

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE DE LIMA FORMIGA

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PARA UM MESMO
AMBIENTE

CURITIBA
2014

FELIPE DE LIMA FORMIGA

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PARA UM MESMO
AMBIENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado a disciplina AT-063 Estágio Profissionalizante como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira, do setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Ribeiro Morrone

CURITIBA
2014

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela iluminação durante toda a trajetória na faculdade e por me proporcionar a oportunidade de estudar.

Ao meu pai Carlos Ronaldo Formiga, a minha mãe Gildamir de Lima Formiga e minha irmã Camila de Lima Formiga pelo apoio, incentivo e carinho ao longo de todos esses anos.

Aos meus amigos de longa data e aos que fiz durante a trajetória na universidade, pela amizade, companheirismo e apoio durante esses anos, desejo que todos alcancem os seus objetivos.

A minha namorada Francielli Likpe pela ajuda e incentivo na elaboração deste trabalho.

A minha orientadora professora Dr^a. Simone Morrone, que com paciência e atenção dedicou seu tempo para a realização desse trabalho.

Aos professores da graduação e aos servidores, que contribuíram com conhecimentos e conselhos durante toda a minha vida acadêmica, contribuições essas que poderei levar durante a minha vida pessoal e profissional.

A empresa AEB engenharia que me proporcionou conhecimento e informações necessárias para a realização desse trabalho.

RESUMO

A funcionalidade básica do ar condicionado sofreu pouca modificação desde que foi criado, sendo necessário a utilização de condensador, compressor e evaporador para o seu correto funcionamento. As alterações feitas nesses equipamentos foram para torna-los mais econômicos e mais eficientes, já que a economia de energia e alta eficiência se fazem necessário. Comparando dois sistemas, o sistema de água gelada e o sistema de expansão direta, conseguimos analisar as vantagens e desvantagens, os equipamentos necessários e a mão de obra utilizada na implantação de cada sistema. A comparação mostrou que para um prédio com 3 pavimentos o sistema de expansão direta é mais vantajoso, principalmente por apresenta um custo de R\$: 295.000,00 a menos.

ABSTRACT

The air conditioning basic functionality suffered little change since it was created, requiring the use of condenser, compressor and evaporator to work correctly. Changes made to these devices were to make them more economical and more efficient, as the energy saving and high efficiency are required. Comparing two systems, the chilled water system and the direct expansion system, we can analyze the advantages and disadvantages, the necessary equipment and manpower used in the implementation of each system. The comparison showed that for a 3 floor building with the direct expansion system is more advantageous, primarily presents a cost of U\$\$: 295,000.00 less.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma da máquina térmica.....	10
Figura 02 – Ciclo de refrigeração baseado em quatro processos.	12
Figura 03 – Ciclo de refrigeração.....	12
Figura 04 – Representação do ciclo real em relação ao ciclo ideal de refrigeração.	14
Figura 05 – Ciclo inverso de refrigeração baseado em quatro processos.	15
Figura 06 – Ciclo inverso de refrigeração (bomba de calor).....	15
Figura 07 – Carta psicrométrica para determinação das variáveis.	17
Figura 08 – Sistema de expansão direta.....	21
Figura 09 – Sistema de expansão direta.....	22
Figura 10 – Condensadora.	23
Figura 11 – Válvula de expansão para sistemas de climatização.....	24
Figura 12 – Evaporadora.	24
Figura 13 – Sistema de expansão indireta.	27
Figura 14 – Unidade de resfriamento de água.	28
Figura 15 – Unidade de tratamento de Ar.	29
Figura 16 – Modelos de válvulas utilizadas nas tubulações.	30
Figura 17 – Bombas de água gelada interligadas a linha principal.....	30
Figura 18 – Linha de água gelada.....	31
Figura 19 – Linha de água gelada isolada com camada exterior de alumínio.	31
Figura 20 – Planta baixa pavimento Térreo.	34
Figura 21 – Planta baixa 1º pavimento.....	35
Figura 22 – Planta baixa 2º pavimento.....	36
Figura 23 – Programa CTERMWIN informações das cidades.....	38
Figura 24 – Programa CTERMWIN lista de dados de superfícies.	38
Figura 25 – Programa CTERMWIN dados de projeto.	39
Figura 26 – Programa CTERMWIN Cálculo de condutibilidade térmica.....	39
Figura 27 – Programa CTERMWIN estimativa da carga térmica.....	40
Figura 28 – Fator geográfico para cálculo de carga térmica.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Refrigerantes alternativos para sistema de climatização.	25
Tabela 02 - comparação entre R-22 e R-410A.....	26
Tabela 03 – Cálculo de carga térmica.....	43
Tabela 04 – Cálculo de carga térmica através da norma NBR-5858.....	44
Tabela 05 – Planilha dissolvida – Sistema VRV.....	48
Tabela 06 – Planilha dissolvida – Sistema água gelada.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Vantagens e desvantagens - sistema VRV.	32
Quadro 02 – Vantagens e desvantagens - sistema de Água Gelada.	33
Quadro 03 – Parâmetros para cálculo da carga térmica.	37
Quadro 04 – Lista de material – Sistema VRV.	46
Quadro 05 – Lista de material – Sistema Água Gelada.	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.2 OBJETIVOS	9
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 MÁQUINAS TÉRMICAS.....	10
2.2 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO.....	11
2.3 PSICROMETRIA	16
2.4 CONDICIONAMENTO DE AR.....	18
2.5 SISTEMA DE EXPANSÃO DIRETA	20
2.5.1 COMPRESSOR	21
2.5.2 CONDENSADOR	22
2.5.3 VÁLVULA DE EXPANSÃO.....	23
2.5.4 EVAPORADOR	24
2.5.5 GÁS REFRIGERANTE	25
2.5.6 TUBULAÇÃO	26
2.5.7 ISOLAMENTO.....	26
2.6 SISTEMA DE EXPANSÃO INDIRETA.....	27
2.6.1 CHILLER	27
2.6.2 FANCOIL E FANCOLETES.....	28
2.6.3 VÁLVULAS, BOMBA DE ÁGUA GELADA E TUBULAÇÃO	29
2.6.4 ISOLAMENTO	31
2.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE CADA SISTEMA.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 REPRESENTAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	43
4.2 ORÇAMENTO	45
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53
6 REFERÊNCIAS	54
7 ANEXOS.....	56
ANEXO 1 – CARTA PSICROMÉTRICA.....	56

1 INTRODUÇÃO

Espaços construídos sem uma preocupação prévia com o controle da temperatura e sem uma ventilação adequada resultam em ambientes impróprios para produção industrial, gerando danos a saúde e prejuízos para a empresa, devido ao longo tempo de permanência na área e ao baixo rendimento dos trabalhadores.

Climatizar um ambiente implica em melhorar e controlar um processo industrial ou manter o conforto térmico no ambiente. Na indústria, as condições a manter são estabelecidas pela atividade desenvolvida no processo industrial; já para o conforto térmico, as condições são estabelecidas pelo corpo humano.

A climatização de ambientes é necessária em:

- Processos de manufatura que exigem umidade, temperatura, e pureza do ar controlados, como fabricação de produtos farmacêuticos e alimentícios, salas de desenho e de impressão.

- Ambientes em que se processam matérias higroscópicas.

- Processos em que se exigem controles das reações químicas (cristalização, microrganismos).

- Locais em que seja preciso eliminar a eletricidade estática para prevenir incêndios ou explosões.

- Operações de usinagem com tolerância mínima.

- Laboratórios de controle e testes de materiais.

- Hospitais: salas de operação, salas de recuperação e para tratamentos de doenças alérgicas.

Para conseguir realizar essas funções, o condicionador de ar deve conseguir controlar, no ambiente climatizado, os parâmetros e propriedades relacionadas ao ar, tais como: ruído, qualidade do ar interior, temperatura e umidade. O uso de condicionadores de capacidades impróprias ou a seleção errada de equipamentos faz com que, muitas vezes, os parâmetros ambientais e de projeto não sejam atendidos, aumentando o consumo de energia e o custo da instalação.

Entre os vários tipos de sistemas de climatização, podem-se citar como principais: os sistemas de expansão direta e os sistemas de expansão indireta.

O sistema de expansão direta é o sistema mais utilizado, principalmente em residências e escritórios. Dentre seus componentes, tem-se: uma condensadora, uma evaporadora, um compressor e uma válvula de expansão.

Em escala industrial, o sistema mais utilizado é o sistema de expansão indireta, que tem como fluido refrigerante a água. Essa água é resfriada e realiza a troca de calor com o ar. Para o correto funcionamento, é necessário ter uma unidade de resfriamento de água, uma evaporadora, uma bomba para circulação da água resfriada e os acessórios acoplados à linha para controle da vazão.

Conhecendo os sistemas e os equipamentos necessários, pode-se dizer que o correto dimensionamento é essencial para a redução do consumo de energia e água, para uma menor carga térmica, para um cálculo correto de distribuição de ar, para a seleção correta dos equipamentos, aumentando assim a eficiência do sistema de climatização.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo comparar dois sistemas diferentes de climatização para uma mesma área de atendimento, sendo que um utiliza o gás R-410A¹ e o outro a água como líquido refrigerante.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever cada sistema de climatização;
- Apresentar os equipamentos e os materiais necessários para o funcionamento de cada sistema de climatização;
- Estimar de custo de cada sistema;
- Comparar a carga térmica realizada pelo programa CTermWin e pela norma NBR-5858.

¹ O gás R-410A é descrito no item 3.1.5

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MÁQUINAS TÉRMICAS

Máquinas térmicas são equipamentos que operam em um ciclo termodinâmico, realizando a conversão de calor em trabalho através da transferência de calor de um corpo com temperatura alta T_H para um corpo com temperatura baixa T_L , usando um fluido ou uma substância de trabalho. (van WYLLEN et al , 2009).

O termo máquinas térmicas geralmente é utilizado de maneira mais ampla e equipamentos que produzem trabalho através da combustão ou transferência de calor são considerados máquinas térmicas, ao invés de considerar somente dispositivos que operem segundo um ciclo termodinâmico. (van WYLLEN et al , 2009).

A figura 01 abaixo demonstra que somente parte do calor cedido pelo corpo de alta temperatura T_H é utilizado e convertido em trabalho W , sendo que a eficiência térmica de uma máquina térmica é dada pela razão do trabalho W pelo calor Q_H cedido pelo corpo de alta temperatura (equação (1)):



Figura 01 – Fluxograma da máquina térmica.

Fonte: van Wylen et AL, 2009.

$$\eta_{termico} = \frac{W}{QH} \quad (1)$$

Define-se o trabalho W como a transferência líquida de calor para o sistema ou de acordo com a equação (2) a seguir:

$$W = QH - QL \quad (2)$$

Substituindo a equação (2) na equação (1) temos:

$$\eta_{termico} = \frac{QH-QL}{QH} = 1 - \frac{QL}{QH} \quad (3)$$

Os motores térmicos apresentam uma grande variabilidade quanto às funções e formas. Máquinas a vapor e turbinas a gás são equipamentos grandes; motores a gasolina e motores a diesel utilizados em automóveis e caminhões são equipamentos de médio porte e motores para acionar equipamentos manuais são considerados de pequeno porte. As eficiências térmicas para máquinas de grande porte variam de 35% a 50%, para máquinas de médio porte, de 30% a 40% e para máquinas de pequeno porte, a eficiência fica em torno de 20%. Isso ocorre porque para sistema simples como os utilizados em máquinas pequenas algumas perdas se tornam relevantes. (van WYLLEN et al , 2009).

2.2 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

O ciclo de refrigeração através de compressão de vapor é mais utilizado para conforto térmico, congelamento e resfriamento de produtos. Por apresentar como ciclo resultante o ciclo de Carnot, mostrado na figura 02 a seguir, pode-se comparar o ciclo de refrigeração ao ciclo de Carnot, já que este apresenta o maior rendimento térmico possível. (van WYLLEN et al , 2009).

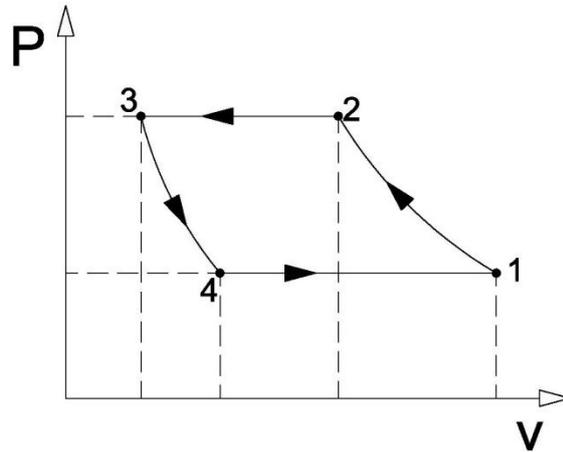


Figura 02 – Ciclo de refrigeração baseado em quatro processos.

Fonte: van Wylen et AL, 2009.

A figura 03 abaixo representa um ciclo de refrigeração contendo seus componentes básicos. A seguir descrevem-se os processos que fazem parte do ciclo teórico de refrigeração:

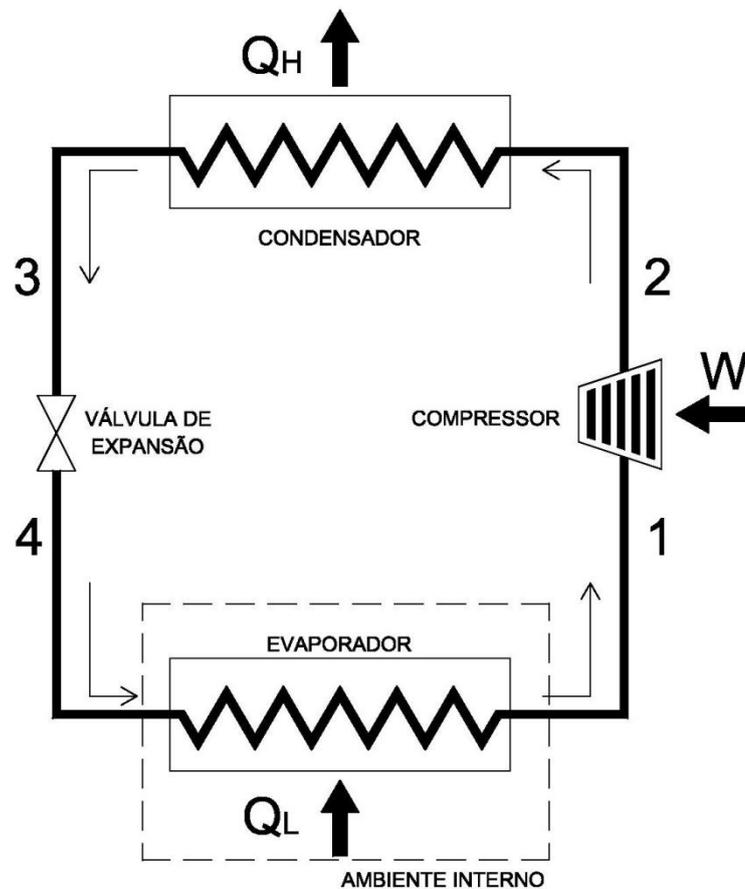


Figura 03 – Ciclo de refrigeração.

Fonte: van Wylen et AL, 2009.

Processo 1 - 2: No compressor do sistema ocorre um processo adiabático reversível. O fluido refrigerante que vem do evaporador é comprimido no compressor até atingir a pressão de condensação. Ao sair do compressor e se direcionar ao condensador está no estado de vapor superaquecido.

Processo 2 - 3: No condensador do sistema tem-se a liberação de calor do fluido refrigerante para o ambiente externo. Essa rejeição de calor faz com que o fluido baixe da temperatura de superaquecimento para a temperatura de condensação.

Processo 3 - 4: Na válvula de expansão do sistema ocorre uma expansão adiabática e reversível. Nesse processo o fluido refrigerante é vaporizado da pressão de vaporização até a pressão de condensação.

Processo 4 - 1: No evaporador do sistema ocorre uma transferência de calor entre o fluido refrigerante e o ar do ambiente a uma pressão e temperatura constante.

O ciclo ideal de refrigeração apresenta quatro processos, um processo isoentrópico, dois processos isobáricos e um isoentálpico. Com isso, entende-se que o estado 3 seja líquido saturado e o estado 1 vapor saturado, existindo dois parâmetros que determinam o ciclo de refrigeração. O primeiro é a alta pressão que é gerada pelo compressor do sistema ($P_2 = P_3$) e o segundo é a temperatura baixa gerada no evaporador pela transferência de calor entre o fluido refrigerante e o ambiente refrigerado ($T_4 = T_1$). (van WYLLLEN et al , 2009). A finalidade desse ciclo é a transferência de calor que ocorre entre o ambiente climatizado e a evaporadora (Q_L), assim o coeficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração é dado através da seguinte fórmula:

$$\beta = \frac{Q_L (\text{Energia Pretendida})}{W (\text{energia gasta})} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} \quad (4)$$

O ciclo real apresenta um comportamento diferente do ciclo ideal de refrigeração devido à transferência de calor da vizinhança ou para a vizinhança e devido às perdas de carga associada ao escoamento do fluido refrigerante, conforme mostra a figura 04 a seguir (van WYLLLEN et al , 2009).

Na entrada do compressor tem-se vapor superaquecido, que dependendo da sua temperatura ao ser comprimido pelo compressor recebe ou transfere calor para a vizinhança. O líquido que sai do condensador apresenta uma pressão menor que o vapor que está entrando e a temperatura do fluido refrigerante no condensador é um pouco mais elevada que a temperatura do ambiente. Porém ao percorrer a tubulação entre o condensador e a válvula de expansão essa temperatura diminui.

Ao percorrer o evaporador, há uma queda de pressão no fluido refrigerante e sua temperatura aumenta devido à transferência de calor do ambiente interno que esta sendo climatizado. Dependendo da temperatura externa, ao percorrer a tubulação entre o evaporador e o compressor, a temperatura do fluido refrigerante pode aumentar ainda mais, gerando uma perda devido ao aumento do trabalho do compressor (van WYLLLEN et al , 2009).

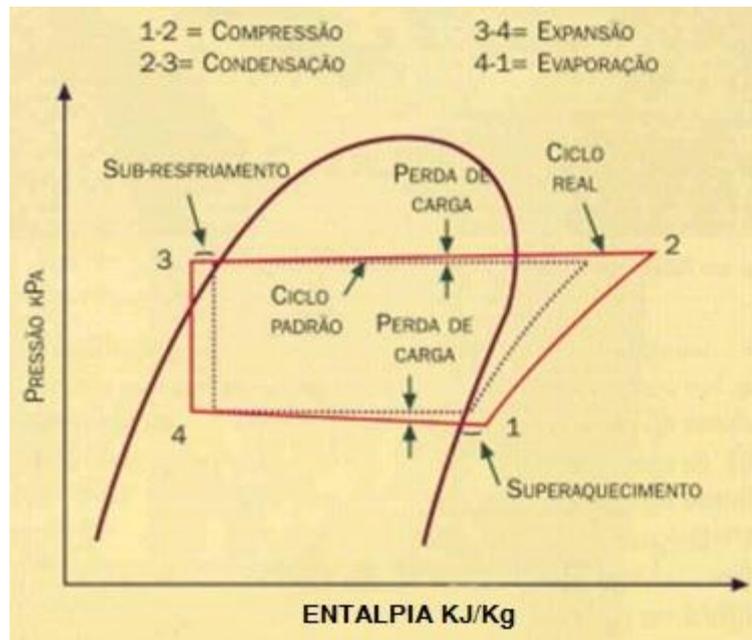


Figura 04 – Representação do ciclo real em relação ao ciclo ideal de refrigeração.

Fonte: (Site Unisinos).

A inversão do ciclo de refrigeração faz com que se obtenha uma bomba de calor. Uma bomba de calor tem como objetivo manter o ambiente a uma temperatura maior que a temperatura externa, ou seja, realiza o inverso do ciclo de refrigeração retirando calor de uma fonte a baixa temperatura e transferindo esse calor para o ambiente a uma temperatura mais elevada. A figura 05 a seguir, mostra o inverso do ciclo de refrigeração baseado em quatro processos (van WYLLLEN et al , 2009).

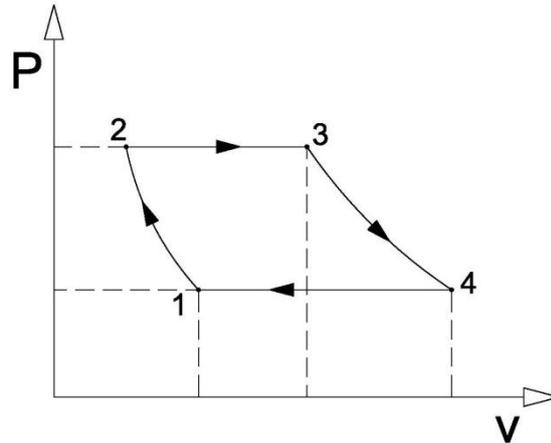


Figura 05 – Ciclo inverso de refrigeração baseado em quatro processos.

Fonte: van Wylen et AL, 2009.

A figura 06 abaixo, esta representando o inverso do ciclo de refrigeração (bomba de calor) contendo seus componentes básicos. A seguir descrevem-se os processos que fazem parte do ciclo inverso de refrigeração:

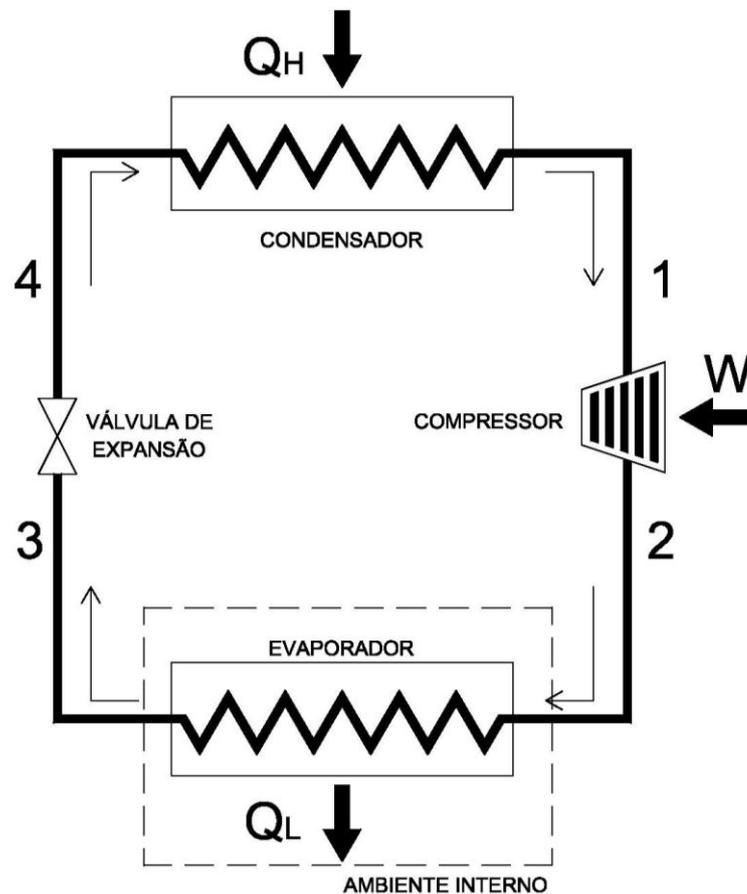


Figura 06 – Ciclo inverso de refrigeração (bomba de calor).

Fonte: van Wylen et AL, 2009.

Processo 1 → 2: No compressor do sistema ocorre um processo adiabático reversível. O fluido refrigerante que vem do condensador é comprimido no compressor até atingir a pressão de evaporação. Ao sair do compressor e se direcionar ao evaporador está superaquecido com uma temperatura maior que a temperatura de condensação.

Processo 2 → 3: No evaporador do sistema tem-se a transferência de calor entre o fluido refrigerante e o ar do ambiente interno. Essa troca de calor faz com o que o fluido baixe a temperatura de superaquecimento para a temperatura de condensação.

Processo 3 → 4: Na válvula de expansão do sistema ocorre uma expansão adiabática e reversível. Nesse processo o fluido refrigerante é condensado da pressão de condensação até a pressão de vaporização.

Processo 4 → 1: No condensador tem-se a absorção de calor do ambiente externo para o fluido refrigerante. Essa absorção de calor faz com que o fluido aumente da temperatura de condensação para a temperatura de superaquecimento.

Na bomba de calor, a finalidade é a transferência de calor ocorrida no condensador (Q_H), assim o coeficiente de desempenho de uma bomba de calor é dado através da seguinte fórmula:

$$\beta = \frac{Q_h (\text{Energia Pretendida})}{W (\text{energia gasta})} = \frac{Q_h}{Q_h - Q_l} = \frac{1}{1 - \frac{Q_l}{Q_h}} \quad (5)$$

2.3 PSICROMETRIA

Psicrometria é o estudo das propriedades das misturas de vapor d'água e ar seco. Pelo ar atmosférico ser formado através da combinação de ar seco, vapor d'água e impurezas, o conhecimento do tema é necessário para projetos de sistemas de climatização.

Para se determinar as propriedades de uma mistura ar-vapor d'água é utilizada a carta psicrométrica, onde essas propriedades são apresentadas em formas de gráfico para uma determinada pressão atmosférica.

Existem diferentes formas de cartas psicrométricas, porém todas trabalham com três propriedades independentes, sendo: pressão, temperatura e composição da mistura (van WYLLEN et al , 2009).

Os termos mais comuns na psicrometria são:

-Temperatura de bulbo seco (TBS) – Temperatura do ar medida através de um termômetro comum.

-Temperatura de bulbo úmido (TBU) – Temperatura do ar medida através de um termômetro comum, porém o bulbo é coberto com um algodão úmido. Pelo fato de possuir o bulbo coberto e úmido, a temperatura no termômetro de bulbo seco e bulbo úmido são diferentes.

-Umidade Relativa (UR) – É definida como a razão entre a quantidade de umidade presente no ar e a quantidade máxima de umidade que o ar pode conter a mesma temperatura. Quando se trata de climatização de ambientes, tanto para resfriar ou aquecer, a umidade relativa é definida como a relação entre a pressão do vapor d'água na mistura e a pressão de saturação na mesma temperatura (TORREIRA, 1983).

Na figura 07 a seguir, carta psicrométrica, abaixo é possível observar a zona de conforto térmico para as estações de inverno e verão. Nota-se que as temperaturas variam de 20°C a 28°C e as umidades relativas tem valores entre 20% e 80%.

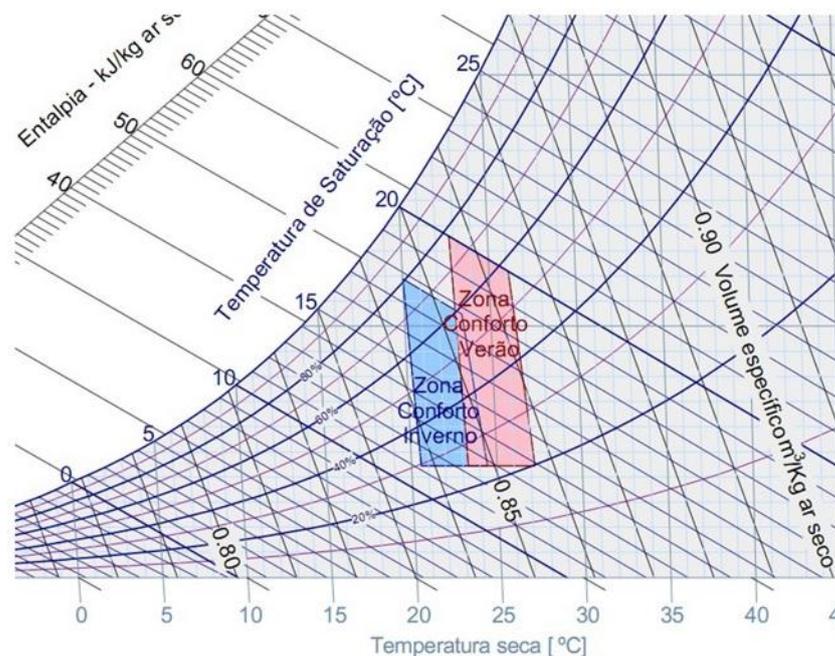


Figura 07 – Carta psicrométrica para determinação das variáveis.

Fonte: (site clima-conforto).

2.4 CONDICIONAMENTO DE AR

Condicionamento de ar é o controle simultâneo da umidade, temperatura, renovação, movimentação e qualidade do ar em ambientes fechados.

A maior parte do condicionamento de ar é utilizada para o conforto de pessoas. Atualmente sistemas de climatização são necessários em obras de grande porte por ajudar na concentração e reduzir a fadiga, gerando assim um aumento na produtividade.

Ao contrário da ventilação mecânica, o condicionamento de ar no interior de ambientes não depende das condições em que o ambiente externo está submetido.

Determina-se a capacidade de qualquer sistema de refrigeração como sendo a rapidez com a qual retira calor de um espaço refrigerado por unidade de tempo, geralmente indicado como kcal/h.

No passado, o gelo foi utilizado como agente refrigerante e com o desenvolvimento da refrigeração, a capacidade de resfriamento dos condicionadores de ar foi comparada com a fusão do gelo.

Para fundir 1,0 kg de gelo são necessárias 80,0 kcal. Seguindo o mesmo raciocínio, para fundir uma tonelada de gelo o qual são necessárias 80.000 kcal. Se uma tonelada de gelo for fundida em um dia (24 horas), precisa-se de uma quantidade de calor de 3.333 kcal/ hora ou 55,56 kcal/min.

Assim, pode-se determinar que um sistema de climatização de ar que tiver uma capacidade de absorver de um espaço refrigerado 55,56 kcal/min ou 3.333 kcal/hora, resfria no mesmo ritmo que a fusão de uma tonelada de gelo em 24 horas, dessa maneira pode-se dizer que o equipamento tem a capacidade de uma tonelada de refrigeração (TR) (TORREIRA, 1983).

A quantidade de calor que deve ser retirada ou adicionada em um ambiente é denominada de carga térmica: de resfriamento, se retirada do ambiente e de aquecimento, se adicionada ao ambiente (TORREIRA, 1983).

Após a determinação das fontes de ganhos e perdas de calor que o ambiente contém, é feita a análise dos fatores determinantes para o cálculo da carga térmica, cujos fatores principais são:

- Orientação do edifício;
- Área do edifício;
- Formas do edifício;
- Materiais utilizados na construção;
- Áreas envidraçadas;
- Quantidade de pessoas.

A orientação do local onde se deseja climatizar deve ser determinada através de bússola, estabelecendo assim a direção das faces. Estas informações tem relação direta com a carga solar, podendo afetar também a posição dos equipamentos.

Por exemplo, ambientes, que possuem face principal voltada para o leste, com grande área envidraçada, terão uma maior carga no período da manhã que é quando ocorre a incidência do sol nessa face (TORREIRA, 1983).

A área do edifício é fundamental para o cálculo da carga térmica, conhecendo o tamanho do ambiente, significa conhecer a área das paredes, teto, vidros entre outros.

A forma de construção do edifício está relacionada principalmente com a distribuição do ar, localização da rede de dutos e localização dos equipamentos.

Construções de alto padrão requerem menos resfriamento ou aquecimento do que construções de baixo padrão, isso se dá pelo material utilizado na execução. Quanto maior a qualidade dos materiais, melhor é o isolamento entre o meio interno e o meio externo, fazendo com que a fuga de ar seja mínima.

A quantidade de calor que passa através do vidro é cerca de 2 vezes maior se comparada com uma parede de tijolo, isso faz com que o vidro seja um dos fatores mais importantes na determinação da carga térmica. Uma das maneiras de diminuir esse fluxo de calor que atravessa o vidro é a utilização de películas protetoras, janelas com vidros duplos ou toldos.

O último fator é a quantidade de pessoas que o ambiente comporta e quais atividades serão realizadas no local (TORREIRA, 1983). Para o conforto térmico é adotada como sendo a temperatura média do corpo humano 37°C , sendo que em casos de enfermidades podem-se admitir as temperaturas de 32°C como mínima e de 42°C como máxima. O corpo humano pode ser comparado como uma máquina térmica que consegue energia através de fenômenos térmicos: 20% dessa energia é utilizada para manter o metabolismo do corpo e os outros 80% são transferidos para o ambiente, mantendo assim o equilíbrio (FROTA E SCHIFFER, 2003).

O calor absorvido e o dissipado pelo corpo estão totalmente interligados com a atividade que o corpo está desenvolvendo; quando em repouso, o calor que é cedido ao ambiente é 75 W (FROTA E SCHIFFER, 2003).

O conforto térmico seria a faixa de temperatura em que o corpo humano consegue apresentar um melhor rendimento para desenvolver certas atividades, como se tem regiões com diferentes tipos de situações climáticas, o conforto térmico não pode ser definido igualmente para todas as regiões, sendo que cada região ou atividade exercida pela pessoa tem uma faixa de conforto térmico (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Por fim, pode-se citar como a característica mais importante do ar para a climatização como sendo um transportador podendo transportar água, calor, fumaça, vapor, partículas sólidas, entre outros materiais (TORREIRA, 1983).

2.5 SISTEMA DE EXPANSÃO DIRETA

É definido como sendo um sistema de expansão direta, o sistema que utiliza um gás refrigerante para realizar a troca de calor com o ambiente.

Esse sistema pode ser encontrado em equipamentos compactos, onde a unidade evaporadora e condensadora encontram-se em um único equipamento ou em equipamentos chamados de splits, onde a unidade condensadora é separada da unidade evaporadora. Normalmente, utiliza-se uma unidade condensadora para cada unidade evaporadora.

Seguindo o mesmo conceito do split convencional, tem-se o VRV (volume de refrigerante variável), que tem como característica principal a utilização de apenas uma unidade condensadora para um conjunto de unidades evaporadoras, conforme mostra a figura 08 a seguir.

Entre os 03 (três) tipos de compressores citados acima o mais utilizado nos sistemas de climatização é o compressor do tipo alternativo, conforme mostra a figura 09. Estes compressores têm como característica um nível de ruído maior e um consumo maior de energia.



Figura 09 – Sistema de expansão direta.
Fonte: (SPRINGER CARRIER, 2009).

2.5.2 CONDENSADOR

O condensador é um trocador de calor utilizado para remover calor do vapor de refrigerante quente, podendo ser resfriado a ar ou a água, sendo que a maioria dos condicionadores de ar de uso comerciais ou residenciais são resfriados a ar.

Essas unidades são instaladas externamente, para que o calor retirado do espaço climatizado seja dissipado. O calor que chega até o condensador é o calor absorvido no evaporador e parte do calor gerado na compressão do fluido refrigerante pelo compressor, gerando uma diminuição na temperatura do fluido de 3°C a 4°C.

A figura 10 a seguir apresenta um modelo de unidade condensadora com sistema de resfriamento a ar.

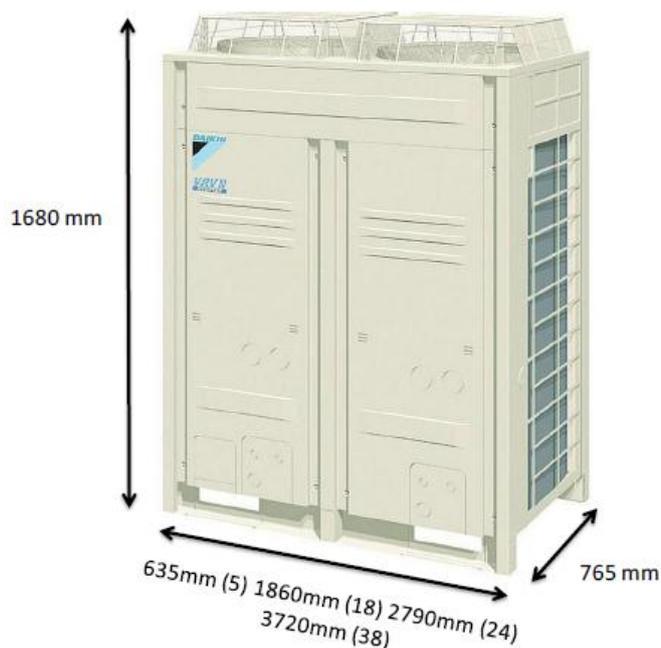


Figura 10 – Condensadora.

Fonte: (DAIKIN, 2014).

2.5.3 VÁLVULA DE EXPANSÃO

Dispositivo empregado nos sistemas de climatização com a finalidade de controlar o escoamento do refrigerante na tubulação e de separar o lado de alta do lado de baixa pressão do sistema, podendo ser manual ou automática.

A válvula de expansão manual é utilizada em sistemas controlados manualmente, sendo que no fim do funcionamento a válvula deve ser fechada para isolar as linhas do sistema.

A válvula de expansão automática controla o escoamento do líquido de acordo com a pressão da linha de sucção que age em seu diafragma. Ao abrir a válvula permite a passagem do refrigerante para o evaporador; essa passagem faz com que a pressão na linha de sucção aumente a pressão fechando a válvula.

A seleção correta desses dispositivos é essencial para um bom desempenho do sistema de climatização.

A seguir a foto 11 está mostrando uma vista explodida de uma válvula de expansão para um sistema de climatização.

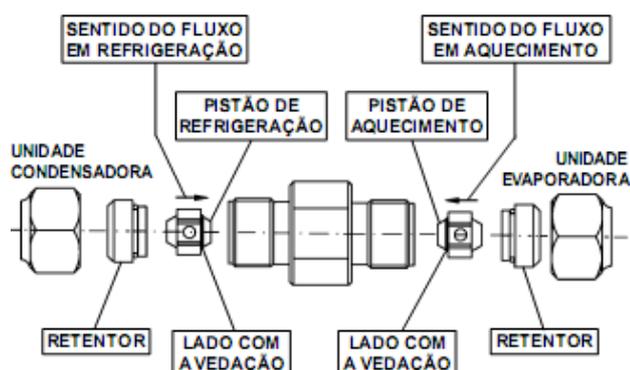


Figura 11 – Válvula de expansão para sistemas de climatização.

Fonte: (SPRINGER CARRIER, 2009).

2.5.4 EVAPORADOR

É qualquer área de superfície de transferência de calor onde o fluido refrigerante passa para retirar o calor presente no ambiente em que esta sendo climatizado.

A serpentina do evaporador é colocada na corrente de ar do aparelho, que ao entrar em contato e atravessar a serpentina perde calor.

Os evaporadores podem ser fabricados em diversos tipos. Basicamente para a climatização o mais utilizado é o evaporador de tubo liso, demonstrado na figura 12, o qual pode ser fabricado em cobre ou alumínio dependendo do fluido refrigerante utilizado.

Normalmente, utilizam-se evaporadores fabricados em cobre, por ser um material mais barato, fácil manuseio, fácil instalação e com boa troca térmica entre o fluido e o ar do ambiente.

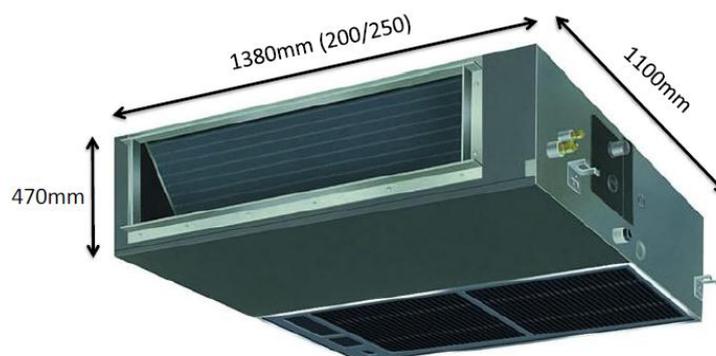


Figura 12 – Evaporadora.

Fonte: (DAIKIN, 2014).

2.5.5 GÁS REFRIGERANTE

Existe uma grande variedade de fluidos refrigerantes que podem ser utilizados no processo de climatização. No início, da implantação dos sistemas de climatização, utilizava-se a amônia e o dióxido de enxofre, porém por se tratarem de substâncias tóxicas foram substituídos.

Durante um grande período de tempo, os refrigerantes mais utilizados foram os hidrocarbonetos halogenados, conhecidos comercialmente como freon e genatron.

Atualmente nos sistemas de climatização de ambientes utiliza-se o gás R-22 (clorodifluorometano) e o gás R-410A (mistura azeotrópica de difluorometano CH_2F_2 + pentafluorometano CHF_2CF_3). O gás R-22 por apresentar menos cloro na sua composição veio para substituir os hidrocarbonetos halogenados, porém há estimativa que até 2015 equipamentos que utilizam o R-22 como fluido refrigerante não sejam mais fabricados, sendo substituídos pelo gás R-410A, que apresenta uma formulação isenta de cloro, a tabela 01 a seguir apresenta refrigerantes alternativos para sistema de climatização.

Tabela 01 – Refrigerantes alternativos para sistema de climatização.

Refrigerante Antigo	R-11	R-12	R-22	R-502
Refrigerante Alternativo	R-123 R-245fa	R-134a R-600a (Isobutano) R-401A R-409A	R-404A R-717 (amônia) R-744 (CO ₂) R-290 (propano) R-410A R-407C	R-404A R-717 (amônia) R-744 (CO ₂)

Fonte: (Livro fundamentos da Termodinâmica)

Os refrigerantes são utilizados para atuar na remoção de calor de um ambiente que está sendo climatizado.

Ao percorrer a serpentina do evaporador, o fluido refrigerante absorve calor do ambiente e passa do estado líquido para o estado de vapor. O calor absorvido na evaporadora é liberado na serpentina do condensador, a liberação de calor para o ambiente externo diminui de 3°C a 4°C a temperatura do fluido refrigerante fazendo com que passe do estado de vapor para o estado líquido.

A tabela 02 abaixo apresenta algumas características como: ponto de ebulição, ponto de fusão e pressão de ponto crítico para o gás R-22 e o gás R-410A.

Tabela 02 - comparação entre R-22 e R-410A

Fluido Refrigerante	Ponto de Fusão (°C)	Ponto de ebulição (°C)	Ponto Critico (Mpa)
R-410A	-155	-48,5	4,86
R-22	-157	-40,7	4,97

Fonte: van WYLLEN et al , 2009.

2.5.6 TUBULAÇÃO

A tubulação frigorígena é responsável por interligar a unidade condensadora a unidade evaporadora em um sistema de climatização, permitindo que o fluido refrigerante percorra todo o sistema para realizar a troca térmica entre os ambientes.

A escolha do material usado na tubulação vai depender do tipo de fluido refrigerante utilizado, pois a tubulação além de estar limpa e livre de umidade não pode reagir com o fluido refrigerante.

Na climatização, podemos utilizar tubulações de alumínio, cobre ou aço inoxidável, porém o mais utilizado dos três é o cobre, por apresentar vantagens no custo, no manuseio, na instalação e na troca térmica.

2.5.7 ISOLAMENTO

O isolamento nas linhas de sucção e linha de expansão tem por finalidade evitar condensação de água nas paredes do tubo, gerando assim precipitação de água no ambiente, perda de calor pela tubulação para o ambiente, perda de eficiência no sistema e aumento da temperatura do líquido refrigerante.

O isolamento térmico das linhas deve apresentar algumas características como:

- Baixa condutividade térmica,
- Espessura de acordo com o diâmetro da tubulação a ser isolada,
- Material altamente flexível e de fácil aplicação.

2.6 SISTEMA DE EXPANSÃO INDIRETA

O sistema expansão direta utiliza como líquido refrigerante a água. Esse tipo de sistema utiliza unidades de produção de água gelada que são distribuídas às unidades internas para que ocorra a troca de calor com o ar do ambiente, conforme figura 13.

A água que atende a todos os equipamentos é resfriada pelo gás R-410A e após o resfriamento, troca calor com o ambiente. Esse calor absorvido é transferido para o gás; como o gás troca calor indiretamente com o ambiente, o sistema foi denominado como expansão indireta.

Para conseguir um bom balanceamento e um bom funcionamento, este sistema demanda diversos equipamentos, sendo na maioria das vezes equipamentos de grande porte. Por ser mais específico, só se torna viável para grandes áreas, sendo muito aplicado em grandes indústrias.

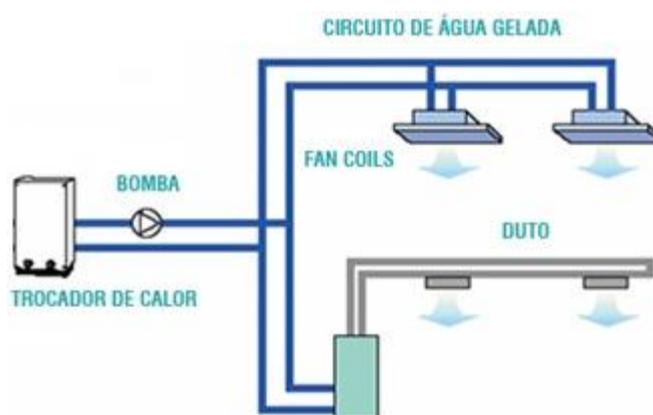


Figura 13 – Sistema de expansão indireta.

Fonte: (Site MF Soluções Industriais).

2.6.1 CHILLER

Equipamento que refrigera a água utilizada pelos fancoils no sistema de água gelada. O seu resfriamento pode ser feito de duas formas, através do ar quando o equipamento é instalado ao ar livre ou através de água gelada quando o equipamento fica no interior de uma casa de máquinas, conforme figura 14 abaixo.

Por ser um equipamento mais robusto e sofisticado só é viável para instalações que demandam de no mínimo 100 TR, ou em casos especiais, como laboratórios.



Figura 14 – Unidade de resfriamento de água.

Fonte: (TRANE, 2012).

2.6.2 FANCOIL E FANCOLETES

Os condicionadores de ar que utilizam como líquido refrigerante a água no resfriamento e desumidificação do ar são chamados fancoils e fancoletes.

Diferentemente dos equipamentos de expansão direta, apresentam altas capacidades variando de 1 TR a 50 TR, com vazões entre 800 m³/h a 45000 m³/h, podendo em alguns casos chegar a vazão de 100000 m³/h. A capacidade é a principal diferença entre fancoil e fancoletes. São denominados fancoletes, os equipamentos com pequenas capacidades, utilizados em ambientes que demanda de pouca taxa de troca térmica. Por outro lado, os fancoils, representados pela figura 15 abaixo, apresentam alta capacidade térmica e um porte mais robusto, sendo utilizados para ambientes que demandam uma alta taxa de vazão de troca térmica e de ar.

Para o insuflamento do ar no interior do ambiente, é necessário realizar uma filtragem. Na filtragem, qualquer tipo de filtro pode ser utilizado, pois esses dispositivos trabalham com pressões manométricas que variam de 5mmca a 150 mmca (diferentemente dos splits que apresentam no máximo pressão manométricas de 10 mmca).

Sua utilização é bastante indicada em hospitais e laboratórios, devido à alta capacidade de filtragem do ar, promovendo assim um ar totalmente limpo para o ambiente.



Figura 15 – Unidade de tratamento de Ar.

Fonte: (TRANE, 2012).

2.6.3 VÁLVULAS, BOMBA DE ÁGUA GELADA E TUBULAÇÃO

Válvulas ao longo de toda a linha são necessárias para o controle, balanceamento e manutenção da rede.

As válvulas de balanceamento são instaladas nas saídas dos fancoils e nas saídas dos chillers, sendo utilizadas para balancear a vazão de água, que retorna para a linha principal, mantendo o fluxo de água normal.

As válvulas de controle utilizadas podem ser do tipo borboleta para tubulações com grandes diâmetros e do tipo esfera para tubulações com diâmetros pequenos. O acionamento das válvulas pode ser de maneira manual ou automática, sendo as válvulas manuais somente utilizadas nos by-pass e as com acionamento automático utilizado ao longo da linha. O controle e balanceamento pode ser com válvulas do tipo on/off ou proporcional, sendo que as válvulas proporcionais apresentam um maior controle da linha e um menor gasto de energia.

Essas válvulas são interligadas com os sensores de temperatura da sala. A válvula proporcional tem a opção de trabalhar em qualquer posição e as válvulas on/off trabalham apenas na opção aberta ou fechada, gerando um controle menos preciso, porém ambas atuam liberando a passagem da água quando precisa resfriar o ambiente e restringindo a passagem da água, quando a temperatura do ambiente é atingida. A figura 16 mostra os modelos de válvulas mais utilizados para a climatização.

As bombas de água gelada (BAG) são responsáveis pela movimentação da água no interior da tubulação, garantindo que a água que sai do chiller chegue até os fancoils, conforme mostra figura 17.

Sistemas de expansão indireta demandam de tubulações de água fabricadas em aço carbono. É utilizado o aço carbono devido ao tamanho das tubulações que geralmente chegam a usar diâmetros de 16”, demonstrada na figura 18.



Figura 16 – Modelos de válvulas utilizadas nas tubulações.

Fonte: (TA Hydronics).



Figura 17 – Bombas de água gelada interligadas a linha principal.

Fonte: (Site Maranata montagem industrial).



Figura 18 – Linha de água gelada.
Fonte: (Site Maranata montagem industrial).

2.6.4 ISOLAMENTO

Assim como no sistema de expansão direta, toda a linha de água gelada precisa ser isolada para que a troca de calor entre o fluido resfriado e o ambiente externo seja mínima.

O isolamento utilizado é o mesmo que é utilizado para sistemas de expansão direta (com espuma elastomérica). A única diferença é a espessura do isolamento, sendo o isolamento para rede de água gelada maior que o utilizado para tubos de cobre; isso se dá devido à alta vazão de água e os diâmetros serem muito maior.

Ao redor do isolamento são utilizadas chapas de alumínio, conforme se nota na figura 19, para proteção contra danos mecânicos e contra vandalismos. Locais onde não tem a proteção e o isolamento térmico da tubulação é retirado ou danificado gera condensação na parede externa do tubo e precipitação de água no interior do ambiente, muitas vezes esses ambientes demandam de equipamentos que não podem ser expostos a contato com a água, por isso é importante a camada externa de alumínio.



Figura 19 – Linha de água gelada isolada com camada exterior de alumínio.
Fonte: (Site Maranata montagem industrial).

2.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE CADA SISTEMA

O conhecimento das vantagens e desvantagens de cada sistema apresentado acima são de fundamental importância para:

- Análise de viabilidade e determinação do sistema mais vantajoso,
- Conhecimento do tempo de retorno do capital investido,
- Equipamentos, materiais e acessórios utilizados na instalação,

A seguir os quadros 01 e 02 mostrando as vantagens e desvantagens para implantação dos sistemas VRV e para o sistema de água gelada respectivamente.

Quadro 01 – Vantagens e desvantagens - sistema VRV.

SISTEMA VRV	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Equipamentos externos com menor porte	Maior Investimento na aquisição do VRV
Linha única de gás refrigerante	Diminuição da capacidade de refrigeração a medida que as evaporadoras se afastam da condensadora
Menor espaço físico para implantação dos equipamentos	Comprimento da tubulação do gás refrigerante limitado pela potência da condensadora
Menos interferência na estrutura do ambiente	Quantidade limitada de evaporadoras
Menor tempo de Instalação	Por apresentar evaporadoras equivalentes as evaporadoras do sistema convencional, não realiza a renovação do ar no interior do ambiente que está climatizando
Facil manuseio das Unidades Externas	Inviável para indústrias por apresentar limitação na expansão e no comprimento da tubulação
Menor custo de energia por tonelada de refrigeração	Expansão futura na linha é mais difícil, por muitas vezes as unidades condensadoras estarem no limite de operação

Quadro 02 – Vantagens e desvantagens - sistema de Água Gelada.

SISTEMA ÁGUA GELADA	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Equipamentos com maior capacidade de refrigeração	Equipamentos externos com maior porte
Não apresenta limitação no comprimento da tubulação	Linha de água gelada com diâmetros maiores
Quantidade de Unidades internas (fancoletes hidrônicos) ilimitada	Necessita de um espaço físico maior para colocação dos equipamentos (casa de máquinas)
Possibilidade de fazer a renovação do ar no interior do ambiente que está atendendo	Maior tempo de instalação dos equipamentos
Utiliza a água como principal fluido refrigerante, e em caso de vazamentos não atinge o meio ambiente	Maior consumo de energia por tonelada de refrigeração
Fácil expansão do sistema, podendo adicionar futuras unidades internas	Necessita de válvulas, filtros, manômetros, Termômetros, ponto de dreno, purgadores de ar, entre outros acessórios ao longo de toda linha de água gelada
Menor custo na aquisição de um sistema de água gelada	
Não apresenta diminuição na capacidade de refrigeração a medida que os fancoletes se afastam do chiller	

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo comparativo entre os sistemas de água gelada e VRV para um prédio de três pavimentos, de área total 1873 m², localizado na cidade de Curitiba, conforme as plantas das figuras 20, 21 e 22 abaixo. Foi utilizado um programa para o cálculo da carga térmica e comparado estes resultados com o valor calculado pela norma NBR-5858 para o primeiro pavimento.

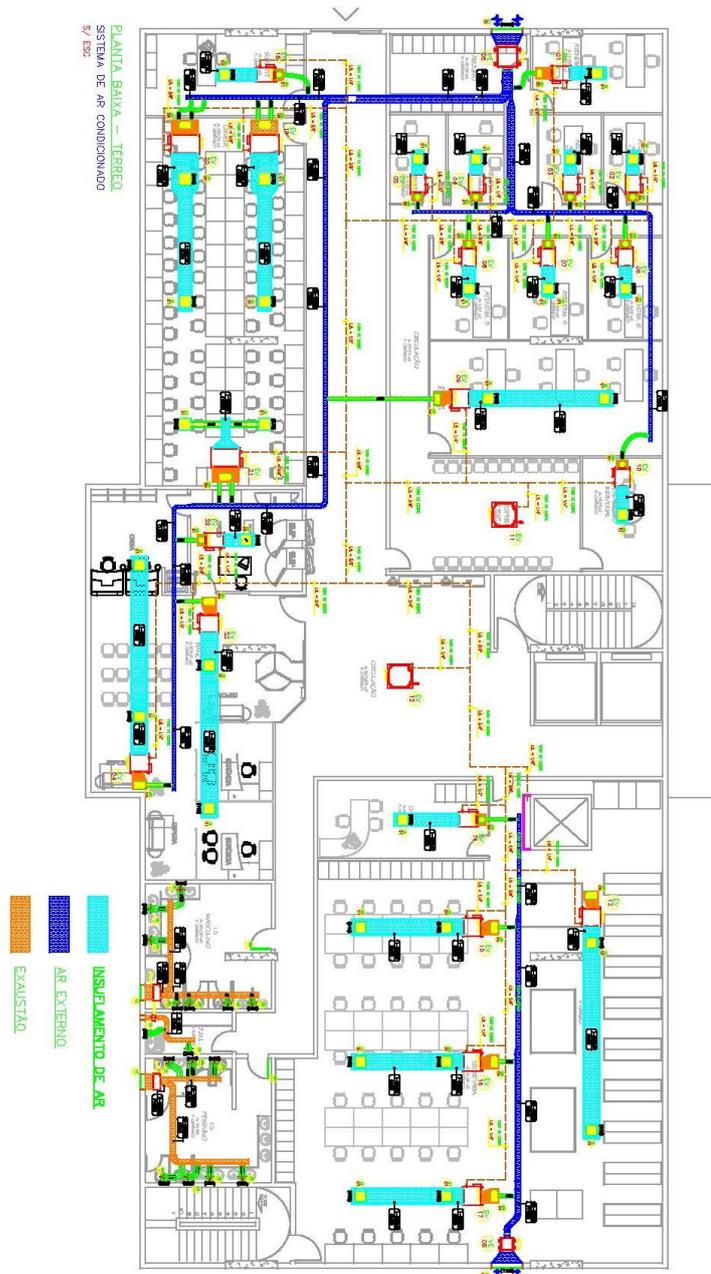


Figura 20 – Planta baixa pavimento Térreo.

Fonte: (AEB ENGENHARIA).



Figura 21 – Planta baixa 1º pavimento.

Fonte: (AEB ENGENHARIA).

3.1 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA

Alguns parâmetros como condições externas, condições internas e atividades desenvolvidas no interior do ambiente são importantes para o cálculo da carga térmica, conforme mostra o quadro 03 abaixo.

Quadro 03 – Parâmetros para cálculo da carga térmica.

CONDIÇÕES INTERNAS	Quantidade de pessoas
	Área dos ambientes
	Forma dos ambientes
CONDIÇÕES EXTERNAS	Localização
	Área de Vidros
	Temperatura Externa
OPERAÇÃO DA INSTALAÇÃO	Atividade desenvolvida
	Iluminação
	Quantidade de equipamentos

Para o trabalho em questão foram realizados dois tipos de cálculo de carga térmica, sendo um feito eletronicamente pelo programa CTERM WIN e outro feito manualmente para o 1º pavimento, de acordo com a norma NBR-5858 Condicionador de ar doméstico.

Ao realizar a carga térmica através do programa CTERM WIN, pode escolher para calcular o coeficiente global de transmissão através do coeficiente global de cada material utilizado na construção ou adotar um valor médio.

Abaixo as figuras 23, 24, 25, 26 e 27 mostram a interface do programa para o preenchimento com as informações.

3.1.1 PROGRAMA CTERMWIN

A figura 23 abaixo mostra a interface para preenchimento dos dados da cidade em que a construção esta localizada.

Figura 23 – Programa CTERMWIN informações das cidades.

Fonte: (O Autor).

A figura 24 abaixo mostra a lista de dados das superfícies. Com essa lista determina-se o coeficiente de troca térmica de acordo com o material utilizado na construção, tornando a carga térmica mais precisa.

Superfícies	Valor U	Peso
CRY WALL CASSO	1.550	40
cupula puc	0.377	3
DIVISÓRIA INT C	1.029	40
DIVISORIA RENAU	1.445	40
domus	1.244	0
dry wall 8cm	0.514	21
ex nihva	0.623	1469
Exemplo	1.000	1
FORD1	0.476	1
FORRO ARMSTRON	1.408	1
FORRO CENVEN	0.202	41

Figura 24 – Programa CTERMWIN lista de dados de superfícies.

Fonte: (O Autor).

Abaixo a figura 25 mostra a interface para preenchimento dos dados da construção. A quantidade de pessoas, iluminação e fontes de calor internas influenciam no cálculo da carga térmica para cada sala.

Figura 25 – Programa CTERMWIN dados de projeto.

Fonte: (O Autor).

O cálculo de condutibilidade térmica pode ser realizado conforme mostra a figura 26 abaixo. De acordo com o material utilizado na construção, o programa calcula automaticamente o coeficiente de condutibilidade térmica.

Figura 26 – Programa CTERMWIN Cálculo de condutibilidade térmica.

Fonte: (O Autor).

Após o preenchimento com os dados da construção, finaliza-se a carga térmica com a escolha do coeficiente de segurança, o horário de funcionamento do local e o período em que o local estará em funcionamento, abaixo a figura 27 mostra a interface para adição dos dados citados acima.

The image shows two overlapping windows from the CTERMWIN software. The 'Rastreamento' (Tracking) window is in the foreground, and the 'Calculadora' (Calculator) window is partially visible behind it.

Rastreamento Window:

- Coef Segur (%): 5
- Gira Coord: 0
- Ventilador: Soma Carga
- Pr Def (mmCA): 30.00
- Zona Atual: Todas, Selecionar
- Mes Inicial (1..12): 1
- Mes Final (1..12): 12
- Hora Inicial (0..23): 0
- Hora Final (0..23): 23
- Calc com Sombreamento
- Buttons: Cancela, Ok
- Progresso: Mes: Janeiro, Hora: 16:00

Calculadora Window:

- Total encontrado em: Janeiro 00:00
- Idade: IARINGA
- Num Regs: 113
- Buttons: Limpa, Rastreia, Calcula, Exam Det, Ajuda, Eecha

	Q Sens (kcal/h)	Q Lat (kcal/h)	Q Tot (kcal/h)
Vidros Ext	0	0	0
Par Ext e Teto	0	0	0
Par Internas	0	0	0
Cargas Int	0	0	0
Ar Externo	0	0	0
Ventiladores	0	0	0
Total	0	0	0
Vaz Ar Insuf	0	(m3/h)	
Vaz Ar Ext	0	(m3/h)	

Figura 27 – Programa CTERMWIN estimativa da carga térmica.

Fonte: (O Autor).

Para que o programa realize o cálculo corretamente, é necessário classificar e dividir a construção em zonas e salas.

Classifica-se como zona um conjunto de salas ou ambientes que sejam atendidos pelo mesmo equipamento, ou um conjunto de salas com características construtivas e geográficas iguais, não importando a quantidade de pessoas e fonte de emissão de calor interna, uma zona pode conter mais de uma sala.

As salas são classificadas de acordo com a distribuição física da construção e a distribuição das unidades internas utilizadas no projeto. No mínimo uma unidade interna tem que atender uma sala, sendo levado em conta a quantidade de pessoas e todas as fontes de calor internas para o cálculo de carga térmica de cada sala. Uma sala só pode ser pertencente a uma única zona e uma zona pode apresentar um conjunto de diversas salas.

Após o preenchimento de todas as informações necessárias conforme descrito acima, o software realiza o cálculo da carga térmica e gera uma tabela com os dados.

Esses dados vêm separados pelas zonas e pelas salas que foram determinadas ao preencher o programa.

Para equipamentos individuais com um pequeno porte que atendem somente um ambiente, utilizam-se os dados contidos na sala. Assim, pode-se selecionar cada equipamento separadamente sem que uma sala interfira na climatização de outra sala.

Para equipamentos individuais com grande porte e que atendem a mais de um ambiente, utilizam-se os dados de carga térmica contidos na zona, assim climatizam-se mais de um ambiente com um único equipamento. Nesse caso, a escolha tem que respeitar a soma de todas as salas contidas na zona, garantindo que a quantidade de calor mínima a ser retirada ou adicionada ao ambiente seja atendida com o equipamento escolhido.

3.1.2 CÁLCULO PELA NORMA NBR-5858

Outra maneira de calcular a carga térmica dos ambientes é seguindo as orientações da norma NBR-5858², que realiza o cálculo da carga térmica através de uma tabela com valores pré-determinados, sendo necessário apenas o preenchimento com as informações do prédio climatizado.

Utiliza-se esse formulário quando necessita estimar a carga térmica de ambientes que não demandam de temperaturas e condições específicas, como: hospitais e câmaras frias, podendo ser usado para residências, escritórios e restaurantes.

Os valores pré-determinados na tabela, são baseados nas temperaturas externas de 38 °C para bulbo úmido e 34 °C para bulbo seco, podendo ser usado em qualquer região do território nacional, sendo necessário apenas a aplicação do fator de correção para cada localidade, conforme mostra a figura 28 a seguir.

² NBR-5858 – Documento em anexo na página 57.



Figura 28 – Fator geográfico para cálculo de carga térmica.

Fonte: (Norma NBR-5858).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 REPRESENTAÇÃO DOS PAVIMENTOS

A Tabela 03 abaixo mostra os resultados obtidos pelo cálculo da carga térmica através do programa CTERM WIN para o prédio analisado.

Tabela 03 – Cálculo de carga térmica.

PREDIO01	Area	Vazão	VzAExt	Tbs	QSens	QLat	Qtot
(Janeiro 16:00)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	(C)	(kcal/h)	(kcal/h)	(kcal/h)
Total	1873.40	47948	12019	23.00	225148	94252	319400
Zona 1- NAO CONDICIONADA	-	-	-	30.00	-	-	-
Zona 2- TERREO	518.40	18165	4819	23.00	69639	37836	107475
Zona 3- 1º PAVIMENTO	669.00	21670	3997	23.00	75780	31381	107161
Zona 4- 2º PAVIMENTO	686.00	24413	3203	23.00	79729	25035	104764

Fonte: (CTERM WIN).

Da tabela apresentada acima, retiramos a quantidade de ar externo necessária para cada zona, e a quantidade de calor mínima que deve ser retirada por hora do ambiente.

Como o prédio apresenta 03 (três) pavimentos, separa-se cada pavimento em uma zona. Assim tem-se 04 (quatro) zonas, sendo que a primeira zona é a não condicionada, utilizada para o cálculo de paredes internas.

Dessa maneira podem-se separar os equipamentos de modo que cada equipamento atenda a um único pavimento, garantindo que em caso de falha somente um pavimento fique sem ser climatizado.

A tabela 04 a seguir, apresenta o valor total obtido pelo cálculo da carga térmica para o 1º pavimento através da norma NBR-5858.

Tabela 04 – Cálculo de carga térmica através da norma NBR-5858.

1.	Calor Recebido de:	Quantidade		Fatores				Kcal/h	
		-	-	S/ Proteção	C/ Proteção Interna	C/ Proteção Externa	Área x Fator	Quantidade x Fator	
1.1	Norte	0	m ²	240	115	70	0	11305	
1.2	Nordeste	48	m ²	240	95	70	4560		
1.3	Leste	0	m ²	270	130	85	0		
1.4	Sudeste	11	m ²	200	85	70	935		
1.5	Sul	0	m ²	0	0	0	0		
1.6	Sudoeste	26	m ²	400	160	115	4160		
1.7	Oeste	0	m ²	500	220	150	0		
1.8	Noroeste	11	m ²	350	150	95	1650		
2.	Janelas: Transmissão								
2.1	Vidro Comum	95	m ²	50			4750	4750	
2.2	Tijolo de Vidro	0	m ²	25			0		
3.	Paredes			Construção Leve		Construção Pesada			
3.1	Paredes Externas								
3.1.1	Orientação Sul	0	m ²	13		10		2436	
3.1.2	Outra Orientação	203	m ²	20		12	2436		
3.2	Paredes Internas	301	m ²	8				2408	
4.	Teto								
4.1	Laje	0	m ²	75			0	0	
4.2	Laje c/ 2,5cm de insolação ou mais	669	m ²	60			40140	40140	
4.3	Entre andares	0	m ²	13			0	0	
4.4	Sob telhado isolado	0	m ²	13			0	0	
4.5	Sob telhado sem isolação	0	m ²	40			0	0	
5.	Piso	669	m ²	13			8697	8697	
6.	Número de Pessoas	141	qtda	150			21150	21150	
7.	Iluminação	669	m ²	15			10035	10035	
8.	Aparelhos elétricos	19600	watts	1			19600	19600	
9.	Portas ou vãos	0	m ²	150			0	0	
10.	Total							0,90	107565

Ao realizar a comparação entre as duas cargas térmicas realizadas, nota-se que os valores finais são próximos e apresentam uma diferença de apenas 404 kcal/h a mais na carga térmica feita seguindo as orientações da norma NBR-5858.

Porém essa diferença observada pode ser desconsiderada quando for realizado o selecionamento dos equipamentos, pois não encontramos equipamentos com valores iguais ao gerado na tabela, sendo necessário fazer um arredondamento desses valores para valores conhecidos comercialmente.

A diferença entre os dois modos de calcular a carga térmica está na rapidez que o programa CTERM WIN proporciona. Com apenas uma entrada de dados, no final obtém um relatório separado por salas e por zonas atendidas, diferente do cálculo realizado pela tabela, que se for preciso separar por zonas ou salas é necessário fazer mais de uma tabela, cada uma com as informações da região que pretende atender com o equipamento. Mas, em termos de valores finais de calor que precisam ser retirados do ambiente, os dois métodos de cálculo são eficientes, gerando no final uma carga térmica com diferenças pequenas que podem ser desconsideradas.

4.2 ORÇAMENTO

Para que o orçamento seja feito, é necessário que se tenha o dimensionamento do sistema, o tipo de sistema a ser empregado e a quantidade de material necessária que será utilizado para a implantação do sistema de climatização escolhido.

A importância do orçamento é mostrar o quanto de capital está sendo investido em um sistema de climatização, e em caso de dois ou mais sistemas, é realizar a comparação dos custos de investimento com a eficiência, o desempenho e a vida útil de cada sistema.

O custo de implantação para grandes áreas geralmente é alto, por se tratar de equipamentos modernos e com altas capacidades de operação. Para a contratada que fornece o serviço de instalação, esse custo é calculado em cima dos custos diretos e indiretos da empresa. Os custos diretos, engloba a mão-de-obra, os equipamentos e materiais e os custos indiretos englobam os serviços internos referentes a obra, como engenharia, administração e supervisão.

Os quadros 02 e 03 a seguir, mostram a lista de material, contendo os materiais necessários para implantar um sistema de água gelada e um sistema de expansão direta (VRV).

Quadro 04 – Lista de material – Sistema VRV.

SISTEMA VRV	
1	EQUIPAMENTOS
1.1	Unidades condensadoras do tipo VRV,
1.2	Unidades evaporadoras para o sistema VRV,
1.3	Ventiladores para a renovação do ar no interior dos ambientes,
1.4	Ventiladores para a exaustão do ar,
2	REDE DE DUTOS
2.1	Painel de MPU (poliuretano) para rede de dutos de insuflamento e retorno,
2.2	Chapa de aço galvanizado para rede de dutos de exaustão e ar externo,
3	MATERIAL DE DIFUSÃO
3.1	Difusores de insuflamento de ar,
3.2	Grelhas de retorno de ar,
3.3	Grelhas de portas,
3.4	Venezianas para tomada de ar externo,
4	LINHA FRIGORIGENA
4.1	Tubulação de cobre rígido para interligar condensadora – evaporadora,
4.2	Isolamento 9mm preto para tubulação de cobre rígido,
4.3	Luva de cobre,
4.4	Curva 90° de cobre,
4.5	Carga adicional de gás R-410A,
4.6	Fita adesiva,
4.7	Solda prata,
4.8	Nitrogênio,
5	ELÉTRICA
5.1	Cabo de comando,
5.2	Cabo PP
5.3	Eletrodutos e Eletrocalhas,
5.4	Painel de força e comando.

Quadro 05 – Lista de material – Sistema Água Gelada.

SISTEMA ÁGUA GELADA	
1	EQUIPAMENTOS
1.1	Unidade de resfriamento de água - Chiller 100 TR - Vazão: 55 m³/h
1.2	Unidade de troca de calor interna
1.3	Bomba de água gelada
1.4	Ventiladores para a renovação do ar no interior dos ambientes,
1.5	Ventiladores para a exaustão do ar,
2	REDE DE DUTOS
2.1	Painel de MPU (poliuretano) para rede de dutos de insuflamento e retorno,
2.2	Chapa de aço galvanizado para rede de dutos de exaustão e ar externo,
3	MATERIAL DE DIFUSÃO
3.1	Difusores de insuflamento de ar,
3.2	Grelhas de retorno de ar,
3.3	Grelhas de portas,
3.4	Venezianas para tomada de ar externo,
4	LINHA DE ÁGUA GELADA
4.1	Tubulação em aço carbono para interligar as unidades interna ao chiller
4.2	Isolamento 10mm preto para tubulação de aço carbono
4.3	Luva de aço galvanizado
4.4	Curva 90° de aço galvanizado
4.5	Válvulas de controle
4.6	Válvulas de Balanço
4.7	Válvulas de bloqueio
4.8	Termômetros
4.9	Manômetros
4.10	Filtro Y
5	ELÉTRICA
5.1	Cabo de comando,
5.2	Cabo PP
5.3	Eletrodutos e Eletrocalhas,
5.4	Painel de força e comando.

Ao comparar as duas listas de materiais, notam-se que alguns itens são iguais e não apresentam diferenças, como é o caso da rede de dutos, da ventilação, da exaustão e da parte elétrica de cada sistema.

A diferença está nos equipamentos e acessórios utilizados, como os dois sistemas tem princípios e requisitos de funcionamentos diferentes, os equipamentos se diferenciam, sendo cada equipamento restrito para cada sistema de climatização.

Essa diferença de equipamento e de acessórios faz com que os preços finais sejam distintos, as tabelas 05 e 06 a seguir mostram os valores dissolvidos para a implantação de cada sistema de climatização.

Tabela 05 – Planilha dissolvida – Sistema VRV.

	un	Qtd.	R\$ Unitário		R\$ Total
			M.O	Material	
EQUIPAMENTOS VRV					
Terreo					
VRV	un	1	R\$ 34.942,18	R\$ 384.363,96	R\$ 419.306,14
1º Pav					
VRV	un	1	R\$ 17.471,09	R\$ 366.892,87	R\$ 384.363,96
2º Pav					
VRV	un	1	R\$ 26.206,63	R\$ 375.628,42	R\$ 401.835,05
VENT E EXAUST					
Terreo					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.717,48	R\$ 4.503,68
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,35
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
1º Pav					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.495,55	R\$ 4.281,74
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,35
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
2º Pav					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.495,55	R\$ 4.281,74
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,35
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
DUTOS					
Terreo					
DUTOS	vb	1	R\$ 6.988,44	R\$ 20.965,31	R\$ 27.953,74
1º Pav					
DUTOS	vb	1	R\$ 6.988,44	R\$ 17.471,09	R\$ 24.459,52
2º Pav					
DUTOS	vb	1	R\$ 5.241,33	R\$ 15.723,98	R\$ 20.965,31
MATERIAIS DE DIFUSÃO					

Terreo						
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 2.096,53	R\$ 11.356,21	R\$	13.452,74
1º Pav						
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 8.735,54	R\$	10.482,65
2º Pav						
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 1.921,82	R\$ 9.609,10	R\$	11.530,92
Frigorigena						
Terreo						
LINHA FRIGORIGENA	vb	1	R\$ -	R\$ 20.965,31	R\$	20.965,31
1º Pav						
LINHA FRIGORIGENA	vb	1	R\$ -	R\$ 20.091,75	R\$	20.091,75
2º Pav						
LINHA FRIGORIGENA	vb	1	R\$ -	R\$ 20.441,17	R\$	20.441,17
ELETRICA						
Terreo						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 16.597,53	R\$	18.344,64
1º Pav						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 2.096,53	R\$ 17.820,51	R\$	19.917,04
2º Pav						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 1.921,82	R\$ 17.471,09	R\$	19.392,91
Cobertura						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 10.482,65	R\$	12.229,76
SUPORTES						
Terreo						
SUPORTES	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.620,66	R\$	4.367,77
1º Pav						
SUPORTES	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.096,53	R\$	3.843,64
2º Pav						
SUPORTES	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.271,24	R\$	4.018,35
Subtotal					R\$	1.500.000,00

Tabela 06 – Planilha dissolvida – Sistema água gelada.

Descrição	Unid.	Qtd.	R\$ Unitário		R\$ Total
			M.O	Material	
EQUIPAMENTOS - ÁGUA GELADA					
Chiller 100 TR - Vazão: 55 m³/h	un	1	R\$ 73.588,34	R\$ 651.943,66	R\$ 725.532,00
Bomba de água gelada	un	1	R\$ 6.897,64	R\$ 16.125,93	R\$ 23.023,57
VENT E EXAUST					
Terreo					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.717,48	R\$ 4.503,68
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,36
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
1º Pav					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.717,48	R\$ 4.503,68
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,36
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
2º Pav					
BBS 225 - vazão de 4.000 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 3.717,48	R\$ 4.503,68
BBS 160 - vazão de 1.150 m³/h	un	1	R\$ 786,20	R\$ 2.986,35	R\$ 3.772,55
MGDD 160 - vazão de 1.400 m³/h	un	2	R\$ 786,20	R\$ 1.675,48	R\$ 4.923,36
Turbo 125 - vazão de 300 m³/h	un	1	R\$ 349,42	R\$ 611,49	R\$ 960,91
DUTOS					
Terreo					
DUTOS	vb	1	R\$ 6.988,44	R\$ 20.965,31	R\$ 27.953,75
1º Pav					
DUTOS	vb	1	R\$ 6.988,44	R\$ 17.471,09	R\$ 24.459,53
2º Pav					
DUTOS	vb	1	R\$ 5.241,33	R\$ 15.723,98	R\$ 20.965,31
MATERIAIS DE DIFUSÃO					
Terreo					
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 2.096,53	R\$ 11.356,21	R\$ 13.452,74
1º Pav					
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 8.735,54	R\$ 10.482,65
2º Pav					
DIFUSÃO	vb	1	R\$ 1.921,82	R\$ 9.609,10	R\$ 11.530,92
LINHA ÁGUA GELADA					
TUBULAÇÃO ÁGUA GELADA	vb	1	R\$ 136.270,75	R\$ 283.897,39	R\$ 420.168,13
ACES. TUBULAÇÃO	vb	1	R\$ 40.881,22	R\$ 127.753,82	R\$ 168.635,05

ELETRICA						
Terreo						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 18.189,73	R\$ 44.365,19	R\$ 62.554,92	
1º Pav						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 19.530,03	R\$ 47.634,22	R\$ 67.164,25	
2º Pav						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 19.147,09	R\$ 46.700,23	R\$ 65.847,32	
Cobertura						
ELÉTRICA	vb	1	R\$ 11.488,25	R\$ 28.020,12	R\$ 39.508,37	
SUPORTES						
Terreo						
SUPORTES REDE DE DUTOS	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.620,66	R\$ 4.367,77	
SUPORTES LINHA DE AGUA GELADA	vb	1	R\$ 6.135,92	R\$ 12.783,18	R\$ 18.919,10	
1º Pav						
SUPORTES REDE DE DUTOS	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.096,53	R\$ 3.843,64	
SUPORTES LINHA DE AGUA GELADA	vb	1	R\$ 5.843,46	R\$ 12.173,88	R\$ 18.017,34	
2º Pav						
SUPORTES REDE DE DUTOS	vb	1	R\$ 1.747,11	R\$ 2.271,24	R\$ 4.018,35	
SUPORTES LINHA DE AGUA GELADA	vb	1	R\$ 6.025,81	R\$ 16.047,99	R\$ 22.073,80	
Subtotal					1.795.000,00	

Nas duas tabelas apresentas acima, os valores dos custos indiretos e do lucro estão dissolvidos nos valores dos equipamentos e na mão-de-obra de cada sistema, dessa maneira o cliente não consegue ter acesso ao percentual de lucro que a empresa esta trabalhando.

O valor total da instalação do sistema VRV fica em R\$: 1.500.000,00, sendo desses R\$ 1.500.000,00, aproximadamente, 15% são custos com mão-de-obra (R\$: 130.000,00) e o restante, com material.

O lucro total dessa instalação fica em torno dos 20% (R\$: 300.000,00), já descontados os impostos e demais despesas geradas no decorrer da obra.

Para o sistema de água gelada o valor total da instalação fica em R\$: 1.795.000,00, sendo desses R\$: 1.795.000,00, aproximadamente 15% são custos com mão-de-obra (R\$: 270.000,00) e o restante com material.

O lucro para o sistema de água gelada fica perto dos 15% (R\$: 310.000,00), nesse valor já está incluso todos os custos e impostos gerados no decorrer da obra.

Entre os dois sistemas, optou-se pela implantação do sistema de expansão indireta (VRV), por apresentar vantagens já citadas como: equipamentos com menor porte, menor interferência na arquitetura, atender perfeitamente a ambientes comerciais e domésticos e principalmente por apresentar um valor final abaixo do valor gerado pelo sistema de água gelada.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando o que foi descrito a cima, percebe-se que ao implantar um sistema de condicionamento de ar com a opção de água gelada (sistema de expansão indireta), a maior vantagem está em uma possível expansão do sistema caso haja uma ampliação no prédio, expansão essa que fica complicada para um sistema de expansão indireta, pois conta com um comprimento de tubulação e uma quantidade de unidades internas limitadas.

Sob o ponto de vista financeiro, temos um valor de R\$: 1.500.000,00 para o sistema de expansão direta e R\$: 1.795.000,00 para o sistema de expansão indireta. Observa-se que ao implantar o sistema VRV, há uma economia de aproximadamente R\$: 300.000,00. Esse valor é significativo a qualquer investidor. Porém a escolha pelo sistema mais barato, faz com que a construção não possa sofrer uma expansão, assim é necessário avaliar se tem uma intensão de expandir a construção futuramente.

A preocupação com o meio ambiente destaca-se na utilização de fluidos refrigerantes livres de cloro na sua composição química para o sistema de expansão direta e para o sistema de expansão indireta, a utilização de água para o resfriamento, causando assim um menor impacto ambiental caso haja um vazamento.

Como recomendação sugere-se:

- A utilização de um programa de carga térmica mais atual, como por exemplo o E-20 da CARRIER, que utilize como base os dados da norma brasileira para ar condicionado. O programa utilizado atualmente (CTERM WIN) é antigo e apresenta a possibilidade de manipulação na carga térmica, pois os dados utilizados são preenchidos pelo próprio usuário.

- A substituição das planilhas utilizadas para realizar o orçamento por programas específicos para cálculo de orçamento. Assim a chance de cometer um erro durante o a montagem do orçamento fica menor e a precisão dos valores em que se pode trabalhar fica maior.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários Parte 2: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários Parte 3: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5858**: Condicionador de ar doméstico. Rio de Janeiro: 2008.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado 6ª edição**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

TORREIRA, R. P. **Elementos Básicos e Ar Condicionado**. São Paulo: Hermus Editora, 1983.

MILLER, R.; MILLER, M. R. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008.

WYLEN, G. V., SONNTAG, R., & BORGNACKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. Edgard Blücher LTDA, 2001.

SPRINGER CARRIER. (2008). **Manual de Instalação, Operação e Manutenção - Split Modernité**.

SPRINGER CARRIER. (2009). **Manual do Usuário - Minimax**.

DAIKIN. (2014). **Manual de Instalação, operação e Manutenção – Sistema VRV**.

TRANE. (2012). **Manual de Instalação, operação e Manutenção – Sistema Água gelada**.

MF SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Disponível em: <<http://www.mfserv.com.br/?n=19>> Acesso em 28 de agosto de 2014.

MARANATA. Disponível em: <<http://www.maranatamontagens.com.br/servicos/instalacao-e-montagem-de-equipamentos/>> Acesso em 28 de agosto de 2014.

CLIMA CONFORTO. Disponível em: < <http://www.climaconforto.pt/>> Acesso em 28 de agosto de 2014.

7 ANEXOS

ANEXO 1 – CARTA PSICROMÉTRICA

