonte: STOECKER, JONES, 1985 (p. 26)

Se realizado o processo isentrópico teórico 1-2, o fluido de saída apresentaria a mesma entropia inicial; porém, em um sistema real, isso não ocorre, devido às perdas de eficiência do equipamento. Assim, tem-se a curva entre os pontos 1-2'.

### 2.2.4 Processo isobárico

Em um processo termodinâmico, quando a pressão de um fluido permanece constante, podemos chamar de processo isobárico (STOECKER, JONES, 1985).

### 2.2.5 Processo adiabático

Quando não há troca de calor com o ambiente, o processo é adiabático. Um exemplo prático: quando as paredes de um sistema são isoladas termicamente, o processo é praticamente adiabático, visto que a troca de calor é quase nula (STOECKER, JONES, 1985).

## 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A análise de transferência de calor é feita a partir das equações de conservação de energia, segundo a lei de termodinâmica e de outras três leis fenomenológicas que descrevem as taxas de transferência de energia em condução, convecção e radiação.

Transferência de calor em um corpo sólido, denominada condução, envolve um processo de transferência de energia a nível molecular. Radiação, por outro lado, é um mecanismo de transferência de energia realizado pela propagação de um gás de uma superfície para outra, não havendo necessidade de um meio transmissor entre as superfícies. Transferência de calor por convecção depende do processo de condução na região do fluido junto à superfície de um sólido e do movimento desse fluido. Os três mecanismos de transferência de calor são distintos entre si, apresentando características comuns, como a dependência da temperatura e das dimensões dos objetos envolvidos (STOECKER, JONES, 1985, p. 28).

No sistema de ar condicionado, predomina a transferência de calor por convecção, devido à troca térmica que ocorre entre o ar do ambiente, o qual possui velocidade e uma maior temperatura, e o tubo do trocador de calor, que possui menor temperatura. Também ocorre, no lado interno do tubo, o mesmo processo entre o fluido refrigerante e o tubo do trocador de calor.

### 2.3.1 Convecção

A transferência de calor por convecção atua pelo escoamento do fluido no sistema. O fluido atua como transportador de energia, a qual é transferida para a superfície oposta quando ambas entram em atrito. A taxa de transferência de energia da superfície para o ar pode ser quantificada pela lei do resfriamento de Newton, conforme a Figura 6 (PRINCÍPIOS DE TERMODINÂMICA PARA ENGENHARIA, MJM E HNS, 2009).

Figura 6 – Equacionamento

$$\dot{Q}_C = hA(T_b - T_f)$$

Fonte: MORAN, J. M.; SHAPIRO, H. N., 2009 (p. 43)

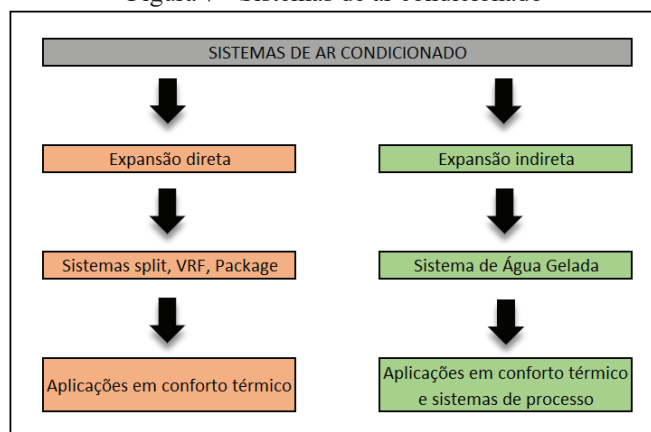
Por se tratar de um ciclo fechado, onde o compressor é quem faz o fluido circular no sistema, podemos dizer que esta convecção é forçada devido ao trabalho realizado pelo compressor para que o fluido realize o trabalho da transferência do calor.

## 2.4 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

O fluxograma abaixo (Figura 7) apresenta os tipos de sistemas de ar condicionado em categorias, para facilitar o entendimento.



Figura 7 - Sistemas de ar condicionado



Fonte: Próprio autor, 2021

Os sistemas de ar condicionado são divididos em duas classes principais: expansão direta e expansão indireta. A expansão direta possui apenas um fluido refrigerante, o qual faz todo o processo de troca térmica com o ambiente. Já na expansão indireta, o ciclo de refrigeração se dá dentro de um resfriador de líquidos (chiller), o qual troca calor com um fluido secundário, e então troca calor com o ambiente interno.

Os sistemas de expansão direta mais aplicados em climatização são: Sistema split, aplicado principalmente em residências, composto de um evaporador e um condensador por sistema (1 para 1); Sistema VRF (Fluxo de Refrigerante Variável), onde há um condensador e várias unidades internas (evaporadores); e o sistema package, que opera igualmente ao split, porém com uma capacidade mais elevada, e sistemas dutados.

No sistema de água gelada, expansão indireta, tem-se um equipamento que comporta todo o ciclo de refrigeração. Nele, há os componentes do ciclo de compressão de vapor, que objetivam o resfriamento de um fluido secundário, chamado de resfriador de líquidos (chiller). Após o processo de resfriamento do fluido secundário, há um conjunto de bombeamento que levará este fluido até os equipamentos internos, denominados fancoils (intercambiadores de calor), o qual trocará calor com o ambiente interno.

As aplicações de ar condicionado são classificadas em duas principais: conforto térmico e processo industrial. Em se tratando de conforto térmico, destacam-se comércio varejista, edificações de escritórios, bancos, edifícios públicos, esportes, estabelecimentos de ensino, hotéis, restaurantes, bares e diversões (conforme norma ABNT NBR 16401-3, 2008, p. 6), e toda a aplicação hospitalar contida na norma ABNT NBR 7256, 2021. Busca-se, nesta aplicação, o conforto térmico dos usuários (sensação térmica), os quais dependem da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, velocidade do ar e qualidade do ar interior. A temperatura é o principal parâmetro a ser controlado. A baixa umidade traz ao ocupante sensações de ressecamento ou abafamento. A velocidade do ar deve

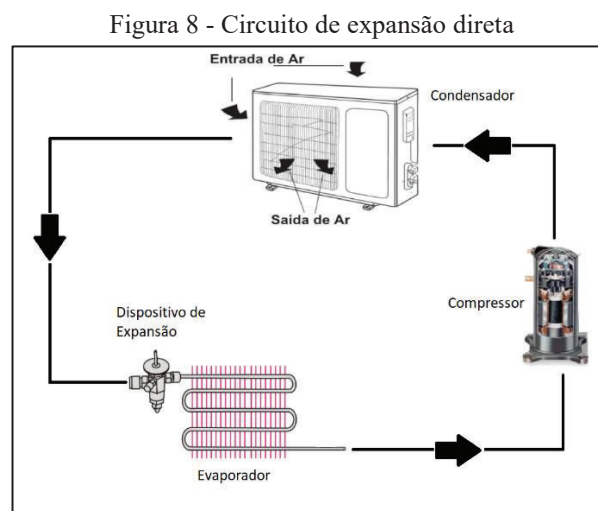
ser analisada, visto que, se aplicada inadequadamente, pode causar um desconforto para a pessoa, considerando a velocidade alta e o direcionamento do fluxo do ar. A qualidade do ar interior é fundamental para que tenhamos um ar puro e descontaminado, perante ao ar exterior. Estes são os principais influenciadores para que o conforto térmico seja aplicado adequadamente em um determinado ambiente.

Para sistemas de processo industrial, o mais utilizado é a refrigeração industrial, que inclui o processamento e a conservação de alimentos, a remoção de calor de substâncias, de petróleo e petroquímica, e muitas outras aplicações em indústrias de construção e manufatura.

### 2.4.1 Expansão direta

A retirada de calor é realizada diretamente pelo fluido frigorífico (STOECKER, JONES, 1985).

Na expansão direta, o fluido que passa pelo circuito frigorífico é quem irá fazer a troca térmica com o ambiente interno/externo, sendo usado apenas um tipo de fluido refrigerante (figura 8).



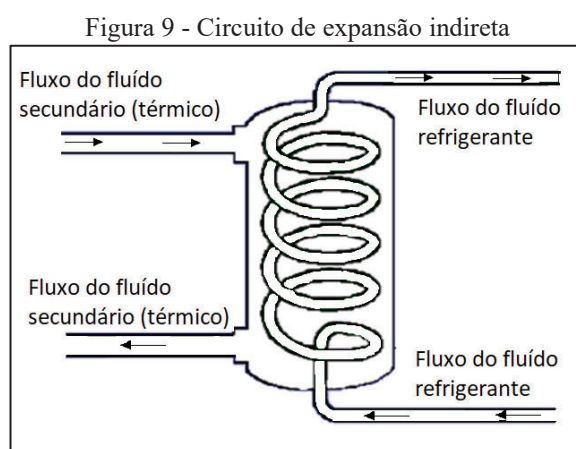
Fonte: Próprio autor, 2021

Todos os sistemas de expansão direta descritos no item 2.4 operam conforme a Figura 8, com os quatro componentes do ciclo e com apenas um fluido refrigerante frigorífico.

## 2.4.2 Expansão indireta

A retirada de calor é realizada indiretamente por meio de um fluido secundário térmico (STOECKER, JONES, 1985).

A expansão indireta (Figura 9) ocorre com dois tipos de fluido, um fluido refrigerante (podendo ser o mesmo que na expansão direta), dentro de um circuito fechado no interior do chiller, e um fluido secundário térmico (normalmente a água), o qual faz a troca térmica com o ambiente interno. No interior do chiller, o fluido refrigerante é responsável por controlar a temperatura do fluido secundário, absorvendo seu calor e liberando-o no condensador do chiller para o meio exterior.



Fonte: Próprio autor, 2021

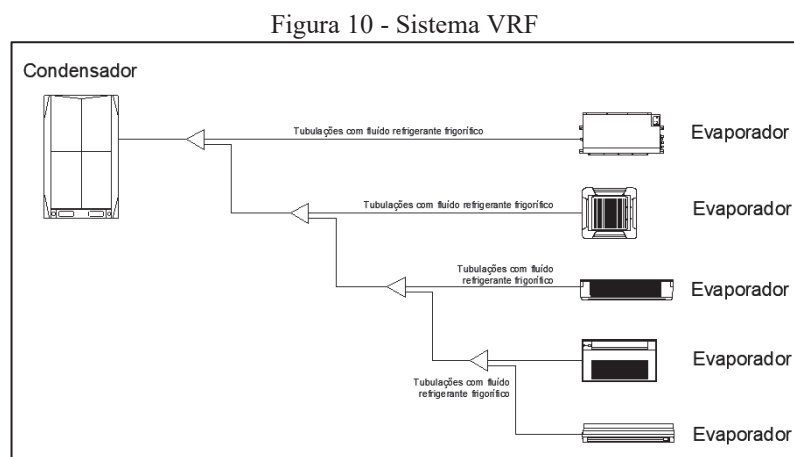
Nos equipamentos internos (fancoils) há a troca de calor entre o fluido secundário térmico, em baixa temperatura, com o ar do ambiente interno, gerando, assim, o condicionamento do ar.

## 2.4.3 Sistema VRF

Conforme o ciclo de compressão de vapor, o sistema VRF é composto por quatro principais equipamentos, sendo eles: evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão.

O VRF (Variable Refrigerant Flow), destinado como um sistema central em que um conjunto de unidades de tratamento de ar de expansão direta, geralmente instaladas dentro do ambiente a que servem (designadas unidades internas), cada uma operada e controlada independentemente das demais, é suprido em fluido refrigerante líquido em vazão variável (VRF) por uma unidade condensadora central, instalada externamente (designada unidade externa) (ABNT 16401-1, 2008, p. 3).

A unidade interna é composta por dois dos quatro principais equipamentos do ciclo, o evaporador e a válvula de expansão que está contida dentro do evaporador. Os outros dois equipamentos restantes, condensador e compressor, estão embutidos em apenas um equipamento externo; no interior do condensador está embutido o compressor, conforme Figura 10.



Fonte: Próprio autor, 2021

A conexão entre as duas unidades (evaporador e condensador) é realizada através de tubulações de cobre, e suas bitolas variam conforme a capacidade projetada. Todo o seu dimensionamento é realizado através de softwares disponibilizados pelos seus respectivos fabricantes, sendo que você inclui as unidades internas, externas e os comprimentos entre elas, e o software fornecerá todo o dimensionamento completo, com relatórios.

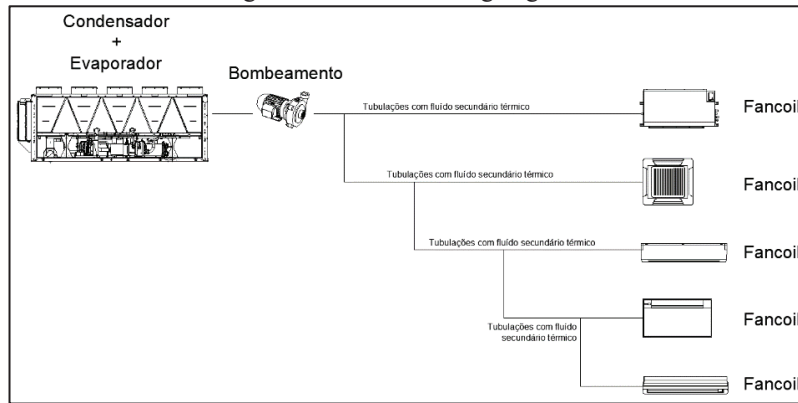
#### 2.4.4 Sistema de Água Gelada

O sistema de água gelada também é composto pelos quatro principais equipamentos: o evaporador, o compressor, o condensador e a válvula de expansão.

O sistema consiste em uma ou mais unidades de tratamento de ar, cada uma operada e controlada independentemente das demais, são supridas com água gelada (ou outro fluido térmico) produzida numa central frigorígena constituída por um ou mais grupos resfriadores de água e distribuída por bombas, em circuito fechado (ABNT 16401-1, 2008, p. 2).

Diferente do sistema VRF, o sistema de água gelada possui todos os seus componentes em apenas uma unidade, denominada chiller, instalada na parte externa (conforme Figura 11).

Figura 11 - Sistema de água gelada



Fonte: Próprio autor, 2021

A troca de calor ocorre entre o fluido refrigerante frigorífico e o fluido secundário, na qual o fluido secundário baixa sua temperatura e transporta o fluido até a unidade interna, denominada fancoil (intercambiador de calor). Os tipos de unidades fancoils são os mesmos do sistema VRF, porém operam com o fluido secundário térmico (água).

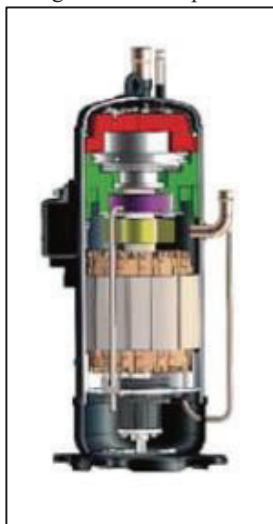
## 2.5 COMPONENTES DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

Um sistema de ar condicionado, ciclo de compressão a vapor, como pode ser chamado, é composto basicamente por quatro componentes, que são: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador, conforme exposto a seguir.

### 2.5.1 Compressor

O compressor toma o vapor do refrigerante a uma baixa pressão e temperatura, e eleva-o a uma alta pressão e temperatura. Assim, pode-se afirmar que ele: reduz a pressão e a temperatura do refrigerante no evaporador, permitindo absorver calor das redondezas; aumenta a pressão e a temperatura do refrigerante no condensador, o suficiente para permitir que dissipe calor para o ar ou água a temperatura existente; movimenta o fluido refrigerante através da tubulação e componentes do sistema (STOECKER, JONES, 1985).

Figura 12 - Compressor



Fonte: CARRIER, 2020

Na Figura 12, podemos analisar um compressor com a tecnologia inverter. Esta tecnologia está sendo muito utilizada, pois permite que o compressor trabalhe com uma rotação variável, conforme a necessidade, aumentando ou baixando a rotação, até que a carga de projeto seja atendida. Com essa variação, o compressor deixa de trabalhar sempre a 100% (compressor scroll), reduzindo o consumo de energia elétrica.

### 2.5.2 Condensador

Os condensadores são trocadores de calor onde ocorre a condensação do refrigerante. Todos os ganhos de calor de um sistema de refrigeração devem ser rejeitados no condensador. Sua função básica, portanto, é liquefazer o fluido refrigerante (STOECKER, JONES, 1985).

Figura 13 - Tipos de condensadores VRF



Fonte: HITACHI, DAIKIN, CARRIER, LG, 2020

As unidades externas, perante todos os fabricantes, possuem uma robustez semelhante, visto que possuem as mesmas aplicações e os mesmos componentes, o que pode ser analisado na Figura 13.

### 2.5.3 Evaporador

São trocadores de calor onde ocorre a evaporação do refrigerante, ou seja, onde o líquido refrigerante evapora, absorvendo calor com esta mudança de estado (STOECKER, JONES, 1985).

Figura 14 - Tipos de evaporadores



Fonte: CARRIER, 2020

Atualmente, existem vários equipamentos evaporadores, sendo que, dentre eles, os principais são: Hi-wall; Cassete 4 vias; Cassete 2 vias; Cassete 1 via; Piso-teto; Tipo duto (Built-in), conforme Figura 14.

### 2.5.4 Dispositivo de expansão

A válvula de expansão (conforme Figura 15) possui duas funções. A primeira delas é reduzir a pressão no sistema entre o condensador e o evaporador.

Figura 15 - Válvula de expansão



A função secundária desta válvula é controlar a vazão do fluido refrigerante frigorífico, sendo que o fluido que sai deve estar rapidamente superaquecido, pois o compressor é projetado para bombear um gás, e não um líquido. Existem diversos tipos de válvulas no mercado, dentre elas, a válvula de expansão eletrônica que será utilizada no presente estudo.

## 2.6 PROJETO

Segundo o *PMBOK (Project Management Body Knowledge)*, um projeto significa o esforço temporário e único empreendido para criar algum produto, serviço ou resultado exclusivo. Ou seja, um projeto é tudo aquilo que precisamos realizar para gerar algo novo, seja uma casa, um sistema informatizado, um estudo/pesquisa, um trabalho de conclusão de curso. Quando falamos em esforço temporário, significa que este projeto deve ter um início, um meio e um fim, ou seja, uma curta duração de estudos.

A elaboração do projeto deve ocorrer em etapas sucessivas, dividindo-se o processo de desenvolvimento das atividades técnicas de modo a se obter uma evolução positiva e consistente da concepção adotada para as instalações e da integração destas com a edificação e seus componentes, garantindo o atendimento às exigências de desempenho e qualidade definidas pelo contratante (NBR 16401-1 - Instalações de ar Condicionado - Projetos das Instalações, 2008, p. 4).

O guia ainda fala em cinco principais etapas a serem seguidas, para que haja uma gestão no projeto, sendo elas: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e por fim o encerramento.

Para o funcionamento correto de um sistema de ar condicionado, algumas premissas devem ser analisadas, e são elas:

- Cálculos preliminares de carga térmica;

---

<sup>2</sup> Fonte: Disponível em: <https://blogdofrio.com.br/como-diagnosticar-falhas-na-valvula-de-expansao-termostatica-vet-txv/>. Acesso em: 02 de nov. de 2021.



- Seleção preliminar de equipamentos, com dados referenciais de capacidade, consumo energético e consumo de água;
- Definição preliminar de localização das casas de máquinas;
- Dimensionamento preliminar das redes hidráulicas e frigoríficas principais;
- Definição consensual sobre o sistema a ser adotado.

## 2.7 COMPONENTES DOS SISTEMAS

Com o dimensionamento do projeto finalizado, deve-se especificar todos os componentes necessários, desde uma fiação de ligamento do equipamento até a locação dos mesmos.

Vários parâmetros devem ser levados em consideração na hora da análise: se é viável, se tem a necessidade de ser especificado, se o custo não descartará a instalação do sistema, como será feita a manutenção, se pode ser instalado em determinado local, se vai acarretar em ruído/desconforto, enfim, são várias as premissas a serem analisadas.

## 2.8 PLANILHA ORÇAMENTÁRIA

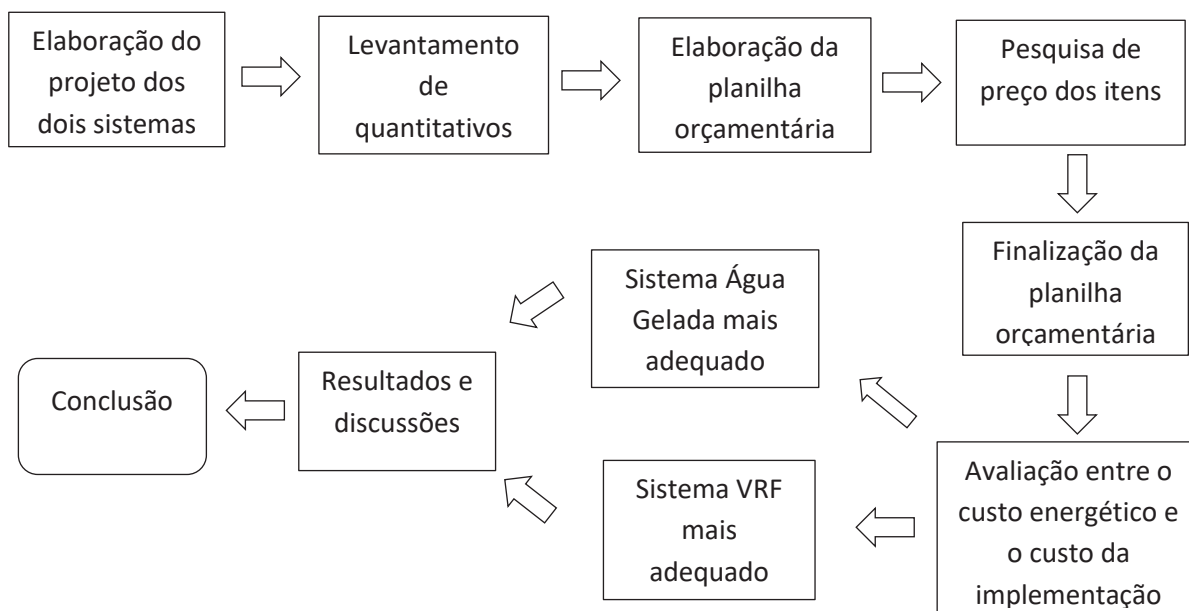
Hoje em dia, quando se fala em obra, o primeiro empecilho é o quanto isso irá custar, pois todos sabem o quanto é difícil a aquisição de um bem ou a realização de uma compra de alto valor.

Para a elaboração da planilha orçamentária, alguns itens devem ser especificados: redes frigoríficas, definição dos equipamentos a serem utilizados, especificações gerais de componentes e materiais elétricos, deve conter elementos suficientes para garantir a correta compreensão do conceito adotado no projeto e a perfeita caracterização das instalações, envolvendo: distribuição de fluidos térmicos, distribuição de ar, controle, alimentação e comando elétrico, e todas as especificações necessárias para permitir a tomada de preços, aquisição, execução e colocação em operação das instalações (NBR 16401-1 - Instalações de ar Condicionado - Projetos das Instalações, 2008, p. 6).

A planilha é fundamental para que o projeto alcance o resultado e o sucesso esperado, já que permite ao profissional ter uma visão e um controle mais preciso sobre as atividades e etapas que precisam ser feitas, seguindo todas as premissas determinadas no projeto. Além disso, todos os itens contidos no projeto, e também os que não estão nele especificados, devem estar contidos na planilha orçamentária, visto que a análise será feita através dela e, caso não haja algum item, pode ocorrer uma falha grave de aquisição de equipamentos, acarretando em custos extras.

### 3 METODOLOGIA

Nesta etapa, será feita a apresentação do projeto, especificando todos os componentes dos dois sistemas e, ao final, elaborada a planilha orçamentária. O Trabalho Final de Graduação II será conforme o fluxograma abaixo.



#### 3.1 ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES

Para o correto funcionamento, um sistema de ar condicionado deve ser dimensionado e instalado seguindo toda a especificação do fabricante. Nos itens abaixo, serão especificados todos os componentes para um excelente funcionamento, utilizando os equipamentos já determinados no Trabalho Final de Graduação I.

##### 3.1.1 Evaporadores

Para as unidades internas, serão utilizados equipamentos evaporadores do tipo Piso-Teto (conforme figura 16), seguindo as especificações abaixo:

Figura 16 – Piso-Teto



Fonte: Catálogo Carrier, 2022

- Equipamento de última geração;
- Equipamentos com ciclo quente e frio;
- Válvula de expansão eletrônica;
- Controle remoto sem fio;
- Filtro de ar em tela lavável, classe G1;
- Gás refrigerante ecológico.

### 3.1.2 Condensadores

Para o sistema VRF, será utilizada unidade externa (figura 17), conforme descrição abaixo:

Figura 17 – Unidade externa

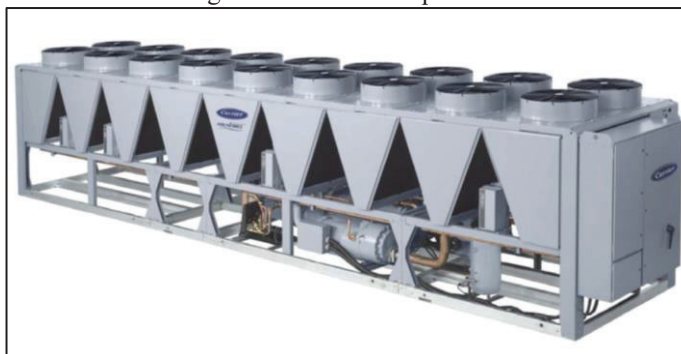


Fonte: Catálogo Carrier, 2022

- Equipamentos de última geração da série V6;
- Equipamento com ciclo reverso;
- Refrigerante ecológico;
- Alta eficiência;
- Compressores DC inverter.

Já para o sistema de água gelada, o equipamento externo, será do tipo chiller (figura 18), seguindo as especificações abaixo:

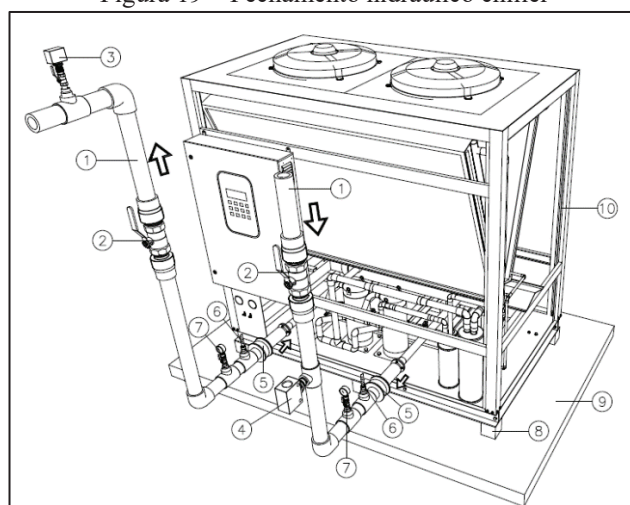
Figura 18 – Chiller AquaForce



Fonte: Catálogo Carrier, 2022

- Equipamento de última geração da série *AquaForce*;
- Condensação a AR;
- Compressor parafuso inverter;
- Alta eficiência, *full e part load*;
- Refrigerante ecológico;
- Equipamento com ciclo quente (banca de resistência) e frio.

Figura 19 – Fechamento hidráulico chiller



Fonte: Próprio autor, 2022

O equipamento externo (Chiller) é o coração do ar condicionado. É nele que as principais funções do sistema de água gelada acontecem, graças ao fechamento hidráulico. Para que isso aconteça de maneira correta, na imagem 19, acima, obtemos o fechamento hidráulico. O sentido do fluido é dado através das flechas. Os componentes um são as tubulações do sistema responsáveis por transportar o fluido. Os componentes dois são os registros esférica, responsáveis pelo bloqueio do fluido. O componente três é uma purga de ar automática, que deve ser instalada no ponto mais alto do sistema para que seja removido todo o ar das tubulações. O componente quatro é uma chave de fluxo. Ela serve para a indicação e monitoramento do fluido, ou seja, nela consegue-se medir as propriedades que o fluido sai do chiller para os intercambiadores de fluido. Os componentes cinco são juntas de expansão de borracha. Os componentes seis são termômetros. Os componentes sete são manômetro de pressão. O componente oito é um conjunto de calços anti-vibração. O componente nove é a base de concreto para a instalação da chiller. E o componente dez é o chiller.

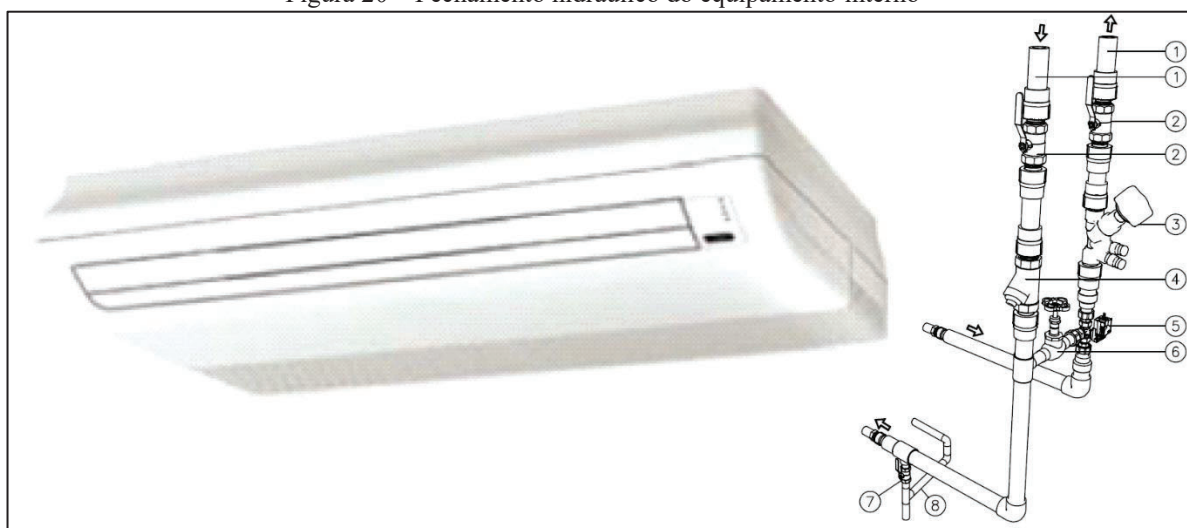
### 3.1.3 Intercambiadores de fluido

Para o sistema de água gelada em específico, os equipamentos internos (intercambiadores de fluido) *fancoils*, conforme especificação determinada no TFG I, serão utilizados equipamentos do tipo Piso-Teto, conforme descrição abaixo:

- Equipamento de última geração;
- Equipamentos com ciclo quente e frio;
- Controle remoto sem fio;
- Filtro de ar em tela lavável, classe G1.

Nos equipamentos internos (intercambiadores de fluido) *fancoils*, obrigatoriamente deve ser dimensionado um fechamento hidráulico, para que o equipamento funcione. A figura 20, abaixo, possui o equipamento à esquerda, e à direita o fechamento hidráulico.

Figura 20 – Fechamento hidráulico do equipamento interno



Fonte: Próprio autor, 2022

O controle de vazão (fluido secundário térmico) é realizado através de uma válvula motorizada proporcional, sendo de 2 ou de 3 vias. Por uma questão de custo, eficiência e aplicação, foi determinada a utilização nos equipamentos *fancoils* válvula 2 vias motorizada proporcional. A grande diferença entre elas é o controle de vazão, onde a válvula 2 vias é *ON/OFF* e a válvula 3 vias é proporcional. A figura 20 mostra o fechamento hidráulico determinado para os *fancoils*, onde o sentido do fluido é dado através das flechas. Os componentes um são as tubulações do sistema, responsáveis por transportar o fluido. Os componentes dois são os registros esfera, responsáveis pelo bloqueio do fluido. O componente três é uma válvula de balanceamento hidráulico, capaz de controlar o diferencial de pressão, evitando alterações bruscas nas tubulações. O componente quatro é um filtro y, responsável por

reter sujeiras que ficam nas tubulações. O componente cinco é a válvula 2 vias motorizada proporcional. O componente seis é o registro globo, que controla o fluxo do fluido. Os componentes sete e oito são responsáveis pela drenagem do equipamento.

### 3.1.4 Bombeamento

Para o sistema de água gelada em específico, precisa-se de um bombeamento, para que o fluido secundário (água) circule pelo sistema. Assim, será utilizado um sistema de bombeamento com bomba centrífuga monoestágio, conforme figura 21.

Figura 21 – Bomba centrífuga monoestágio

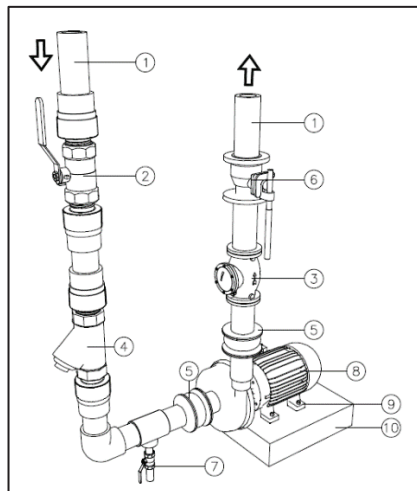


Fonte: Catálogo Schneider, 2022

As bombas centrífugas monoestágio possuirão as seguintes especificações:

- Motobombas centrífugas monoestágio;
- Modelo utilizado BC-22 R 1.1/2" - 7,5CV;
- Caracol em ferro fundido;
- Bocais com rosca.

Figura 22 – Fechamento hidráulico do bombeamento



Fonte: Próprio autor, 2022

A figura 22 mostra o fechamento hidráulico do bombeamento, onde o sentido do fluido é dado através das flechas. Os componentes um são as tubulações do sistema, responsáveis por transportar o fluido. O componente dois é o registro esfera, responsável pelo bloqueio do fluido. O componente três é uma válvula de retenção vertical, e sua função principal é direcionar o fluido para apenas um sentido, sem que ele volte. O componente quatro é um filtro y, responsável por reter sujeiras que ficam nas tubulações. Os componentes cinco são juntas de expansão de borracha. O componente seis é o registro globo, que controla o fluxo do fluido. O componente sete é uma tubulação de drenagem, seguida de um registro esfera. O componente oito é a bomba do sistema. O componente nove é um conjunto de calços anti-vibração, e o componente dez é a base de concreto para a instalação da bomba.

### **3.1.5 Tubulações dos circuitos**

Conforme teoria mencionada no TFG I, os sistemas de ar condicionado funcionam através de um ciclo de refrigeração fechado, composto pelos quatro componentes. Para que o sistema funcione, é de suma importância que os quatro componentes do sistema sejam conectados através das tubulações. Para o sistema VRF, serão utilizadas tubulações de cobre. Para o sistema de água gelada, o circuito primário será através de tubulações de cobre, e o circuito secundário através de tubulações em PPR (Polipropileno Copolímero Random). A fixação delas será através de conjuntos de sustentação, que serão fixados na laje/estrutura da edificação.

### **3.1.6 Isolamento das tubulações**

Outro item de grande importância nas instalações dos equipamentos de ar condicionado é o isolamento nas tubulações (conforme figuras 23 e 24). Para isolar tanto as tubulações de cobre quanto as tubulações de PPR é utilizada a espuma rígida de poliuretano, com espessura conforme a indicação do fabricante.

Figura 23 – Tubulações do sistema VRF



Fonte: Próprio autor, 2022

Figura 24 - Tubulações do sistema de água gelada



Fonte: Próprio autor, 2022

Caso o isolamento das tubulações não seja instalado de acordo com as especificações dos fabricantes, pode ocorrer condensação nas tubulações, causando redução na eficiência do equipamento e também dano ao local onde ocorre a condensação.

### 3.1.7 Tanque de expansão

O sistema de água gelada deverá possuir um tanque de expansão (reservatório de água) acima do ponto mais alto da tubulação, que deverá ser instalado sobre base de sustentação a ser construída.

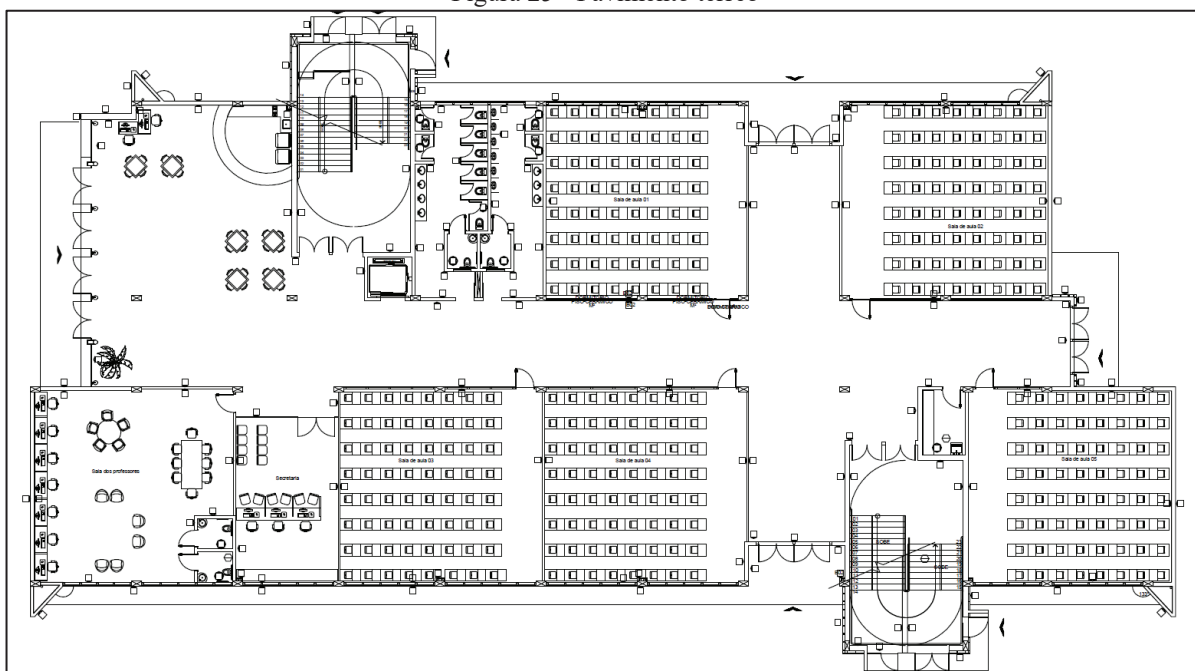


## 3.2 PROJETO

### 3.2.1 Sistema VRF

No sistema VRF do pavimento térreo (conforme figura 25), foram selecionados equipamentos internos (unidades evaporadores) do tipo Piso-Teto. Nas salas de aula 01, 02 e 05, foram selecionados dois equipamentos de 4,0HP em cada sala. Nas salas de aula 03 e 04, foi selecionado um equipamento de 3,2HP e um de 4,0HP em cada sala. Na sala da secretaria, foi selecionado um equipamento de 3,2HP, e na sala dos professores foi selecionado um equipamento de 5,0HP.

Figura 25 - Pavimento térreo

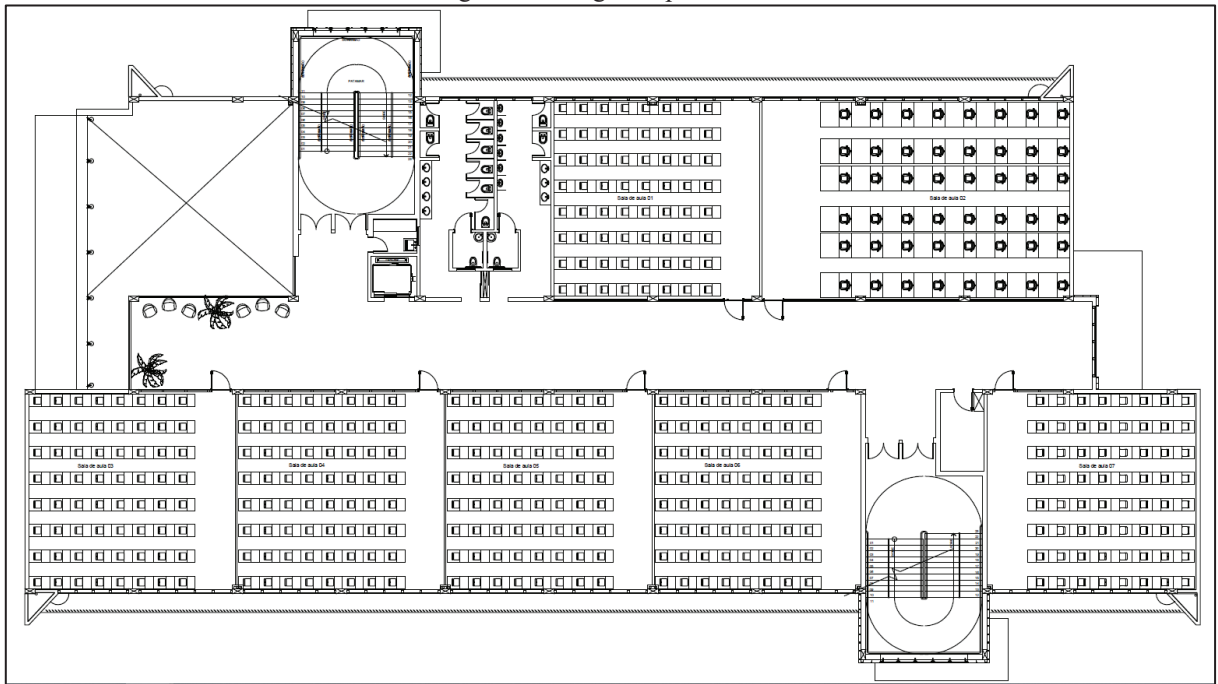


Fonte: Próprio autor, 2022

Para a unidade externa (condensador), foram selecionadas duas condensadoras de 30HP cada, totalizando um sistema externo de 60HP para atender ao pavimento térreo. O cálculo do diâmetro das tubulações de cobre é realizado através do *software* do fabricante do equipamento, na qual você insere todos os comprimentos e curvas do sistema e ele calcula todos os quantitativos das tubulações, refinets, carga de gás (fluido refrigerante) e controle remoto.

No sistema VRF do segundo pavimento (conforme figura 26), foram selecionados equipamentos internos (unidades evaporadores) do tipo Piso-Teto. Nas salas de aula 01, 03, 04, 05, 06 e 07, foram selecionados dois equipamentos de 4,0HP em cada sala. Na sala de aula 02, foram selecionados dois equipamentos de 5,0HP.

Figura 26 – Segundo pavimento

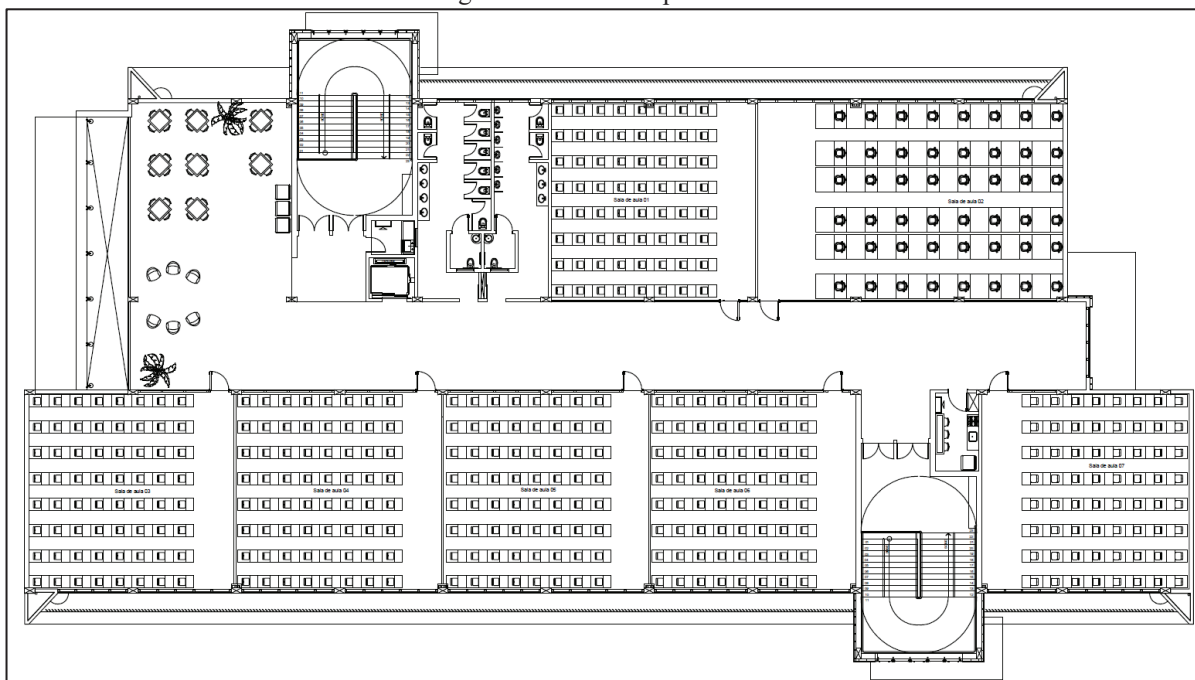


Fonte: Próprio autor, 2022

Para a unidade externa (condensador), foram selecionadas duas condensadoras de 30HP cada, totalizando um sistema externo de 60HP para atender ao segundo pavimento. O cálculo do diâmetro das tubulações de cobre é realizado através do *software* do fabricante do equipamento, na qual você insere todos os comprimentos e curvas do sistema e ele calcula todos os quantitativos das tubulações, refinetes, carga de gás (fluido refrigerante) e controle remoto.

No sistema VRF do terceiro pavimento (conforme figura 27), foram selecionados equipamentos internos (unidades evaporadores) do tipo Piso-Teto. Nas salas de aula 01, 03, 04, 05, 06 e 07, foram selecionados dois equipamentos de 4,0HP em cada sala. Na sala de aula 02, foram selecionados dois equipamentos de 5,0HP.

Figura 27 – Terceiro pavimento



Fonte: Próprio autor, 2022

Para a unidade externa (condensador), foram selecionadas uma condensadora de 16HP, uma condensadora de 22HP e uma condensadora de 32HP, totalizando um sistema externo de 70HP para atender ao terceiro pavimento. O cálculo do diâmetro das tubulações de cobre é realizado através do *software* do fabricante do equipamento, na qual você insere todos os comprimentos e curvas do sistema e ele calcula todos os quantitativos das tubulações, refinets, carga de gás (fluido refrigerante) e controle remoto.

As unidades internas (evaporadores) foram projetadas para ficarem instaladas dentro das salas, sempre na parede de fundos. Em todas as unidades internas, foi considerado também um conjunto de válvulas de manutenção, para futuras manutenções que possam ocorrer nos equipamentos.

Todas as unidades externas foram projetadas aos fundos da edificação, para melhor distribuição, facilitando a manutenção, e por uma questão de ruído.

Todos os ramais principais das tubulações frigoríficas e de comando foram projetados na circulação principal de cada pavimento, entrando nas salas apenas para atender aos seus respectivos equipamentos internos.

### 3.2.2 SISTEMA DE ÁGUA GELADA

No sistema de água gelada do pavimento térreo (conforme figura 25), foram selecionados equipamentos internos (intercambiadores de fluido) do tipo Piso-Teto. Nas salas

de aula 01, 02 e 05, foram selecionados dois equipamentos de 3,0TR em cada sala. Na sala de aula 03 e 04, foi selecionado um equipamento de 2,5TR e um de 3,0TR em cada sala. Na sala da secretaria, foi selecionado um equipamento de 2,5TR, e na sala dos professores foi selecionado um equipamento de 4,0TR.

No sistema de água gelada do segundo pavimento (conforme figura 26), foram selecionados equipamentos internos (intercambiadores de fluido) do tipo Piso-Teto. Nas salas de aula 01, 03, 04, 05, 06 e 07, foram selecionados dois equipamentos de 3,0TR em cada sala. Na sala de aula 02, foram selecionados dois equipamentos de 4,0TR.

No sistema de água gelada do terceiro pavimento (conforme figura 27), foram selecionados equipamentos internos (intercambiadores de fluido) do tipo Piso-Teto. Nas salas de aula 01, 03, 04, 05, 06 e 07, foram selecionados dois equipamentos de 3,0TR em cada sala. Na sala de aula 02, foram selecionados dois equipamentos de 4,0TR.

As unidades internas (intercambiadores de fluido) foram projetadas para ficarem instaladas dentro das salas, sempre na parede de fundos.

Todos os ramais principais das tubulações secundárias e de comando foram projetados na circulação principal de cada pavimento, entrando apenas nas salas para atender aos seus respectivos equipamentos internos.

A unidade externa (Chiller) foi projetada aos fundos da edificação, para melhor distribuição, facilitando a manutenção, e por uma questão de ruído.

Para o sistema de bombeamento, foram projetadas três bombas, conforme especificação no item 3.1.4 BOMBEAMENTO. Das três bombas, duas serão para trabalhar e atender 100% da carga projetada, e uma bomba ficará de backup, para futuras manutenções/problemas que possam ocorrer no sistema.

O tanque de expansão foi projetado para ser instalado na cobertura, visto que precisa ser instalado acima do ponto mais alto do sistema de água gelada.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os anexos 1 e 2 mostram os valores obtidos para a instalação de ar condicionado de cada sistema. As planilhas orçamentárias chegaram a tais valores alimentadas pelos seguintes itens: todo valor de material para a instalação dos sistemas (especificados no item 3.1 ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES), o valor da mão-de-obra para a instalação de cada componente do sistema, e o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). Para todos os itens da planilha orçamentária foi feita uma busca de preço no mercado através de cada fabricante. Deste modo, os valores obtidos são valores de “balcão”, sem nenhuma

negociação. O único custo que não está incluso na planilha orçamentária é o custo de deslocamento, estadia e alimentação da equipe que irá fazer a instalação; este deve ser incluído quando for realizado o fechamento da obra.

No anexo 1, obteve-se os valores para a implementação do sistema de ar condicionado VRF, resultando em um valor de R\$1.124.469,95 (um milhão, cento e vinte e quatro mil, quatrocentos e sessenta e nove reais com noventa e cinco centavos). No anexo 2, obteve-se os valores para a implementação do sistema de ar condicionado de água gelada, resultando em um valor de R\$1.856.456,31 (um milhão, oitocentos e cinquenta e seis mil, quatrocentos e cinquenta e seis reais com trinta e um centavos).

Para a elaboração da planilha de custos, a empresa Barella Engenharia LTDA, disponibilizou uma planilha orçamentaria base, para em cima dela realizar todo o estudo de custos dos dois sistemas.

## 5 CONCLUSÕES

Perante os resultados obtidos (Figura 28), podemos concluir que o sistema VRF é o mais adequado e mais acessível para a instalação na edificação em questão, tornando-se 63,86% mais barato que o sistema de água gelada.

Figura 28 – Resultados finais

CUSTOS		
Descrição	Água Gelada (kWh)	VRF (kWh)
Consumo anual energético (TFGI)	R\$ 315.130,51	R\$ 262.216,09
Planilha orçamentária (TFGII)	R\$ 1.856.456,31	R\$ 1.124.469,95
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 2.171.586,82</b>	<b>R\$ 1.386.686,04</b>

Fonte: Próprio autor, 2022

No momento da escolha dos dois sistemas para a realização do trabalho, pensou-se sobre dois sistemas idênticos, para uma análise correta e mais precisa. Porém, o sistema de água gelada, por se tratar se um sistema mais robusto e com funções um pouco diferentes do sistema VRF, engloba mecanismos voltados para a área de processo, onde se aplica com mais ênfase e rigorosidade. Os dois sistemas irão funcionar perfeitamente, com as principais funções operando com resultados iguais, porém o sistema VRF é composto por componentes que já estão embarcados no sistema; já o sistema de água gelada é o engenheiro que irá determinar todos os componentes para o funcionamento do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 16401-1. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários parte 1: projeto das instalações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008

ABNT NBR 16401-2. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários parte 2: conforto térmico.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008

JONES, W. P. **Engenharia de ar condicionado.** Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1983.

LEVENSPIEL, O. **Termodinâmica amistosa para engenheiros.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2000.

MORAN, J. M.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de termodinâmica para engenharia.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado.** São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

WYLEN, G. V.; SONNTAG, R.; BORGNACKE, C. **Fundamentos da termodinâmica Clássica.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

CARRIER, Brasil do. **Condicionadores de ar de uso comercial.** Catálogo Comercial VRF Midea V6 & V6-i - B - 08/19. Disponível em: [https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Catalogo-Comercial\\_VRF-Midea-V6\\_V6-i-2019-08\\_Rev.B.pdf](https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Catalogo-Comercial_VRF-Midea-V6_V6-i-2019-08_Rev.B.pdf). Acesso em: 02 de nov. de 2021.