

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

ANA CAROLINE TEIXEIRA MESSIAS

**ANÁLISE TERMO-AMBIENTAL DE UM FRIGORÍFICO DE ABATE E
PROCESSAMENTO DE CARNE SUÍNA.**

UBERLÂNDIA – MG

2022

ANA CAROLINE TEIXEIRA MESSIAS

**ANÁLISE TERMO-AMBIENTAL DE UM FRIGORÍFICO DE ABATE E
PROCESSAMENTO DE CARNE SUÍNA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno P. Antunes

UBERLÂNDIA - MG

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por não deixar eu desistir.

Aos meus pais e irmão por todo o apoio e força que me ajudaram a chegar até aqui.

As minhas avós que rezavam por mim a cada prova.

Aos meus avôs que sempre me alegraram em tempos difíceis.

Ao meu marido que é meu porto seguro a cada desafio.

Ao meu orientador pela oportunidade de realizar este trabalho e pelos ensinamentos repassados.

“Não é a força, mas a constância dos bons resultados que conduz os homens à felicidade. ”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Para a elaboração desse trabalho foi desenvolvido um projeto de refrigeração para um cliente fictício, sendo projetado, túnel de congelamento, câmara de congelados e câmara de resfriados a fim de congelar e armazenar carne suína na cidade de Uberlândia – MG. Primeiramente foram abordados os processos de abate e evisceração necessários para que a carne esteja em condições de comercialização. A metodologia empregada no projeto, inicialmente se deu com o cálculo da espessura mínima dos painéis de isolamento, para garantir que a temperatura desejada se mantenha dentro dos ambientes propostos e posteriormente foi calculado a carga térmica máxima em cada ambiente. Com a carga térmica calculada, foram selecionados os equipamentos para as instalações, comparando dois fluidos refrigerantes, o R404A e o R717. Por fim, foi calculado o TEWI para ambos os fluidos afim de comparação.

Palavras chaves: Projeto, Carga térmica, refrigeração, TEWI, R404A, R717.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor. ----- | 12 |
| Figura 2: Diagrama esquemático e T-s do ciclo real de refrigeração por compressão de vapor. ----- | 14 |
| Figura 3: Processo de resfriamento de um produto.----- | 20 |
| Figura 4: Modelo de compressor escolhido para o túnel de congelamento, Alternativo semi-hérmético (R404A)----- | 42 |
| Figura 5: Modelo de compressor selecionado para o túnel de congelamento, Compressor parafuso (R717). ----- | 43 |
| Figura 6:Modelo da bomba selecionada para o túnel de congelamento (R404A). ---- | 45 |
| Figura 7: Modelo da válvula de expansão selecionada para o túnel de congelamento (R404A). ----- | 49 |
| Figura 8: Modelo da válvula de expansão selecionada para o túnel de congelamento (R717).----- | 50 |
| Figura 9: Modelo de condensador selecionado para o túnel de congelamento (R404A). ----- | 53 |
| Figura 10: Modelo de condensador selecionado para o túnel de congelamento (R717). ----- | 55 |
| Figura 11: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de congelados (R404A). ----- | 57 |
| Figura 12:Modelo de evaporador selecionado para a câmara de congelados (R717). 58 | |
| Figura 13: Modelo de compressor selecionado para a câmara de congelados, Alternativo semi-hérmético (R404A).----- | 59 |
| Figura 14: Modelo de compressor selecionado para a câmara de congelados, Compressor parafuso (R717). ----- | 60 |
| Figura 15: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de resfriados (R404A) 68 | |
| Figura 16:Modelo de evaporador selecionado para a câmara de resfriados (R717)--- | 69 |
| Figura 17: Modelo de compressor selecionado para a câmara de resfriados, Alternativo semi-hérmético (R404A).----- | 70 |
| Figura 18: Modelo de compressor selecionado para a câmara de resfriados, Compressor de pistão (R717). ----- | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Resumo das datas previstas para a proibição dos CFCs | 11 |
| Tabela 2: Relação de alguns refrigerantes e seus valores de ODP e GWP. | 12 |
| Tabela 3: Classificação do isolamento | 16 |
| Tabela 4: Acréscimo de temperatura pela incidência de radiação solar. | 17 |
| Tabela 5: Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação. | 18 |
| Tabela 6: Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara ($\Delta H'$, em kcal/m ³). | 19 |
| Tabela 7: Relação potência do motor com rendimento do mesmo. | 23 |
| Tabela 8: Tempo de operação típico dos compressores frigoríficos | 24 |
| Tabela 9: Relação de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido. | 27 |
| Tabela 10: Relação de espessura do isolante com o Coeficiente Global de transmissão de calor | 28 |
| Tabela 11: Temperatura de operação dos ambientes refrigerados. | 29 |
| Tabela 12: Parâmetros utilizados para determinar a carga térmica de condução e insolação. | 30 |
| Tabela 13: Parâmetros utilizados para determinar a carga térmica de infiltração. | 31 |
| Tabela 14: Propriedades Térmicas de Alimentos - Produtos de Origem Animal. | 32 |
| Tabela 15: Desempenho térmico para seleção do evaporador do túnel de congelamento (R404A). | 38 |
| Tabela 16: Dados elétricos do evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R404A). | 39 |
| Tabela 17: Desempenho térmico para seleção do evaporador do túnel de congelamento (R717). | 40 |
| Tabela 18: Dados elétricos do evaporador selecionado para o túnel de congelamento R717). | 40 |
| Tabela 19: Dados de desempenho do compressor selecionado para o túnel de congelamento (R404A). | 42 |
| Tabela 20: Dados de desempenho do compressor selecionado para o túnel de congelamento (R717). | 43 |
| Tabela 21: Dados técnicos do R404A | 44 |
| Tabela 22: Dados técnicos da bomba selecionada para o túnel de congelamento (R404A). | 45 |
| Tabela 23: Propriedades físicas do R717. | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabela 24: Propriedades física-químicas do R717. | 47 |
| Tabela 25: Dados técnicos da válvula selecionada para o túnel de congelamento (R404A)..... | 48 |
| Tabela 26: Dados técnico da válvula selecionada para o túnel de congelamento (R717). | 49 |
| Tabela 27: Correção de Capacidades (R404A). | 51 |
| Tabela 28: Dados técnicos do condensador selecionado para o túnel de congelamento (R404A)..... | 52 |
| Tabela 29: Fator de correção (R717)..... | 53 |
| Tabela 30: Dados técnicos do condensador selecionado para o túnel de congelamento (R717)..... | 54 |
| Tabela 31: Dados de engenharia do evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R717). | 55 |
| Tabela 32: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de congelados (R404A)..... | 56 |
| Tabela 33: Dados elétricos do evaporador selecionado para a câmara de congelados (R404A)..... | 56 |
| Tabela 34: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de congelados (R717)..... | 57 |
| Tabela 35: Dados elétricos do evaporador selecionado para a câmara de congelados (R717)..... | 58 |
| Tabela 36: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de congelados (R404A)..... | 59 |
| Tabela 37: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de congelados (R717)..... | 60 |
| Tabela 38: Dados técnicos da bomba selecionada para a câmara de congelados (R404A). | 62 |
| Tabela 39: Dados técnicos para seleção da válvula para câmara de congelados (R404A). | 63 |
| Tabela 40: Dados técnico para seleção da válvula para a câmara de congelados (R717). | 63 |
| Tabela 41: Correção de Capacidades (R404A). | 64 |
| Tabela 42: Dados técnicos do condensador para a câmara de congelados (R404A).... | 65 |
| Tabela 43: Fator de correção (R717)..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Tabela 44: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de resfriados (R404A)..... | 67 |
| Tabela 45: Dados elétricos para o evaporador selecionada para a câmara de resfriados (R404A)..... | 67 |
| Tabela 46: Desempenho térmico para seleção dos evaporadores da câmara de resfriados (R717)..... | 68 |
| Tabela 47: Tabela 48: Dados elétricos para o evaporador selecionada para a câmara de resfriados (R717)..... | 69 |
| Tabela 49: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de resfriados (R404A)..... | 70 |
| Tabela 50: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de resfriados (R717)..... | 71 |
| Tabela 51: Dados técnicos da bomba selecionada para a câmara de resfriados (R404A). | 73 |
| Tabela 52: Dados técnicos para seleção da válvula para a câmara de resfriados (R404A). | 74 |
| Tabela 53: Dados técnico para seleção da válvula para a câmara de resfriados (R717). | 75 |
| Tabela 54: Correção de Capacidades (R404A). | 76 |
| Tabela 55: Dados técnicos do condensador selecionado para a câmara de resfriados (R404A)..... | 77 |
| Tabela 56: Fator de correção (R717). | 78 |
| Tabela 57: Taxas anuais de vazamento por classe de equipamento/aplicação. | 79 |
| Tabela 58: Emissão de CO2 para geração de eletricidade no Brasil. | 79 |
| Tabela 59: Potência consumida dos equipamentos com fluido refrigerante R404A. | 80 |
| Tabela 60: Potência consumida dos equipamentos com fluido refrigerante R717. | 80 |
| Tabela 61: Energia elétrica total consumida para cada fluido refrigerante. | 80 |
| Tabela 62: Cálculo do efeito direto. | 81 |
| Tabela 63: Cálculo do efeito indireto. | 81 |
| Tabela 64: Cálculo TEWI. | 81 |

SUMÁRIO

| | | |
|------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. | Objetivo | 8 |
| 3. | Revisão bibliográfica..... | 9 |
| 3.1. | Estudo de caso..... | 9 |
| 3.2. | Fluidos refrigerantes..... | 10 |
| 3.3. | Introdução ao ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor..... | 12 |
| 3.4. | Principais equipamentos do processo..... | 13 |
| | Compressor..... | 13 |
| | Condensador..... | 13 |
| | Válvula de expansão..... | 13 |
| | Evaporador..... | 14 |
| 3.5. | Introdução ao ciclo real de refrigeração por compressão de vapor..... | 14 |
| 3.6. | Painéis de isolamento..... | 15 |
| 3.7. | Cálculo da carga térmica de refrigeração..... | 16 |
| | Carga térmica de condução e insolação..... | 17 |
| | Carga térmica de infiltração..... | 17 |
| | Carga térmica do produto..... | 19 |
| | Carga térmica de iluminação..... | 21 |
| | Carga térmica de ocupação..... | 21 |
| | Carga térmica dos motores dos equipamentos..... | 22 |
| 3.8. | Capacidade frigorífica do compressor..... | 23 |
| 4. | TEWI..... | 25 |
| 4.1. | Método de Calculo..... | 25 |
| 5. | Resultado..... | 27 |
| 5.1. | Cálculo do isolamento térmico..... | 27 |
| 5.2. | Cálculo da carga térmica..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Carga térmica de condução e insolação..... | 29 |
| Carga térmica de infiltração..... | 30 |
| Carga térmica do produto | 31 |
| Carga térmica de iluminação | 32 |
| Carga térmica de ocupação | 33 |
| Carga térmica dos motores dos equipamentos..... | 34 |
| 5.3. Capacidade frigorífica do compressor..... | 36 |
| 6. Seleção dos equipamentos..... | 38 |
| 6.1. Túnel de congelamento..... | 38 |
| Evaporadores | 38 |
| Compressores..... | 41 |
| Bombas | 43 |
| Válvulas de expansão. | 48 |
| Condensadores | 50 |
| 6.2. Câmara de Congelados | 55 |
| Evaporadores | 55 |
| Compressores..... | 58 |
| Bombas | 61 |
| Válvulas de expansão. | 63 |
| Condensadores | 64 |
| 6.3. Câmara de resfriados | 66 |
| Evaporadores | 66 |
| Compressores..... | 69 |
| Bombas | 72 |
| Válvulas de expansão. | 74 |
| Condensadores | 75 |
| 7. Cálculo TEWI..... | 78 |

| | |
|-------------------|----|
| 8. CONCLUSÃO..... | 82 |
| Referências | 83 |
| ANEXO A | 85 |

1. INTRODUÇÃO

Por ser um alimento perecível, a carne precisa de procedimentos de conservação que garantem preservar a sua qualidade e evitam alterações que a inutilizam como alimento.

O método de conservação mais utilizado atualmente é a refrigeração. Com isso, a carne é submetida a baixas temperaturas desde o começo com o resfriamento da carcaça até o armazenamento na geladeira do consumidor final.

As conservações a baixas temperaturas retardam os principais agentes responsáveis pela deterioração da carne, prolongando a viabilidade comercial do alimento.

E o papel do engenheiro na refrigeração é garantir que os sistemas empregados no dado setor e aplicação atenda aos objetivos do cliente, ao passo que o consumo de energia e o custo-benefício sejam também favoráveis a implantação.

Considerando os parâmetros delimitados pelo protocolo de Montreal, vamos comparar dois fluidos refrigerantes no projeto, o R404A e a amônia, e estimar os impactos ambientais de cada fluido através do método TEWI, impacto total de aquecimento equivalente.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo investigar os efeitos ambientais relativos ao projeto de um frigorífico de abate e processamento de carne suína na cidade de Uberlândia. Projetar e dimensionar 3 sistemas de refrigeração, sendo eles: túnel de congelamento, câmara de congelados e câmara de resfriados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, será realizado uma revisão bibliográfica sobre definições, especificações e esclarecimentos associados ao projeto. Também serão apresentados os dados necessários para o dimensionamento dos equipamentos.

3.1. ESTUDO DE CASO

O processo de produção inicia-se com o transporte dos animais da granja para o frigorífico. Ao desembarcarem, os animais ficam confinados na área de descanso no frigorífico por no mínimo 3 horas, afim de minimizar o estresse sofrido no manejo diminuindo os efeitos sobre a qualidade da carne. Após o período de descanso são direcionados para o abate.

O abate começa com a insensibilização elétrica, seguido da pendura e à sangria.

A insensibilização consiste em deixar o animal completamente inconsciente por alguns instantes, afim de minimizar o sofrimento. A insensibilização pode ser elétrica ou com CO_2 .

Existem dois modos de insensibilização elétrica, a eletronarcose e a eletrocussão.

A eletronarcose é um processo reversível e utiliza dois pontos (dois eletrodos posicionados atrás da orelha). A corrente elétrica paralisa a atividade cerebral, promove a epilepsia e leva à inconsciência do animal, impedindo que ele sinta dor. Após a insensibilização, os suínos devem ser sangrados imediatamente, não podendo ultrapassar 10 segundos.

A eletrocussão é um processo irreversível e utiliza três pontos (dois eletrodos atrás da orelha e mais um eletrodo posicionado na região cardíaca). Primeiramente a corrente elétrica é transmitida para o cérebro causando a inconsciência do animal, em seguida para a região cardíaca causando parada cardíaca e consequentemente a morte do animal.

Já na insensibilização com CO_2 , o animal é conduzido para uma gôndola, similar a uma roda gigante, de forma que quando a primeira desce para a segunda etapa, a última automaticamente ocupa o lugar da primeira. A gôndola se movimenta levando os suínos para o fundo de um fosso, conforme que a cada etapa a concentração de CO_2 aumenta até a total insensibilização. O CO_2 atua no sistema nervoso causando a depressão das funções celulares, a transferência de impulso nervoso é diminuída, bloqueando a transição de estímulos, levando a inconsciência do animal e a analgesia. O processo total em média tem duração de 40 a 60 segundos.

Após a insensibilização é realizado a sangria que é feita pela secção da carótida e jugular. O volume de sangue vai diminuindo e o coração passa a bater mais rápido, bombeando

a maior parte do sangue para fora. O animal deve permanecer na mesa de sangria por pelo menos 3 minutos. Em seguida é suspenso pelas patas traseiras para que saia a maior quantidade de sangue possível.

A próxima etapa é o escaldamento, onde o animal é submerso em um tanque com água quente por dois a cinco minutos. Essa etapa contribui para diminuir a carga microbiana da carcaça.

Após o escaldamento, as carcaças seguem para o depilador mecânico, dotado de escovas rotativas que removem as cerdas dos suínos e a flambagem manual onde com o auxílio de um lança chamas é retirado as cerdas remanescentes.

Por fim, a evisceração que consiste na abertura do suíno e na remoção das vísceras, seguido da desossa e separação das partes e carnes dos suínos.

As carnes suínas são separadas e parte são levadas para a câmara de estocagem de resfriados e parte para a câmara de estocagem de congelados passando pelo túnel de congelamento, aumentando assim sua vida útil.

O frigorífico desse projeto terá a demanda de 800 suínos por dia, aproximadamente 4800 kg de carne, com câmara de estocagem de resfriados e congelados com capacidade de 30.000 kg de carnes cada uma.

3.2. FLUIDOS REFRIGERANTES

Fluido refrigerante, fluido frigorífico ou, simplesmente, refrigerante é uma substância empregada em um ciclo de refrigeração e/ou condicionamento de ar capaz de remover e/ou adicionar calor aos ambientes internos e externos ao volume de controle estabelecido em projeto. Por isso, a seleção do fluido refrigerante é de extrema importância.

No início, eram utilizados como refrigerante substâncias como NH_3 , SO_2 e CH_3Cl . Posteriormente, com a necessidade de se obter temperaturas próximas de $-75\text{ }^\circ\text{C}$, passaram a utilizar substâncias com N_2O , C_2H_6 , e mesmo, o proprano. Com o desenvolvimento de novos equipamentos pelas indústrias frigoríficas, cresceu a necessidade de novos refrigerantes, levando a descoberta dos CFCs (hidrocarbonetos à base de flúor e cloro).

Os CFCs não são inflamáveis, explosivos, corrosivos, são extremamente estáveis e são muito pouco tóxicos, reunindo assim, uma combinação única com várias propriedades desejáveis. Porém em 1974 foi demonstrado que compostos clorados podem migrar para a estratosfera e destruir moléculas de ozônio, com isso, os CFCs foram condenados como os maiores responsáveis por aparecimento de buracos na camada de ozônio sobre a Antártica.

Então em 1986, o Protocolo de Montreal determinou a substituição dos CFCs, provocando assim, uma revolução na indústria frigorífica.

Desde então, novos componentes e equipamentos vem sendo desenvolvidos. E também tem surgido inúmeros refrigerantes substitutos dos CFCs, a maioria no âmbito da família dos hidrocarbonetos halogenados e refrigerantes naturais.

A Tabela 1 apresenta as datas previstas para a proibição dos CFCs.

Tabela 1: Resumo das datas previstas para a proibição dos CFCs

| "PHASE-OUT" | REFRIGERANTE | AÇÃO |
|-------------|----------------|--|
| 1996 | R11, R12, R500 | Extingue a produção dos refrigerantes. Equipamentos não mais fabricados. |
| 2010 | HCFC-22 | Pára a fabricação de equipamentos |
| 2040 | HCFC-22 | Pára a fabricação do refrigerante no hemisfério Sul |
| 2020 | HCFC-123 | Pára a fabricação de equipamentos |
| 2030 | HCFC-123 | Pára a fabricação do refrigerante |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 167)

Nos últimos anos, o problema da camada de ozônio tem se associado ao problema do efeito estufa. O efeito estufa consiste na retenção de parte da energia solar incidente, devido a presença de certos gases na atmosfera. Esses gases são chamados de gases de efeito estufa, eles absorvem os raios solares e passam a emitir de volta para a superfície terrestre radiação infravermelha, ou seja, calor. Somente parte desse calor consegue sair da atmosfera e voltar para o espaço. Dessa forma, parte da irradiação solar incidente vai sendo armazenada, provocando um aumento na temperatura da superfície terrestre.

Para a caracterização do nível de ação sobre a camada de ozônio e do efeito estufa, dois índices foram criados:

- OPD (Potencial de destruição da camada de ozônio): quantifica o potencial de destruição da camada de ozônio que o composto apresenta em relação ao refrigerante R11, ao qual é atribuído o valor 1.

- GWP (Potencial de aquecimento global): relativo ao efeito estufa direto causado pelo refrigerante CO₂, ao qual é atribuído o valor 1. Sendo este, o resultado do efeito direto, causado pela presença física do composto na atmosfera, e do efeito indireto, resultante da emissão de

CO₂ pela queima de combustível fóssil para produzir energia elétrica necessária para acionar a instalação frigorífica que opera com o particular refrigerante.

Tabela 2: Relação de alguns refrigerantes e seus valores de ODP e GWP.

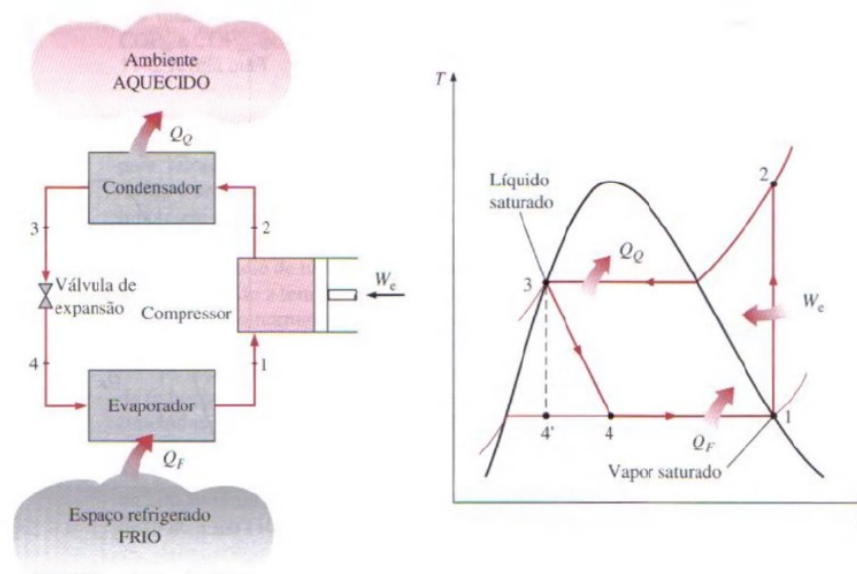
| Fluído Refrigerante | Tipo | ODP (R11 = 1) | GWP (CO ₂ = 1) |
|--------------------------|---------|---------------|---------------------------|
| R-134a | HFC | 0 | 1.300 |
| R-404a | HFC | 0 | 3.922 |
| R-407c | HFC | 0 | 1.774 |
| R-410a | HFC | 0 | 2.088 |
| R-448a | HFC/HFO | 0 | 1.390 |
| R-448a | HFC/HFO | 0 | 1.397 |
| R-507 | HFC | 1 | 3.985 |
| R290 | HC | 0 | 3 |
| R600 | HC | 0 | 4 |
| R-717 (amônia) | Natural | 0 | <1 |
| R-744 (CO ₂) | Natural | 0 | 1 |
| R-1234 yf | HFO | 0 | 4 |

Fonte: <http://www.allenge.com.br/sustentabilidade/>

3.3. INTRODUÇÃO AO CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR DE VAPOR

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais utilizado para refrigeradores.

Figura 1: Ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: Çengel e Boles (2006, pag. 494)

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, o fluido refrigerante entra no compressor no estado 1 como vapor saturado e é comprimido isoentropicamente. Durante o processo de compressão, a temperatura do fluido aumenta, e o fluido entra no condensador no estado 2 como vapor superaquecido. Calor é rejeitado no condensador a pressão constante e o fluido sai como líquido saturado no estado 3. O fluido é então expandido pela válvula de expansão e sua temperatura cai abaixo da temperatura do espaço refrigerado. O fluido entra então no evaporador no estado 4 como uma mistura saturada com baixo título de vapor e evapora completamente pelo calor que é absorvido do espaço refrigerado saindo no estado 1 como vapor saturado completando o ciclo.

3.4. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO PROCESSO

Compressor

O compressor tem como função retirar o vapor do evaporador, comprimindo-o a uma determinada pressão deslocando-o no interior do circuito de refrigeração.

O ideal é que entre no compressor somente refrigerante no estado de vapor, pois quando há entrada de refrigerante na fase líquida, ele pode ficar retido no cabeçote do cilindro pelo êmbolo, podendo danificar as válvulas e o próprio êmbolo. O refrigerante líquido pode também expandir e ocorrer condensação nas paredes externas do compressor, formando neve. E também existe a possibilidade do líquido “lavar” as paredes do cilindro, eliminando o óleo e acelerando o desgaste.

Condensador

O condensador tem como função retirar o calor absorvido pelo evaporador “jogando-o” no ambiente externo, ou seja, o condensador troca calor com o ambiente externo. Com isso, há uma baixa de temperatura, provocando a condensação do fluido, do estado gasoso para o líquido, ficando disponível para uma nova evaporação.

Válvula de expansão

A válvula de expansão tem como função diminuir a pressão vindo do condensador, reduzindo assim a temperatura. A temperatura após a válvula de expansão deve ser menor do que a do ambiente refrigerado, de modo que, à medida que o gás receba calor, a temperatura aumente, mas sem ultrapassar a temperatura do ambiente refrigerado.

Evaporador

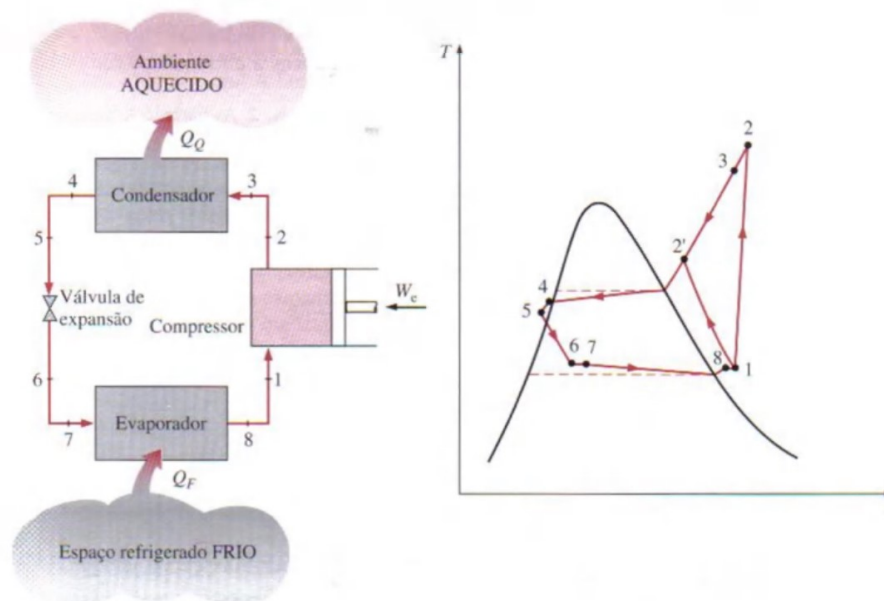
O evaporador tem a função de trocar calor com o meio refrigerado, absorvendo o calor do meio. Com isso, há um aumento de temperatura, provocando a evaporação do fluido refrigerante, para a entrada no compressor.

3.5. INTRODUÇÃO AO CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Diversos desvios existem em um ciclo de refrigeração real quando comparado com o ciclo ideal da Figura 1.

No ciclo ideal, o refrigerante sai no estado 1 do evaporador e entra no compressor como vapor saturado. Na prática é difícil controlar o estado do refrigerante de modo tão preciso. Em vez disso, é mais fácil criar o sistema para que o refrigerante fique ligeiramente superaquecido na entrada do compressor, garantindo que o refrigerante esteja totalmente vaporizado quando entrar no compressor. Outro ponto, é a queda de pressão causada pelo atrito do fluido devido a linha que conecta o evaporador ao compressor não ser muito longa, e também a transferência de calor da vizinhança para o refrigerante pode ser significativa.

Figura 2: Diagrama esquemático e T-s do ciclo real de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: Çengel e Boles (2006, pag. 497)

Então de modo geral, o fluido entra no compressor como vapor superaquecido e passa pelo condensador, onde há uma queda de pressão do fluido por conta principalmente de perdas de cargas advindas do atrito do fluido com a tubulação, que chega a válvula de expansão como líquido comprimido, etapa conhecida como subresfriamento. O subresfriamento do fluido que deixa o condensador é uma prática generalizada, garantindo que o fluido que entra na válvula de expansão seja líquido, pois seu funcionamento fica comprometido quando há entrada de vapor junto ao líquido.

O processo de passagem pela válvula de expansão continua sendo considerado isoentálpico como no ciclo ideal, por ser uma etapa relativamente rápida e tomada como instantânea. Por fim, o fluido refrigerante entra na linha do evaporador como uma mistura líquido e vapor, recebendo calor do ambiente até atingir o estado inicial de vapor superaquecido, etapa conhecida como superaquecimento e recomeçar o ciclo novamente.

3.6. PAINÉIS DE ISOLAMENTO

As câmaras frigoríficas são ambientes refrigerados, fechados, isolados termicamente, no interior dos quais são preservadas condições de temperatura e umidade mais indicadas para a conservação de produtos alimentícios. Para cada câmara frigorífica, há um cálculo criterioso da carga térmica a ser retirada pelo equipamento frigorífico e o período de tempo necessário do processo, portanto cada câmara frigorífica é projetada para um determinado fim.

Para dimensionamento do isolamento, tem-se a fórmula:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} + \frac{L_{\text{alv}}}{k_{\text{alv}}} + \frac{L_{\text{iso}}}{k_{\text{iso}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} \quad (1)$$

Onde:

U = Coeficiente global de transferência de calor;

α_{ext} e α_{int} = Coeficientes de convecção externo e interno;

L_{iso} e L_{alv} = Espessuras do isolamento e da alvenaria;

k_{iso} e k_{alv} = Condutividade térmica do isolamento e da alvenaria.

Desprezando as resistências térmicas de convecção e da alvenaria, tem-se que

$$\frac{1}{U} = \frac{L_{\text{iso}}}{k_{\text{iso}}} \rightarrow U = \frac{k_{\text{iso}}}{L_{\text{iso}}} \quad (2)$$

$$q = \frac{k_{\text{iso}}}{L_{\text{iso}}} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \rightarrow L_{\text{iso}} = \frac{k_{\text{iso}}}{q} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (3)$$

Para determinar uma boa classificação do isolamento utilizou-se a tabela abaixo:

Tabela 3: Classificação do isolamento

| | | |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| ■ Isolamento excelente: | 8,0 kcal/h.m ² | (9,3 W/m ²) |
| ■ Isolamento bom: | 10,0 kcal/h.m ² | (11,63 W/m ²) |
| ■ Isolamento aceitável: | 12,0 kcal/h.m ² | (13,96 W/m ²) |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 70)

Para o dimensionamento do projeto, considerou-se $q = 11,63 \text{ W/m}^2$

E para determinação da condutância tem-se:

$$\frac{k_{\text{iso}}}{L_{\text{iso}}} = \frac{q}{T_{\text{ext}} + \Delta T_{\text{irs}} - T_{\text{int}}} \quad (4)$$

3.7. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERAÇÃO

Neste tópico será avaliado o cálculo da carga térmica de refrigeração conforme metodologias consolidadas por VENTURINI e PIRANI (2005).

A carga térmica de refrigeração é a taxa com que calor deve ser rejeitado de um ambiente refrigerado para mantê-lo à temperatura desejada. Esta taxa depende de diversos fatores intermitentes abordados neste capítulo, por isso tem uma variação significativa ao longo do tempo. Para manter a temperatura de interesse, os equipamentos utilizados na refrigeração industrial são controlados e devem ser dimensionados levando em consideração a carga térmica de refrigeração, calcula como

$$CT = \dot{Q}_{\text{co}} + \dot{Q}_{\text{in}} + \dot{Q}_{\text{pr}} + \dot{Q}_{\text{il}} + \dot{Q}_{\text{oc}} + \dot{Q}_{\text{mo}} \quad (5)$$

Em que CT é a carga térmica total de refrigeração, e os fatores do somatório são os diferentes fatores intermitentes a serem estudados.

Carga térmica de condução e insolação

A carga térmica de condução e insolação é o ganho de energia térmica causado pela diferença de temperatura entre o ambiente refrigerado e o ambiente externo e pela incidência de radiação solar direta sobre as paredes do ambiente refrigerado. O fluxo de calor penetra na câmara através das superfícies das paredes, teto e piso e pode ser calculada por:

$$\dot{Q}_{co} = 24 \cdot U \cdot A \cdot (T_{ext} + T_{irs} - T_{int}) \quad [\text{kcal/dia}] \quad (6)$$

Onde:

\dot{Q}_{co} = a carga térmica de condução e insolação;

U = o coeficiente global de transferência de calor (capacidade do material de propagar calor) [kcal/m²h°C];

A = a área normal a direção da transferência de calor [m²];

T_{ext} = a temperatura externa [°C];

T_{int} = a temperatura interna [°C];

T_{irs} = o acréscimo de temperatura causado pela incidência de radiação solar [°C].

O T_{irs} depende da cor e da orientação cardinal da parede, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4: Acréscimo de temperatura pela incidência de radiação solar.

| TIPO DE SUPERFÍCIE | PAREDES | | | TETO |
|---|---------|--------|--------|---------|
| | LESTE | OESTE | NORTE | PLANO |
| Cor Escura (preto, azul escuro, marrom, etc). | 5,0 °C | 5,0 °C | 3,0 °C | 11,0 °C |
| Cor Média (cinza, amarelo, azul, etc). | 4,0 °C | 4,0 °C | 2,5 °C | 9,0 °C |
| Cor Clara (branco, azul claro, verde claro). | 3,0 °C | 3,0 °C | 2,0 °C | 5,0 °C |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 71)

Carga térmica de infiltração

A carga térmica de infiltração é o ganho de energia térmica associado à entrada de ar quente (ar externo) e com a saída de ar frio da câmara frigorífica. A cada abertura da porta, uma

determinada quantidade de ar externo penetra na câmara e deve ser resfriada pelo sistema frigorífico da câmara, aumentando assim, a carga térmica, que pode ser calculada como

$$\dot{Q}_{in} = V_{cam} \cdot FTA \cdot \Delta H' \quad [\text{kcal/dia}] \quad (7)$$

Onde:

\dot{Q}_{in} = carga de térmica de infiltração;

V_{cam} = volume da câmara em m^3

FTA = fator de troca de ar;

$\Delta H'$ = calor cedido por metro cúbico de ar que entra na câmara.

A quantidade de ar que entra na câmara pode ser estimada a partir do fator de troca de ar (FTA) de uma câmara, de acordo com a Tabela 5. E o $\Delta H'$ será estimado a partir da Tabela 6.

Tabela 5: Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação.

| CÂMARAS PARA PRODUTOS RESFRIADOS | | | | CÂMARAS PARA PRODUTOS CONGELADOS | | | |
|----------------------------------|--------------|-----------|--------------|----------------------------------|--------------|-----------|--------------|
| VOLUME | FTA | VOLUME | FTA | VOLUME | FTA | VOLUME | FTA |
| [m^3] | [TROCAS/DIA] | [m^3] | [TROCAS/DIA] | [m^3] | [TROCAS/DIA] | [m^3] | [TROCAS/DIA] |
| 40 | 15,00 | 500 | 3,60 | 40 | 11,00 | 500 | 2,80 |
| 50 | 13,00 | 700 | 3,00 | 50 | 10,00 | 700 | 2,30 |
| 60 | 12,00 | 1000 | 2,50 | 60 | 9,00 | 1000 | 1,90 |
| 80 | 10,00 | 1200 | 2,20 | 80 | 8,00 | 1200 | 1,70 |
| 100 | 9,00 | 1500 | 2,00 | 100 | 7,00 | 1500 | 1,50 |
| 125 | 8,00 | 2000 | 1,70 | 125 | 6,00 | 2000 | 1,30 |
| 150 | 7,00 | 3000 | 1,40 | 150 | 5,50 | 3000 | 1,10 |
| 200 | 6,00 | 5000 | 1,10 | 200 | 4,50 | 5000 | 1,00 |
| 300 | 5,00 | 10000 | 0,95 | 300 | 3,70 | 10000 | 0,80 |
| 400 | 4,10 | 15000 | 0,90 | 400 | 3,20 | 15000 | 0,80 |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 73)

Tabela 6: Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara ($\Delta H'$, em kcal/m³).

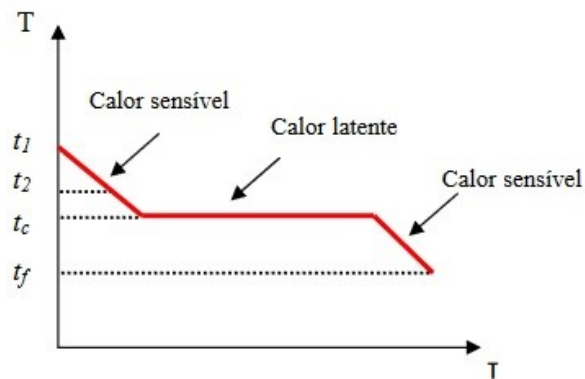
| COND. EXTERNAS | | TEMPERATURA NA CÂMARA [°C] | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| UR [%] | T _{ext} [°C] | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 |
| 40 | 15,0 | 23,2 | 21,3 | 19,4 | 17,4 | 15,5 | 13,4 | 11,1 | 8,5 | 5,5 | 2,2 |
| | 20,0 | 26,5 | 24,6 | 22,7 | 20,8 | 18,8 | 16,7 | 14,4 | 11,8 | 8,8 | 5,6 |
| | 25,0 | 30,5 | 28,6 | 26,7 | 24,7 | 22,7 | 20,6 | 18,3 | 15,7 | 12,7 | 9,4 |
| | 30,0 | 35,1 | 33,2 | 31,3 | 29,3 | 27,3 | 25,1 | 22,8 | 20,2 | 17,2 | 13,9 |
| | 35,0 | 40,6 | 38,7 | 36,7 | 34,7 | 32,7 | 30,5 | 28,2 | 25,6 | 22,6 | 19,3 |
| 50 | 40,0 | 47,2 | 45,2 | 43,2 | 41,2 | 39,1 | 37,0 | 34,6 | 32,0 | 28,9 | 25,6 |
| | 15,0 | 24,5 | 22,6 | 20,7 | 18,8 | 16,8 | 14,7 | 12,4 | 9,8 | 6,8 | 3,5 |
| | 20,0 | 28,4 | 26,5 | 24,6 | 22,6 | 20,6 | 18,5 | 16,2 | 13,6 | 10,6 | 7,3 |
| | 25,0 | 33,0 | 31,0 | 29, | 27,1 | 25,1 | 23,0 | 20,6 | 18,0 | 15,0 | 11,7 |
| | 30,0 | 38,4 | 36,5 | 34,5 | 32,5 | 30,5 | 28,3 | 26,0 | 23,4 | 20,3 | 17,0 |
| 60 | 35,0 | 45,0 | 43,0 | 41,0 | 39,0 | 36,9 | 34,7 | 32,4 | 29,7 | 26,7 | 23,4 |
| | 40,0 | 52,8 | 50,8 | 48,8 | 46,7 | 44,6 | 42,4 | 40,0 | 37,4 | 34,3 | 30,9 |
| | 15,0 | 25,9 | 23,9 | 22,0 | 20,1 | 18,1 | 16,0 | 13,7 | 11,1 | 8,1 | 4,8 |
| | 20,0 | 30,2 | 28,3 | 26,4 | 24,4 | 22,4 | 20,2 | 17,9 | 15,3 | 12,3 | 9,0 |
| | 25,0 | 35,4 | 33,5 | 31,5 | 29,6 | 27,5 | 25,4 | 23,0 | 20,4 | 17,4 | 14,1 |
| 70 | 30,0 | 41,7 | 39,7 | 37,8 | 35,7 | 33,7 | 31,5 | 29,1 | 26,5 | 23,5 | 20,1 |
| | 35,0 | 49,3 | 47,3 | 45,3 | 43,2 | 41,1 | 38,9 | 36,5 | 33,9 | 30,8 | 27,4 |
| | 40,0 | 58,5 | 56,4 | 54,4 | 52,3 | 50,1 | 47,9 | 45,5 | 42,8 | 39,7 | 36,3 |
| | 15,0 | 27,2 | 25,3 | 23,4 | 21,4 | 19,4 | 17,3 | 14,9 | 12,3 | 9,3 | 6,0 |
| | 20,0 | 32,1 | 30,1 | 28,2 | 26,2 | 24,2 | 22,0 | 19,7 | 17,1 | 14,1 | 10,7 |
| 70 | 25,0 | 37,9 | 35,9 | 34,0 | 32,0 | 29,9 | 27,7 | 25,4 | 22,8 | 19,7 | 16,4 |
| | 30,0 | 45,0 | 43,0 | 41,0 | 39,0 | 36,9 | 34,7 | 32,3 | 29,6 | 26,6 | 23,2 |
| | 35,0 | 53,6 | 51,6 | 49,5 | 47,5 | 45,4 | 43,1 | 40,7 | 38,0 | 34,9 | 31,5 |
| | 40,0 | 64,1 | 62,0 | 60,0 | 57,8 | 55,7 | 53,4 | 50,9 | 48,2 | 45,1 | 41,6 |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 74)

Carga térmica do produto

A carga térmica do produto geralmente é a que corresponde a maior porcentagem da carga térmica de câmaras de resfriamento e congelamento e está associada com a energia térmica que dever ser removida no resfriamento do produto até a temperatura de armazenamento e o seu cálculo depende do valor desta temperatura.

Figura 3: Processo de resfriamento de um produto.



A Figura 3 mostra a temperatura de um produto qualquer ao longo de seu processo de resfriamento. Como pode ser visto, somente calor sensível será removido no processo de refrigeração do produto, se a temperatura de armazenamento estiver acima da temperatura de congelamento T_c . Assim sendo, a carga térmica é calculada por

$$\dot{Q}_{pr} = GC_{pr}(T_0 - T_f) \quad [\text{kcal/dia}] \quad (8)$$

Onde:

G = movimentação diária de produto [kg/dia];

C_{pr} = calor específico antes do congelamento [kcal/kg°C];

T_0 = temperatura inicial [°C];

T_f = temperatura final [°C].

Porém, se a temperatura de armazenamento estiver abaixo da temperatura de congelamento, três parcelas de energia térmica serão removidas: calor sensível antes do congelamento do produto, calor latente de congelamento do produto e calor sensível após o congelamento do produto. Além disso, quando a temperatura de armazenamento é inferior a temperatura de congelamento a respiração do produto é interrompida. Assim, a carga térmica do produtor pode ser calculada como

$$\dot{Q}_{pr} = G[C_{pr}(T_0 - T_c) + L + C_{pc}(T_c - T_f)] \quad [\text{kcal/dia}] \quad (9)$$

Em que L é o calor latente de congelamento do produto, C_{pc} é o calor específico depois do congelamento em kcal/kg°C, e T_c é a temperatura de congelamento em °C.

Carga térmica de iluminação

Todos os equipamentos elétricos instalados no interior da câmara frigorífica dissipam calor. Portanto, as lâmpadas também devem ser incluídas. A carga térmica de iluminação está associada a energia dissipada por essas lâmpadas e pode ser calculada por

$$\dot{Q}_{il} = 0,86Wt \quad [\text{kcal/dia}] \quad (10)$$

Onde:

W = potência das lâmpadas [W];

$W = \dot{w} \cdot A$;

\dot{w} = potência dissipada pela lâmpada por m^2 [W/m^2];

A = área a ser iluminada [m^2];

t = tempo de funcionamento em horas.

Carga térmica de ocupação

A carga térmica de ocupação está associada a energia térmica dissipada por pessoas presentes na câmara frigorífica.

Para funcionar corretamente, o corpo humano depende de uma temperatura adequada, e para mantê-la, dispõe de um mecanismo de termorregulação. Ou seja, quando submetido ao frio, o organismo humano aumenta a produção metabólica de calor, dependendo da atividade executada, da roupa utilizada, mas principalmente da temperatura ambiente, isto para tentar manter a temperatura adequada do corpo.

A carga térmica de ocupação pode ser calculada por:

$$\dot{Q}_{oc} = 0,86Nt (272 - 6T_a) \quad [\text{kcal/dia}] \quad (11)$$

Onde:

N = número de pessoas no ambiente refrigerado;

t = tempo de permanência das pessoas no ambiente refrigerado em horas;

T_a = temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$].

Carga térmica dos motores dos equipamentos

A carga térmica dos motores dos equipamentos está associada à energia térmica dissipada pelos motores elétricos instalados no ambiente refrigerado, e seu cálculo depende das condições de instalação dos equipamentos.

Os evaporadores serão selecionados somente após o cálculo da carga térmica total da câmara, incluindo o calor liberados pelos evaporadores. Portanto temos uma solução iterativa, primeiramente estimamos a potência dos ventiladores e depois selecionamos os evaporadores.

Assim, podemos estimar a carga térmica dos motores dos ventiladores através da equação abaixo e da Tabela 7.

$$\dot{Q}_{mo} = P \cdot 632 \cdot \frac{t}{\eta} \quad [\text{kcal/dia}] \quad (12)$$

Onde:

\dot{Q}_{mo} = carga térmica referente aos motores dos ventiladores

η = rendimento do motor elétrico;

P = potência do motor elétrico [cv];

632 = fator de conversão de cv para kcal/h

t = tempo de funcionamento em horas.

A potência do motor é dada por

$$P = 0,4 \text{ a } 0,6 \text{ CT} \quad (13)$$

0,4 a 0,6 = fator de conversão de quanta potência é necessário para a carga térmica aproximada. Nesse caso usaremos a média que é igual a 0,5.

CT = somatório de toda carga térmica já encontrada.

Tabela 7: Relação potência do motor com rendimento do mesmo

| POTÊNCIA DO MOTOR [cv] | RENDIMENTO DO MOTOR [%] | CALOR LIBERADO [kcal/h.cv] (motor e carga na câmara) | CALOR LIBERADO [kcal/h.cv] (carga na câmara e motor fora) |
|------------------------|-------------------------|--|---|
| Menor que 1/4 | ≅ 60 | 1050 (1,221) | 632 (0,735) |
| 1/2 a 1,0 | ≅ 70 | 900 (1,046) | 632 (0,735) |
| 1 ^{1/2} a 5,0 | ≅ 78 | 800 (0,930) | 632 (0,735) |
| 7 ^{1/2} a 20 | ≅ 84 | 750 (0,872) | 632 (0,735) |
| Acima de 20 cv | ≅ 88 | 725 (0,843) | 632 (0,735) |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 75)

3.8. CAPACIDADE FRIGORÍFICA DO COMPRESSOR

Após o cálculo da carga térmica nos ambientes refrigerados de interesse, pode-se calcular a potência frigorífica necessária, através da equação abaixo. Conforme visto anteriormente, as parcelas da carga térmica foram calculadas para um dia, porém os compressores não trabalham 24 horas por dia.

O tempo de operação dos compressores normalmente variam de 16 a 20 horas, dependendo do tipo de instalação e da temperatura no interior da câmara, como indicado na Tabela 8.

Consideramos nesse projeto, o degelo elétrico e o tempo de operação dos compressores de 20 h/dia.

$$\dot{Q}_o = \frac{CT}{\tau_{op}} \quad [\text{kcal/h}] \quad (14)$$

Onde:

\dot{Q}_o = a capacidade frigorífica do compressor em kcal/h;

τ_{op} = o tempo de operação dos compressores [h/dia].

Tabela 8: Tempo de operação típico dos compressores frigoríficos

| TIPO DE DEGELO DOS EVAPORADORES | TEMPO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES |
|--|------------------------------------|
| Natural ($T_{CAM} > +1\text{ °C}$) | 16 a 18 h/dia |
| Circulação de Ar e Aspersão de Água ($T_{CAM} > +1\text{ °C}$) | 18 a 20 h/dia |
| Elétrico | até 20 h/dia |
| Por Gás Quente | 20 a 22 h/dia |

Fonte: Venturini e Pirani (2005, pág. 77)

4. TEWI

TEWI é a medida do impacto do aquecimento global de equipamento baseado no total de emissões relacionadas a gases de efeito estufa durante a operação do equipamento e a eliminação dos fluidos operacionais no fim da vida. Essa medida leva em conta tanto as emissões diretas quanto emissões indiretas produzidas através da energia consumida na operação do equipamento. Ele é medido em unidades de massa, em kg de dióxido de carbono equivalente (kg, CO₂-e), e calculado como a soma de duas partes, sendo elas:

- Refrigerante liberado durante a vida útil do equipamento, incluindo perdas não recuperadas sobre a disposição final;

- Impacto das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis utilizados para gerar energia para operar o equipamento ao longo de sua vida.

4.1. MÉTODO DE CALCULO

Esta metodologia para calcular o impacto do aquecimento total equivalente (TEWI) é utilizada para novos refrigeradores estacionários e sistemas de ar condicionado que operam com base nos princípios de compressão de vapor e são alimentados por eletricidade conectada à rede.

O método de cálculo do TEWI é fornecido abaixo:

$$TEWI = CO_2equi_{DIRETO} + CO_2equi_{INDIRETO} \quad (15)$$

A parcela associada com o efeito direto pode ser calculada pela equação 16.

$$CO_2equi_{DIRETO} = M_{ref} \cdot L_{rate} \cdot L_{time} \cdot GWP + M_{ref} \cdot (1 - \alpha) \cdot GWP \quad (16)$$

Onde:

M_{ref} : Massa de refrigerante no sistema, [kg];

L_{rate} : Taxa anual de refrigerante emitido (substituição e vazamento), [%];

L_{time} : Tempo de vida útil do equipamento, [anos];

GWP: Índice específico do refrigerante, [-];

α : Recuperação/reciclagem ao final da vida útil do equipamento, [%].

Para realização dos cálculos, adotou-se uma vida útil de 8 anos para todos os distintos fluidos refrigerantes. E a porcentagem 70% para as taxas de recuperação dos fluidos refrigerantes (α).

A parcela associada com o efeito indireto pode ser calculada pela equação 17.

$$CO_2equi_{INDIRETO} = \beta \cdot E_{annual} \cdot L_{time} \quad (17)$$

Onde:

E_{annual} : Energia elétrica consumida pelo equipamento, [kWh/ano];

β : Emissão de CO_2 para geração de eletricidade, [kg CO_2 /kWh].

O objetivo deste método é fornecer estimativas preditivas para os valores TEWI de novos sistemas que podem ser comparados com confiança, mesmo quando diferentes estimadores os prepararam. A análise de sensibilidade é recomendada para calcular e os valores TEWI do limiar superior, que fornecem uma banda esperada.

Os principais tipos de emissões diretas do sistema de refrigeração são:

- Vazamentos graduais durante a operação normal do sistema;
- Vazamentos catastróficos durante a operação do sistema;
- Vazamentos durante os serviços de manutenção no sistema;
- Vazamentos no final da vida útil do sistema, incluindo a etapa de destinação final.

A taxa de vazamento anual é a soma do vazamento gradual durante a operação normal, catastrófico, perdas amortizadas ao longo da vida útil do equipamento e perdas durante o serviço e a manutenção expressos em porcentagem da carga inicial por ano. Perdas no final da vida da planta não estão incluídas na taxa de vazamento anual.

As taxas anuais de vazamento variam significativamente dependendo da classe de equipamentos, tipo de refrigerante, design de equipamento, acabamento de instalação, eliminação de vibrações, detecção de vazamento de refrigerante, manutenção e condições de operação.

O fator de emissões indiretas está relacionado à qualidade da produção de energia elétrica e quantidade de CO_2 equivalente por quantidade de energia gerada. O Brasil possui uma matriz energética muito limpa, quando comparado com a maioria dos países, devido à alta produção de energia oriunda de hidroelétricas.

5. RESULTADO

No projeto será abordado três sistemas de refrigeração independentes entre si. Os sistemas seguem os ciclos de refrigeração reais representado em seção anterior.

Todos os cálculos e considerações tomadas, são a favor da segurança, o que leva a um superdimensionamento dos sistemas.

Neste trabalho em específico, não levantamos dados com relação a valores, pois nesse caso não há um cliente real e os equipamentos são superdimensionados, o que pode levar a um encarecimento do montante final, o que provavelmente não se aplicaria em condições reais de mercado.

5.1. CALCULO DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Para o dimensionamento dos painéis do túnel de congelamento, da câmara de congelados e de resfriados, tem-se o conhecimento que a instalação será feita em Uberlândia/MG, porém Uberlândia não tem na norma NBR 16401, então será usado os dados da cidade de Uberaba/MG, próxima a Uberlândia, como referência.

Tabela 9: Relação de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido

| MG | Uberaba | | Latitude | Longit. | Altitude | Pr.atm | Período | Extrem. anuais | TBU | TBSmx | s | TBSmn | s | |
|-----------------|---------|-------------|--------------------------------|---------|----------|---------------|---------|----------------|--------|-------------|------------|--------------|-----|------|
| | Mês>Qt | Freq. anual | 19,78S | 47,97W | 807m | 92,00 | 83/01 | | 29,7 | 35,9 | 1,5 | 6,7 | 3,0 | |
| | | | Resfriamento e desumidificação | | | Baixa umidade | | | | | | Umidificação | | |
| Out | 0,4% | TBS | TBUc | TBU | TBSc | TPO | w | TBSc | Mês>Fr | Freq. anual | Aquec. TBS | TPO | w | TBSc |
| | | 33,6 | 19,3 | 23,2 | 28,4 | 22,1 | 18,5 | 24,8 | Jun | 99,6% | 10,5 | 1,8 | 4,7 | 22,8 |
| ΔT_{md} | 1% | 32,7 | 19,6 | 22,8 | 28,0 | 21,6 | 17,9 | 24,3 | | 99% | 12,7 | 3,3 | 5,3 | 22,6 |
| 10,9 | 2% | 31,9 | 19,9 | 22,5 | 27,7 | 21,1 | 17,4 | 23,9 | | | | | | |

Fonte: NBR 16401

Como não há incidência de radiação solar em nenhum dos ambientes que será calculado, sabe-se que $T_{irs} = 0$, $TBS = 33,6 \text{ °C} = 306,75 \text{ K}$ e $TBU = 23,2 \text{ °C} = 296,35 \text{ K}$.

Para o túnel de congelamentos, onde a temperatura interna será de -35 °C , tem-se

$$\frac{k_{iso}}{L_{iso}} = \frac{q}{T_{ext} - T_{int}} = \frac{11,63}{(306,75 - (238,15))} = 0,1695 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (18)$$

Para a câmara de congelados, onde a temperatura interna será de -18 °C , tem-se

$$\frac{k_{\text{iso}}}{L_{\text{iso}}} = \frac{q}{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}} = \frac{11,63}{(306,75 - (255,15))} = 0,2254 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (19)$$

E por fim, para a câmara de resfriados, onde a temperatura interna será de 0 °C, tem-se

$$\frac{k_{\text{iso}}}{L_{\text{iso}}} = \frac{q}{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}} = \frac{11,63}{(306,75 - (273,15))} = 0,3461 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (20)$$

Deve-se escolher um isolamento cujo Coeficiente Global de transmissão de calor seja abaixo do valor encontrado. Pela escolha do frigopainel do fabricante Danica, foi escolhido um coeficiente global de transferência de calor para cada ambiente.

Tabela 10: Relação de espessura do isolante com o Coeficiente Global de transmissão de calor

| Informações Técnicas - Frigopainel | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| Espessura do núcleo isolante (mm) | Espessura dos revestimentos Externo/Interno (mm) | Material do núcleo isolante | Peso próprio (estimado) (Kg/m ²) | Coeficiente Global de Transmissão de calor * (W/m ² .K) | Comprimento mínimo (mm) | Comprimento máximo (mm) | Vão Máximo ** (mm) |
| 30 | 0,38/0,38 | | 7,55 | 0,6167 | 2500 | 12000 | 2700 |
| | 0,43/0,43 | | 8,35 | | | | 2800 |
| | 0,50/0,50 | | 9,55 | | | | 2950 |
| 40 | 0,38/0,38 | | 7,91 | 0,4782 | 2500 | 12000 | 3200 |
| | 0,43/0,43 | | 8,75 | | | | 3400 |
| | 0,50/0,50 | | 9,93 | | | | 3650 |
| 50 | 0,38/0,38 | | 8,30 | 0,3885 | 2500 | 12000 | 3550 |
| | 0,43/0,43 | | 9,15 | | | | 3800 |
| | 0,50/0,50 | | 10,30 | | | | 4100 |
| 70 | 0,38/0,38 | | 9,05 | 0,2836 | 2500 | 12500 | 4200 |
| | 0,43/0,43 | | 9,90 | | | | 4500 |
| | 0,50/0,50 | | 11,10 | | | | 4800 |
| 100 | 0,38/0,38 | | 10,20 | 0,2018 | 2500 | 12500 | 5050 |
| | 0,43/0,43 | | 11,10 | | | | 5350 |
| | 0,50/0,50 | | 12,20 | | | | 5800 |
| 120 | 0,38/0,38 | | 10,96 | 0,1693 | 2500 | 12500 | 5500 |
| | 0,43/0,43 | | 11,80 | | | | 5850 |
| | 0,50/0,50 | | 12,98 | | | | 6300 |
| 150 | 0,38/0,38 | | 12,10 | 0,1363 | 2500 | 15000 | 6150 |
| | 0,43/0,43 | | 12,95 | | | | 6550 |
| | 0,50/0,50 | | 14,15 | | | | 7000 |
| 200 | 0,38/0,38 | | 14,00 | 0,1029 | 2500 | 15000 | 7100 |
| | 0,43/0,43 | | 14,85 | | | | 7400 |
| | 0,50/0,50 | | 16,10 | | | | 7900 |

Fonte: Danica. Download. Disponível em: <https://danica.com.br/downloads> Acesso em: 05 de fevereiro de 2022

Para o túnel de congelamento:

- Espessura do núcleo do isolamento: 150 mm
- Coeficiente Global de transmissão de calor: 0,1363 W/m².K

Para a câmara de congelados:

- Espessura do núcleo do isolamento: 100 mm
- Coeficiente Global de transmissão de calor: 0,2018 W/m².K

Para a câmara de resfriados:

- Espessura do núcleo do isolamento: 70 mm
- Coeficiente Global de transmissão de calor: 0,2836 W/m².K

5.2. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA

Carga térmica de condução e insolação.

A Carga térmica de condução e insolação foi calculada de acordo com a equação 6.

A Tabela 12 mostra todos os parâmetros dessa equação para cada um dos ambientes refrigerados de interesse.

A câmara de resfriados de produto é destinada a estocagem temporária de carne suína, que posteriormente será destinada a comercialização das carnes em açougues.

A câmara de estocagem de congelados também é destinada ao armazenamento de carne suína a ser enviada aos açougues.

O túnel de congelamento opera a temperatura significativamente baixa, e tem como função fazer o congelamento rápido da carne suína. O objetivo é garantir que a água existente nos espaços intercelulares congele rapidamente, de modo que não danifique as células do alimento, melhorando as propriedades sensoriais a ele.

As faixas de temperaturas adequadas para os ambientes refrigerados de um frigorífico de suínos são especificadas na Portaria nº 711 de 1º de novembro de 1995. A Tabela 11 mostra os valores que serão utilizados no projeto do frigorífico, que correspondem aos valores da temperatura interna T_{int} na Tabela 12.

Tabela 11: Temperatura de operação dos ambientes refrigerados.

| AMBIENTE | TEMPERATURA |
|-----------------------------------|--------------------|
| Câmara de estocagem de resfriados | 0 °C |
| Câmara de estocagem de congelados | - 18 °C |
| Túnel de congelamento | - 35 °C |

Fonte: autor

As dimensões, largura l e altura h , das paredes e do teto dos ambientes refrigerados foram obtidas do projeto do frigorífico que está no anexo A. Na equação 6 a área foi calculada como $A = lh$. A rosa dos ventos o canto superior direita permite determinar a orientação da

incidência de radiação solar, e determinar o acréscimo devido a incidência de radiação solar T_{irs} com o auxílio da Tabela 4.

Fator de conversão da condutividade dos painéis: $1\text{W/m}^2\text{K}=0,860\text{kcal/h.m}^2.\text{°C}$.

Tabela 12: Parâmetros utilizados para determinar a carga térmica de condução e insolação.

| | PAREDE | U [kcal/m ² h°C] | l [m] | h [m] | T _{ext} [°C] | T _{irs} [°C] | T _{int} [°C] | Q̇ _{co} [kcal/dia] | ΣQ̇ _{co} [kcal/dia] |
|------------------------------|--------|--------------------------------|----------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| TÚNEL DE CONGELAMENTO | 1 | 0,1172 | 5,2 | 4,5 | 16 | - | -35 | 3357,31 | 11304,24 |
| | 2 | 0,1172 | 2 | 4,5 | 16 | - | -35 | 1291,27 | |
| | 3 | 0,1172 | 5,2 | 4,5 | 16 | - | -35 | 3357,31 | |
| | 4 | 0,1172 | 2 | 4,5 | 16 | - | -35 | 1291,27 | |
| | TETO | 0,1172 | 5,2 | 2 | 33,6 | - | -35 | 2007,07 | |
| CÂMARA DE CONGELADOS | 1 | 0,1735 | 2,5 | 4,5 | -35 | - | -18 | -796,59 | 10397,47 |
| | 2 | 0,1735 | 6,35 | 4,5 | 16 | - | -18 | 4046,65 | |
| | 3 | 0,1735 | 2,5 | 4,5 | 16 | - | -18 | 1593,17 | |
| | 4 | 0,1735 | 6,35 | 4,5 | 0 | - | -18 | 2142,35 | |
| | TETO | 0,1735 | 2,5 | 6,35 | 33,6 | - | -18 | 3411,88 | |
| CÂMARA DE RESFRIADOS | 1 | 0,2439 | 2,55 | 4,5 | -35 | - | 0 | -2350,91 | 2778,58 |
| | 2 | 0,2439 | 6,4 | 4,5 | -18 | - | 0 | -3034,46 | |
| | 3 | 0,2439 | 2,55 | 4,5 | 33,6 | - | 0 | 2256,88 | |
| | 4 | 0,2439 | 6,4 | 4,5 | 16 | - | 0 | 2697,29 | |
| | TETO | 0,2439 | 2,55 | 6,4 | 33,6 | - | 0 | 3209,78 | |

Fonte: autor

Carga térmica de infiltração

A carga térmica de infiltração foi estimada utilizando-se a equação 7 e as Tabela 5 e Tabela 6.

A Tabela 13 mostra os parâmetros utilizados nesta equação para cada um dos ambientes refrigerados estudados. As portas pelas quais ocorre infiltração estão na planta baixa do projeto.

Foi considerado UR% de 60%, e interpolando os valores FTA e ΔH', encontrou-se os valores da tabela abaixo.

Tabela 13: Parâmetros utilizados para determinar a carga térmica de infiltração.

| | V_{cam} [m ³] | FTA [trocas/dia] | $\Delta H'$ [kcal/m ³] | \dot{Q}_{in} [kcal/dia] |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| TÚNEL DE CONGELAMENTO | 46,8 | 10,32 | 23,4 | 11301,64 |
| CÂMARA DE CONGELADOS | 71,46 | 8,43 | 16,7 | 10060,21 |
| CÂMARA DE RESFRIADOS | 73,44 | 10,66 | 7,6 | 5949,82 |

Fonte: autor

Carga térmica do produto

A carga térmica do produto foi calculada através das equações 8 e 9 e da Tabela 14.

Para o túnel de congelamento, tem-se

$$G = 2400 \text{ kg/dia}$$

$$C_{pr} = 0,33 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pc} = 0,57 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$L = 33 \text{ kcal/kg}$$

$$\dot{Q}_{pr_{TC}} = 2400[0,33(16 - (-2,2)) + 33 + 0,57((-2,2) - (-35))]$$

$$\dot{Q}_{pr_{TC}} = 138484,8 \text{ kcal/dia}$$

Para a câmara de congelamento, tem-se

$$G = 2400 \text{ kg/dia}$$

$$C_{pr} = 0,33 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pc} = 0,57 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$L = 33 \text{ kcal/kg}$$

$$\dot{Q}_{pr_{CC}} = 2400[0,33(-35 - (-2,2)) + 33 + 0,57((-2,2) - (-18))]$$

$$\dot{Q}_{pr_{CC}} = 74836,8 \text{ kcal/dia}$$

Para a câmara de resfriados, tem-se

$$G = 2400 \text{ kg/dia}$$

$$C_{pr} = 0,33 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{pr_{CR}} = 2400 \cdot 0,33(16 - 0)$$

$$\dot{Q}_{pr_{CR}} = 12672 \text{ kcal/dia}$$

Tabela 14: Propriedades Térmicas de Alimentos - Produtos de Origem Animal

| Produto | Temperatura no início do congelamento (°C) | Água (%) | Calor Específico (kcal/kg°C) | | Calor latente (kcal/kg) |
|--------------------------|--|----------|------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | | Acima do congelamento | Abaixo do congelamento | |
| <u>Carnes</u> | | | | | |
| <u>Bovina</u> | | | | | |
| Carne fresca | -1,7 | 60-77 | 0,7-0,8 | 0,39-0,43 | 50-62 |
| Carne gorda | -1,7 | 49 | 0,61 | 0,35 | 39 |
| Fígado | -1,7 | 70 | 0,77 | 0,41 | 56 |
| Vitela | -1,7 | 66 | 0,74 | 0,40 | 53 |
| <u>Porco</u> | | | | | |
| Carne fresca | -2,2 | 32-44 | 0,48-0,57 | 0,30-0,33 | 26-33 |
| Presunto | -1,7 | 56 | 0,66 | 0,37 | 45 |
| Bacon | -1,7 | 19 | 0,38 | 0,26 | 16 |
| Linguiça | -1,7 | 38 | 0,53 | 0,31 | 31 |
| <u>Carneiro</u> | | | | | |
| Carne fresca | -1,7 | 60-70 | 0,69-0,77 | 0,38-0,41 | 49-56 |
| <u>Aves</u> | | | | | |
| Frango | -2,8 | 74 | 0,80 | 0,42 | 60 |
| Galinha | -2,8 | 74 | 0,80 | 0,42 | 60 |
| Peru | -2,8 | 64 | 0,72 | 0,39 | 52 |
| Pato | -2,8 | 69 | 0,76 | 0,41 | 56 |
| <u>Coelho</u> | | | | | |
| Carne fresca | -2,5 | 68 | 0,75 | 0,40 | 55 |
| <u>Pescado</u> | | | | | |
| Bacalhau | -2,2 | 81 | 0,85 | 0,44 | 66 |
| Arenque | -2,2 | 61 | 0,70 | 0,38 | 49 |
| Salmão | -2,2 | 64 | 0,72 | 0,39 | 52 |
| Atum | -2,2 | 70 | 0,77 | 0,40 | 56 |
| <u>Crustáceos</u> | | | | | |
| Camarão | -2,2 | 76 | 0,84 | 0,44 | 64 |
| Lagosta | -2,2 | 79 | 0,83 | 0,44 | 63 |
| Ostra limpa | -2,2 | 87 | 0,89 | 0,46 | 70 |

Fonte: ASHRAE, 1982.

Carga térmica de iluminação

A carga térmica de iluminação é dada pela equação 10.

Será utilizado as lâmpadas germicidas com $\dot{w} = 2 \text{ W/m}^2$.

Para a rotatividade diária de 4800 kg/dia coloca-se uma jornada de trabalho de 8 hrs.

Para o túnel de congelamento tem-se

$$A = 2.5,2 = 10,4 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{il_{TC}} = 0,86.2.10,4.8 = 143,10 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

Para a câmara de congelados tem-se

$$A = 6,35.2,5 = 15,88 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{il_{CC}} = 0,86.2.15,88.8 = 218,51 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

Para a câmara de resfriados tem-se

$$A = 6,4.2,55 = 16,32 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{il_{CR}} = 0,86.2.16,32.8 = 224,56 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

Carga térmica de ocupação

A câmara de estocagem de resfriados de produto é acessada somente para armazenar produtos ou retirar produtos que serão destinados a comercialização em açougues. Duas pessoas fazem a movimentação das embalagens, permanecendo 2 horas no interior da câmara.

A câmara de estocagem de congelados também é acessada somente para armazenar produtor ou retirar produtos que serão destinados a comercialização em açougues. Duas pessoas fazem a movimentação das embalagens, permanecendo também 2 horas no interior da câmara.

O túnel de congelamento não é ocupado durante a operação por segurança. A movimentação dos produtos é feita por meio de esteiras.

Então para a câmara de congelados tem-se

$$\dot{Q}_{oc_{CC}} = 0,86.2.2. (272 - 6(-18))$$

$$\dot{Q}_{oc_{CC}} = 1307,2 \text{ kcal/dia}$$

Para a câmara de resfriados tem-se

$$\dot{Q}_{oc_{CR}} = 0,86.2.2. (272 - 6(0))$$

$$\dot{Q}_{oc_{CR}} = 935,68 \text{ kcal/dia}$$

Carga térmica dos motores dos equipamentos

Para o cálculo da carga térmica dos motores, primeiro foi necessário descobrir qual a carga térmica parcial de todos os outros elementos, para verificar qual o melhor modelo de motor a ser escolhido para cada ambiente.

$$CT = \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_{in} + \dot{Q}_{pr} + \dot{Q}_{il} + \dot{Q}_{oc} + \dot{Q}_{mo}$$

- Para o túnel de congelamento:

$$CT_{tc} = 11304,24 + 11301,64 + 138484,80 + 143,10 + 0$$

$$CT_{tc} = 161233,78 \text{ kcal/dia}$$

$$CT_{tc} = 6718,07 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$T. R \rightarrow 3023,95 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$CT_{tc} = 2,22 \text{ T. R}$$

$$P_{tc} = 0,5.2,22 \rightarrow P_{tc} = 1,11 \text{ cv}$$

Com o auxílio da equação 12 e da Tabela 7, tem-se que o tempo de trabalho do compressor será de 20 horas /dia e a relação da potência do motor com seu rendimento será $\eta = 0,70$.

$$\dot{Q}_{mo} = \frac{1,11.632.20}{0,70}$$

$$\dot{Q}_{mo} = 20043,43 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

Portanto,

$$CT_{tc} = 11304,24 + 11301,64 + 138484,80 + 143,10 + 0 + 20043,43$$

$$CT_{tc} = 181277,21 \frac{kcal}{dia}$$

- Para a câmara de congelados:

$$CT_{cc} = 10397,47 + 10060,21 + 74836,80 + 218,51 + 1307,20$$

$$CT_{cc} = 96820,19 kcal/dia$$

$$CT_{cc} = 4034,17 \frac{kcal}{h}$$

$$T. R \rightarrow 3023,95 \frac{kcal}{h}$$

$$CT_{cc} = 1,33 T. R$$

$$P_{cc} = 0,5 \cdot 1,33 \rightarrow P_{cc} = 0,67 cv$$

Tem-se que o tempo de trabalho do compressor será de 20 horas /dia e a relação da potência do motor com seu rendimento será $\eta = 0,70$.

$$\dot{Q}_{mo} = \frac{0,67 \cdot 632 \cdot 20}{0,70}$$

$$\dot{Q}_{mo} = 12098,29 \frac{kcal}{dia}$$

Portanto,

$$CT_{cc} = 10397,47 + 10060,21 + 74836,80 + 218,51 + 1307,20 + 12098,29$$

$$CT_{cc} = 108918,48 \frac{kcal}{dia}$$

- Para a câmara de resfriados:

$$CT_{cr} = 2778,58 + 5949,82 + 12672 + 224,56 + 935,68$$

$$CT_{cr} = 22560,64 kcal/dia$$

$$CT_{cr} = 940,03 \frac{kcal}{h}$$

$$T. R \rightarrow 3023,95 \frac{kcal}{h}$$

$$CT_{cr} = 0,32 T. R$$

$$P_{cr} = 0,5 \cdot 0,32 \rightarrow P_{cr} = 0,16 cv$$

Tem-se que o tempo de trabalho do compressor será de 20 horas /dia e a relação da potência do motor com seu rendimento será $\eta = 0,60$.

$$\dot{Q}_{mo} = \frac{0,16.632.20}{0,60}$$

$$\dot{Q}_{mo} = 3370,67 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

Portanto,

$$CT_{cr} = 2778,58 + 5949,82 + 12672 + 224,56 + 935,68 + 3370,67$$

$$CT_{cr} = 25931,31 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}}$$

5.3. CAPACIDADE FRIGORÍFICA DO COMPRESSOR

A capacidade frigorífica foi calculada através da equação 14.

Para o túnel de congelamento:

$$\dot{Q}_{oTC} = \frac{181277,21}{20} = 9063,86 \text{ kcal/h}$$

$$T. R \rightarrow 3023,95 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{oTC} = 3,00 T. R$$

Para a câmara de congelados:

$$\dot{Q}_{oCC} = \frac{108918,48}{20} = 5445,92 \text{ kcal/h}$$

$$T. R \rightarrow 3023,95 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{oCC} = 1,80 T. R$$

Para a câmara de resfriados:

$$\dot{Q}_{oCR} = \frac{25931,31}{20} = 1296,57 \text{ kcal/h}$$

$$T.R \rightarrow 3023,95 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{o_{CR}} = 0,43 T.R$$

6. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Nesta seção selecionou-se os equipamentos para os fluidos R717 (amônia) e R404A.

6.1. TÚNEL DE CONGELAMENTO

Evaporadores

Para a seleção dos evaporadores, foi considerado a capacidade frigorífica de $\dot{Q}_{oTC} = 9063,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ e a temperatura de evaporação de -40°C .

- R404A

O evaporador selecionado para o fluido R404A foi da marca Ciabe, modelo CMP 40354.

Tabela 15: Desempenho térmico para seleção do evaporador do túnel de congelamento (R404A).

Tabela de Capacidades
Tabla de Capacidades

| CMP 400 (4APP) | Capacidade / Capacidad kcal/h - DT 6°C | | | | | | | | | | | Flecha de ar/ Tiro de Aire 20m | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| | Temperatura de Evaporação / Temperatura de Evaporación (°C) - R404A | | | | | | | | | | | Ventiladores | | |
| | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | Qtde Cans. | Diâmetro/ Diámetro (mm) | Vazão de ar/ Caudal de aire (m³/h) |
| 40134 | 2.543 | 2.714 | 2.855 | 2.974 | 3.078 | 3.208 | 3.359 | 3.437 | 3.536 | 3.682 | 3.827 | 1 | 400 | 4.280 |
| 40144 | 2.720 | 3.006 | 3.229 | 3.463 | 3.682 | 3.910 | 4.165 | 4.342 | 4.529 | 4.789 | 5.070 | 1 | 400 | 4.180 |
| 40154 | 3.250 | 3.578 | 3.869 | 4.082 | 4.326 | 4.581 | 4.883 | 5.086 | 5.309 | 5.626 | 5.964 | 1 | 400 | 4.060 |
| 40234 | 4.618 | 4.857 | 5.268 | 5.632 | 5.975 | 6.308 | 6.708 | 6.973 | 7.259 | 7.654 | 8.070 | 2 | 400 | 8.560 |
| 40244 | 6.105 | 6.588 | 7.004 | 7.306 | 7.660 | 8.039 | 8.486 | 8.767 | 9.079 | 9.537 | 10.026 | 2 | 400 | 8.360 |
| 40254 | 6.609 | 7.010 | 7.535 | 8.081 | 8.601 | 9.157 | 9.786 | 10.244 | 10.728 | 11.404 | 12.137 | 2 | 400 | 8.120 |
| 40344 | 8.679 | 9.339 | 10.109 | 10.738 | 11.346 | 11.991 | 12.730 | 13.224 | 13.764 | 14.529 | 15.350 | 3 | 400 | 12.540 |
| 40354 | 10.306 | 11.222 | 11.898 | 12.584 | 13.250 | 13.978 | 14.836 | 15.418 | 16.047 | 16.973 | 17.982 | 3 | 400 | 12.180 |
| 40444 | 12.303 | 13.229 | 14.102 | 14.602 | 15.257 | 15.964 | 16.801 | 17.264 | 17.805 | 18.606 | 19.432 | 4 | 400 | 16.720 |
| 40454 | 12.984 | 14.201 | 15.345 | 16.401 | 17.415 | 18.496 | 19.739 | 20.634 | 21.580 | 22.927 | 24.398 | 4 | 400 | 16.240 |
| 40554 | 15.683 | 16.796 | 18.226 | 19.500 | 20.732 | 22.038 | 23.530 | 24.606 | 25.745 | 27.352 | 29.110 | 5 | 400 | 19.680 |

Fatores de conversão dos fluidos refrigerantes : R134-A: 0,95 | R22: 0,97 | R404A: 1 | R507: 1 / Capacidades para 50Hz multiplicar por 0,9
Factores de conversión de los refrigerantes: R134-A: 0,95 | R22: 0,97 | R404A: 1 | R507: 1 / para 50Hz multiplicar por 0,9

Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 15/03/2022)

Tabela 16: Dados elétricos do evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R404A)

Dados Elétricos
Datos Eléctricos

| Motores Convencionals/Motores Convencionales | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| Modelos | Potência/ Potenza (W) | Corrente/Corriente A | | |
| | | 220V/3F/60Hz | 380V/3F/60Hz | 440V/3F/60Hz |
| 40134 / 40136 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40144 / 40146 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40154 / 40156 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40234 / 40236 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40244 / 40246 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40254 / 40256 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40344 / 40346 | 750 | 2,6 | 1,5 | 1,3 |
| 40354 / 40356 | 750 | 2,6 | 1,5 | 1,3 |
| 40444 / 40446 | 1000 | 3,5 | 2,0 | 1,7 |
| 40454 / 40456 | 1000 | 3,5 | 2,0 | 1,7 |
| 40554 / 40556 | 1250 | 4,3 | 2,5 | 2,2 |

Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 15/03/2022)

Figura 5: Modelo de evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R404A)



Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 15/03/2022)

- R717

Para o fluido refrigerante R717, o evaporador selecionado foi da marca MIPAL, modelo EviB 6 polos 331.

Tabela 17: Desempenho térmico para seleção do evaporador do túnel de congelamento (R717).

EviB • 6 Polos
 Motoventilador com baixo nível de ruído (R06-R08)
 Motoventilador convencional (C06-C08)

| EviB 6 polos DT1 = 10,8°F DT1 = 6°K Kcal/h | °F °C | Temperatura de evaporação | | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | -40 | -31 | -22 | -13 | -4 | 5 | 14 | 23 | 32 | 41 |
| 188 | -40 | 5960 | 7096 | 7713 | 8034 | 8829 | 9325 | 9920 | 10614 | 11251 | 11814 |
| 266 | -40 | 9103 | 10837 | 11779 | 12270 | 13483 | 14241 | 15150 | 16211 | 17183 | 18042 |
| 331 | -40 | 9737 | 11593 | 12600 | 14173 | 15575 | 16450 | 17500 | 18725 | 19848 | 20841 |
| 377 | -40 | 11921 | 14191 | 15426 | 16068 | 17657 | 18650 | 19840 | 21229 | 22503 | 23628 |
| 531 | -40 | 18206 | 21674 | 23558 | 24540 | 26967 | 28462 | 30300 | 32421 | 34366 | 36085 |
| 662 | -40 | 24767 | 29485 | 32048 | 33384 | 36685 | 38747 | 41220 | 44105 | 46752 | 49089 |
| 797 | -40 | 27309 | 32510 | 35337 | 36810 | 40450 | 42723 | 45450 | 48632 | 51549 | 54127 |
| 992 | -40 | 29212 | 34778 | 37799 | 42519 | 46724 | 49349 | 52500 | 56174 | 59544 | 62522 |
| 1062 | -40 | 36411 | 43347 | 47116 | 49079 | 53934 | 56964 | 60600 | 64842 | 68733 | 72169 |
| 1323 | -40 | 49534 | 58969 | 64097 | 66768 | 73371 | 77494 | 82440 | 88211 | 93503 | 98179 |

Kcal/h

Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 15/03/2022)

Tabela 18 Dados elétricos do evaporador selecionado para o túnel de congelamento R717).

| Evi B | Características | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------|--------------------------------|-----------------|----------|-------------|--------------------------|-------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|
| | S R V C N | | | | | Motoventiladores Ø 800mm | | | | Degelo | | | |
| | m ² | m ² /m ² | dm ³ | Refr. Kg | dB (A) (1m) | m ³ / h | Watts | 220V 3 Ø A | 380V 3 Ø A | W | 220V 1 Ø A | 220V 3 Ø A | 380V 3 Ø A |
| 188 | 52,79 | 10,03 | 21,5 | 4,3 | 72 | 1 x 28500 | 2200 | 11 | 6,4 | 6x1250 | 34,1 | 19,8 | 11,5 |
| 266 | 79,18 | 10,03 | 33,1 | 6,6 | 72 | 1 x 27000 | 2200 | 11 | 6,4 | 9x1250 | 51,2 | 29,6 | 17,2 |
| 331 | 105,58 | 10,03 | 41,2 | 8,3 | 72 | 1 x 25500 | 2200 | 11 | 6,4 | 12x1250 | 68,2 | 39,5 | 22,9 |
| 377 | 105,58 | 10,03 | 42 | 8,4 | 75 | 2 x 28500 | 4400 | 22 | 12,8 | 6x2500 | 68,2 | 39,5 | 22,9 |
| 531 | 158,36 | 10,03 | 63,1 | 12,6 | 75 | 2 x 27000 | 4400 | 22 | 12,8 | 9x2500 | 102,3 | 59,3 | 34,4 |
| 662 | 211,15 | 10,03 | 84,1 | 16,8 | 75 | 2 x 25500 | 4400 | 22 | 12,8 | 12x2500 | 136,4 | 79,0 | 46,0 |
| 797 | 237,55 | 10,03 | 93 | 18,6 | 77 | 3 x 27000 | 6600 | 33 | 19,2 | 9x3400 | 139,0 | 80,3 | 46,5 |
| 992 | 316,73 | 10,03 | 120 | 24 | 77 | 3 x 25500 | 6600 | 33 | 19,2 | 12x3400 | 185,5 | 107,1 | 62,0 |
| 1062 | 316,73 | 10,03 | 123,1 | 24,6 | 78 | 4 x 27000 | 8800 | 44 | 25,6 | 12x3400 | 185,5 | 107,1 | 62,0 |
| 1323 | 422,30 | 10,03 | 164,3 | 32,9 | 78 | 4 x 25500 | 8800 | 44 | 25,6 | 15x3400 | 231,9 | 133,9 | 77,5 |

Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 15/03/2022)

Figura 8: Modelo de evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R717).



Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 15/03/2022)

Compressores

Na seleção dos compressores, necessitou-se da capacidade frigorífica em Watt, de temperatura de condensação que foi de 40 °C e temperatura de evaporação que foi de -40 °C.


Como 1 kcal/h = 1,163 watt, então

$$\dot{Q}_o = 10541,27 \text{ Watt}$$

- R404A

A marca selecionada para o compressor com fluido R404A foi a Bitzer, e o compressor escolhido foi o Ecoline modelo 4HE-18Y, cuja a capacidade frigorífica suportada é superior a calculada para o túnel de congelamento, e a potência consumida é de 8,78 kW.

Tabela 19: Dados de desempenho do compressor selecionado para o túnel de congelamento (R404A)

 R404A / R507A

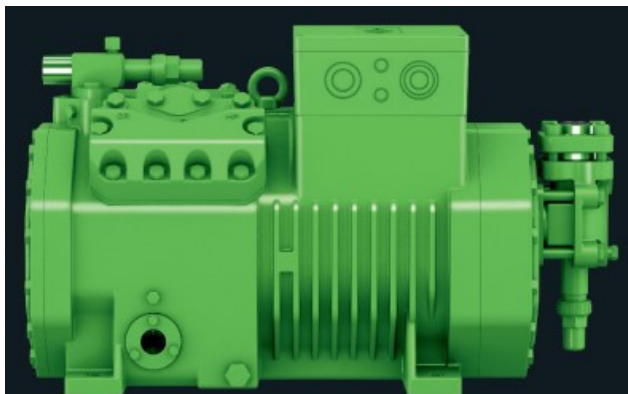
Dados de Performance a 60Hz
Referente à temperatura do gás de sucção a 20°C, sem subresfriamento de líquido.

Datos de Performance a 60Hz
Referente a la temperatura del gas de succión a 20°C, sin sub-enfriamiento de líquido.

| Compressor Tipo | Temp. de cond. °C | Capacidade Frigorífica | Potência Consumida | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | Potencia Consumida | | | | | | | | |
| | | | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 |
| 4PES-12Y | 30 | Q | 57000 | 46800 | 38200 | 30800 | 24400 | 19060 | 14560 | 10820 | 7750 |
| | 40 | Q | 48200 | 39400 | 31900 | 25500 | 20050 | 15450 | 11600 | 8420 | 5830 |
| | 50 | Q | 39200 | 31900 | 25600 | 20260 | 15720 | 11900 | 8720 | 6110 | 4010 |
| | 30 | P | 13,86 | 12,94 | 11,88 | 10,72 | 9,49 | 8,22 | 6,95 | 5,72 | 4,55 |
| | 40 | P | 15,55 | 14,23 | 12,81 | 11,33 | 9,82 | 8,31 | 6,84 | 5,43 | 4,13 |
| | 50 | P | 12,04 | 11,77 | 11,28 | 10,60 | 9,77 | 8,84 | 7,83 | 6,79 | 5,74 |
| 4PES-15Y | 30 | Q | 68800 | 57000 | 46800 | 38200 | 30700 | 24400 | 18980 | 14470 | 10720 |
| | 40 | Q | 58100 | 48000 | 39300 | 31800 | 25400 | 19900 | 15300 | 11470 | 8300 |
| | 50 | Q | 47500 | 39000 | 31800 | 25500 | 20140 | 15610 | 11810 | 8660 | 6080 |
| | 30 | P | 16,47 | 15,35 | 14,08 | 12,71 | 11,27 | 9,79 | 8,32 | 6,89 | 5,54 |
| | 40 | P | 18,66 | 17,20 | 15,61 | 13,91 | 12,16 | 10,40 | 8,66 | 6,98 | 5,42 |
| | 50 | P | 14,42 | 13,71 | 12,81 | 11,77 | 10,63 | 9,41 | 8,15 | 6,90 | 5,69 |
| 4NES-14Y | 30 | Q | 68900 | 55200 | 45100 | 36500 | 29100 | 22910 | 17680 | 13340 | 9770 |
| | 40 | Q | 56900 | 46800 | 38100 | 30600 | 24300 | 18880 | 14380 | 10640 | 7590 |
| | 50 | Q | 46500 | 38100 | 30800 | 24600 | 19250 | 14770 | 11030 | 7950 | 5440 |
| | 30 | P | 13,98 | 13,46 | 12,72 | 11,81 | 10,76 | 9,61 | 8,42 | 7,21 | 6,04 |
| | 40 | P | 16,58 | 15,58 | 14,40 | 13,08 | 11,67 | 10,20 | 8,72 | 7,27 | 5,89 |
| | 50 | P | 18,66 | 17,20 | 15,61 | 13,91 | 12,16 | 10,40 | 8,66 | 6,98 | 5,42 |
| 4NES-20Y | 30 | Q | 80900 | 67300 | 53900 | 43400 | 36700 | 29300 | 23000 | 17760 | 13380 |
| | 40 | Q | 68700 | 57000 | 46800 | 38100 | 30600 | 24300 | 18900 | 14410 | 10700 |
| | 50 | Q | 56500 | 46700 | 38200 | 30900 | 24700 | 19400 | 14940 | 11240 | 8190 |
| | 30 | P | 19,54 | 18,30 | 16,89 | 15,36 | 13,75 | 12,10 | 10,47 | 8,89 | 7,40 |
| | 40 | P | 21,00 | 19,43 | 17,73 | 15,95 | 14,13 | 12,29 | 10,46 | 8,70 | 7,02 |
| | 50 | P | 15,75 | 15,16 | 14,37 | 13,42 | 12,34 | 11,15 | 9,91 | 8,63 | 7,36 |
| 4JE-15Y | 30 | Q | 75300 | 62700 | 51700 | 42200 | 34000 | 27000 | 21040 | 15990 | 11750 |
| | 40 | Q | 64500 | 53500 | 43900 | 35700 | 28500 | 22450 | 17260 | 12890 | 9230 |
| | 50 | Q | 53300 | 44100 | 36000 | 29000 | 23000 | 17880 | 13520 | 9850 | 6800 |
| | 30 | P | 18,59 | 17,49 | 16,24 | 14,86 | 13,39 | 11,87 | 10,33 | 8,79 | 7,31 |
| | 40 | P | 21,00 | 19,43 | 17,73 | 15,95 | 14,13 | 12,29 | 10,46 | 8,70 | 7,02 |
| | 50 | P | 15,71 | 15,35 | 14,75 | 13,97 | 13,02 | 11,94 | 10,76 | 9,51 | 8,24 |
| 4JE-22Y | 30 | Q | 88900 | 74300 | 61700 | 50700 | 41300 | 33100 | 26100 | 20200 | 15180 |
| | 40 | Q | 76000 | 63400 | 52400 | 42900 | 34600 | 27500 | 21460 | 16310 | 11970 |
| | 50 | Q | 62700 | 52100 | 42800 | 34800 | 27900 | 21910 | 16810 | 12490 | 8860 |
| | 30 | P | 21,70 | 20,30 | 18,74 | 17,06 | 15,29 | 13,47 | 11,64 | 9,81 | 8,03 |
| | 40 | P | 23,30 | 21,90 | 20,00 | 17,73 | 15,95 | 14,13 | 12,29 | 10,46 | 8,70 |
| | 50 | P | 18,90 | 18,13 | 17,14 | 15,98 | 14,63 | 13,21 | 11,72 | 10,20 | 8,70 |
| 4HE-18Y | 30 | Q | 87700 | 73100 | 60300 | 49400 | 39900 | 31800 | 24900 | 19010 | 14090 |
| | 40 | Q | 75100 | 62400 | 51400 | 41900 | 33600 | 26600 | 20620 | 15560 | 11330 |
| | 50 | Q | 62100 | 51500 | 42200 | 34200 | 27300 | 21350 | 16350 | 12180 | 8650 |
| | 30 | P | 25,30 | 23,30 | 21,30 | 19,11 | 16,93 | 14,74 | 12,61 | 10,55 | 8,62 |

Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 16/03/2022)

Figura 4: Modelo de compressor escolhido para o túnel de congelamento, Alternativo semi-hérmico (R404A)



Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 16/03/2022)

- R717

A marca selecionada para o compressor com fluido R717 foi a Bitzer, modelo OSNA5351-K, cuja a capacidade frigorífica suportada é superior a calculada para o túnel de congelamento e a potência consumida é de 10,37 kW.

Tabela 20: Dados de desempenho do compressor selecionado para o túnel de congelamento (R717).

| Verdichter Typ Compressor type Compresseur type | Verfl.-temp. Cond. temp. Temp. de Cond. °C | Kälteleistung Cooling capacity Puissance frigorifique | | | | | | | Leistungsaufnahme (Welle) Power consumption (shaft) Puissance absorbée (arbre) | | | | | | |
|---|--|---|--------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Q_o [Watt] | | | | | | | P_w [kW] | | | | | | |
| | | Verdampfungstemperatur °C | | | | Evaporation temperature °C | | | Température d'évaporation °C | | | | | | |
| | | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 |
| OSNA5351-K | 30 | 68900 | 54300 | 43600 | 34500 | 26800 | 20400 | 15050 | 19,64 | 17,65 | 15,88 | 14,29 | 12,86 | 11,57 | 10,37 |
| | 40 | 61800 | 49950 | 39750 | 31150 | 23850 | 17720 | | 22,50 | 20,30 | 18,34 | 16,56 | 14,93 | 13,38 | |
| | 50 | 56000 | 44850 | 35300 | 27200 | 20350 | | | 25,20 | 22,90 | 20,80 | 18,84 | 16,92 | | |
| OSNA5361-K | 30 | | | 51100 | 41200 | 32600 | 25250 | 18940 | | | 17,76 | 16,20 | 14,72 | 13,31 | 11,94 |
| | 40 | | | 48700 | 38850 | 30300 | 22900 | | | | 21,20 | 19,29 | 17,47 | 15,65 | |
| | 50 | | | 45300 | 35550 | 27100 | | | | | 24,70 | 22,40 | 20,10 | | |
| OSNA5361-K | 30 | 78900 | 64100 | 51400 | 40700 | 31650 | 24100 | 17760 | 23,20 | 20,80 | 18,73 | 16,86 | 15,18 | 13,65 | 12,24 |
| | 40 | 73000 | 58900 | 46900 | 36750 | 28150 | 20900 | | 26,60 | 24,00 | 21,60 | 19,54 | 17,61 | 15,79 | |
| | 50 | 66100 | 52900 | 41650 | 32100 | 24000 | | | 29,70 | 27,00 | 24,60 | 22,20 | 19,96 | | |
| OSNA7441-K | 30 | | | 59600 | 48000 | 38050 | 29450 | 22100 | | | 20,60 | 18,79 | 17,09 | 15,46 | 13,88 |
| | 40 | | | 56800 | 45300 | 35350 | 26750 | | | | 24,50 | 22,40 | 20,30 | 18,20 | |
| | 50 | | | 52800 | 41450 | 31600 | | | | | 28,60 | 26,00 | 23,40 | | |
| OSNA7441-K | 30 | 121100 | 97000 | 78500 | 59300 | 45000 | 33200 | 23550 | 35,00 | 31,30 | 28,20 | 25,70 | 23,50 | 21,70 | 20,00 |
| | 40 | 112000 | 88700 | 69000 | 52500 | 38800 | 27600 | | 39,40 | 35,80 | 32,70 | 30,00 | 27,60 | 25,50 | |
| | 50 | 100200 | 78200 | 59600 | 44250 | 31600 | | | 44,90 | 41,30 | 38,10 | 35,20 | 32,60 | | |
| OSNA7451-K | 30 | | | 87200 | 68800 | 53100 | 39800 | 28650 | | | 30,40 | 27,80 | 25,60 | 23,50 | 21,70 |
| | 40 | | | 82100 | 63600 | 47800 | 34600 | | | | 36,10 | 33,30 | 30,60 | 28,00 | |
| | 50 | | | 74400 | 56200 | 40900 | | | | | 42,90 | 39,50 | 36,30 | | |
| OSNA7451-K | 30 | 126900 | 102900 | 82500 | 65400 | 51200 | 39400 | 29800 | 38,70 | 34,40 | 30,80 | 27,80 | 25,10 | 22,80 | 20,80 |
| | 40 | 118800 | 95900 | 76400 | 60100 | 46500 | 35300 | | 43,30 | 39,00 | 35,30 | 32,00 | 29,00 | 26,40 | |
| | 50 | 108900 | 87100 | 68700 | 53300 | 40450 | | | 48,90 | 44,50 | 40,50 | 37,00 | 33,70 | | |
| OSNA7451-K | 30 | | | 95000 | 76500 | 60800 | 47500 | 36450 | | | 33,60 | 30,50 | 27,80 | 25,30 | 23,00 |
| | 40 | | | 91800 | 73400 | 57700 | 44500 | | | | 39,60 | 36,10 | 32,90 | 29,90 | |
| | 50 | | | 86400 | 68200 | 52600 | | | | | 46,80 | 42,70 | 38,90 | | |

Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pdf/bitzer/open-drive-screw-compressors-sp-500-3/17562-399633.html>, acesso em 16/03/2022)

Figura 5: Modelo de compressor selecionado para o túnel de congelamento, Compressor parafuso (R717).



Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pdf/bitzer/open-drive-screw-compressors-sp-500-3/17562-399633.html>, acesso em 16/03/2022)

Bombas

Para escolher a bomba, precisou-se de algumas propriedades físicas do fluido refrigerante, como o “Calor latente de vaporização [kJ/kg]” e da “Densidade do líquido [kg/m³]”, assim pode-se estimar qual a quantidade de líquido que deve ser bombeado para os evaporadores para refrigerar o ambiente.

- R404A

Para o R404A as propriedades físicas encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21: Dados técnicos do R404A



Propriedades físicas

| PROPRIEDADES FÍSICAS | UNIDADES | R-404A |
|--|-----------|-------------|
| Peso molecular | (g/mol) | 97.61 |
| Temperatura ebulição a (1,013 bar) | (°C) | -46.45 |
| Deslizamento temperatura de ebulição (a 1,013 bar) | (K) | 0.7 |
| Temperatura crítica | (°C) | 72.07 |
| Pressão crítica | (bar abs) | 37.31 |
| Densidade crítica | (Kg/m³) | 484 |
| Densidade do líquido (25°C) | (Kg/m³) | 1048 |
| Densidade do líquido (-25°C) | (Kg/m³) | 1236 |
| Densidade do vapor saturado (a 1,013 bar) | (Kg/m³) | 5.41 |
| Pressão do vapor (25°C) | (bar abs) | 12.42 |
| Pressão do vapor (-25°C) | (bar abs) | 2.49 |
| Calor latente de vaporização (a 1,013 bar) | (KJ/Kg) | 200 |
| Calor específico do líquido (25°C) (1,013 bar) | (KJ/Kg.K) | 1.64 |
| Calor específico do vapor (25°C) (1,013 bar) | (KJ/Kg.K) | 0.88 |
| Condutibilidade térmica do líquido (25°C) | (W/mk) | 0.064 |
| Condutibilidade térmica do vapor (1,013 bar) | (W/mk) | 0.0143 |
| Solubilidade com o água (25°C) | (ppm) | Depreciável |
| Límite de inflamabilidade (25°C) | (% vol) | Nenhum |
| Toxicidade (AEL) | (ppm) | 1000 |
| ODP | - | 0 |
| GWP | - | 3922* |

* De acordo com IPCC-AR4/CIE (Quarto Relatório de Avaliação do Grupo Intergovernamental de Especialistas sobre Alterações Climáticas)-2007.

Fonte: GASSERVEI (<https://gas-servei.com/shop/docs/dados-tecnicos-r-404a-gas-servei.pdf>, acesso em 17/03/2022)

Sabe-se que a potência frigorífica do túnel de congelamento é $\dot{Q}_o = 9063,86$ kcal/h, e que 1 kcal/h = $4,1868$ kJ/h, tem-se

$$\dot{Q}_o = 37948,57 \text{ kJ/h}$$

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de R-404A necessária em 1 hora.

$$\frac{37948,57}{200} = 189,74 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{189,74}{484} = 0,40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A bomba selecionada foi a HM-3,5 da marca Frigostrella do Brasil. É uma bomba centrífuga usada para refrigeração de amônia, freon e outros refrigerantes, com uma vazão de 4 m³/h, acima das 0,40 m³/h necessários no evaporador.

Tabela 22: Dados técnicos da bomba selecionada para o túnel de congelamento (R404A).

| MODELO | | | ZM-1 | ZM-2 | ZM-3 | ZM-4 | ZM-5 | ZM-6 | ZM-9 | ZM-11 | HM-3,5 | HM-7,5 | HM-9 | HM-11 |
|-------------|------------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| DADOS | | | | | | | | | | | | | | |
| VAZÃO | | [m ³ /h] | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 55-65 | 4 | 10 | 15 | 20 |
| PRESSÃO | | [m.c.a] | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 10-15 | 10-15 | 10-15 | 10-15 |
| CONEXÕES | ENTRADA | [pol.] | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" |
| | SAÍDA | [pol.] | 1.1/2" | 1.1/2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" |
| | RESPIRO | [pol.] | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" |
| MOTOR 60 Hz | POTÊNCIA NOMINAL | [hp] | 4 | 5 | 6 | 7,5 | 10 | 12,5 | 12,5 | 15 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| | ROTAÇÃO | [RPM] | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 1750 | 1750 | 1750 | 1750 |
| | POLOS | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | CARCAÇA | [l] | 90L | 100L | 112M | 112M | 132S | 132M | 132M | 132M | 90S | 90L | 100L | 100L |
| PESO | C/MOTOR | [kg] | 144 | 154 | 160 | 164 | 188 | 191 | 191 | 196 | 141 | 144 | 154 | 154 |
| | S/MOTOR | [kg] | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |

Fonte: Catálogo Frigostrella (<https://frigostrella.com.br/arquivos/CatalogoBombaCentrifuga.pdf>, acesso em 20/03/2022)

Figura 6: Modelo da bomba selecionada para o túnel de congelamento (R404A).



Fonte: Catálogo Frigostrella (<https://frigostrella.com.br/arquivos/CatalogoBombaCentrifuga.pdf>, acesso em 20/03/2022)

- R717

Para a amônia as propriedades físicas – químicas encontram-se nas tabelas 23 e 24.

Tabela 23: Propriedades físicas do R717.

| Propriedades Físicas | |
|---|--|
| Calor latente de fusão a -77,7°C | 5,655 kJ/mol; 1351,6 cal/mol. |
| Calor molar específico, gás a 101,325 kPa e 46,8°C pressão constante | 36,953 kJ/ (kmol x K); 8,832 cal/ (mol x °C). |
| Calor molar específico, gás a 101,325 kPa e 46,8°C a volume constante | 28,28 kJ/ (kmol x k); 6,76 cal/ (mol x °C). |
| Calor molar específico, líquido saturado a -77,7°C | 73,136 KJ/ (kmol x K); 17,48 cal/ (mol x °C). |
| Condutividade térmica, gás a 101,325 kPa e 0°C | 0,02218 W/ (m x K); 53 x 10 ⁻⁶ cal x cm/ (s x cm ² x °C). |
| Condutividade térmica, líquido a 10°C | 0,5017 W/ (M x K); 11,99 x 10 ⁻⁶ cal x cm/ (s x cm ² x °C). |
| Densidade absoluta, gás a 101,325 kPa e 25°C | 0,7067 kg/m ³ |
| Densidade crítica | 0,235 Kg/dm ³ |
| Densidade, líquido na pressão de saturação a -33,7 °C. | 0,6828 kg/L |
| Densidade relativa, gás a 101,325 kPa e 25°C (ar=1). | 0,597 |

Fonte: Catálogo Gama Gases (<http://www.gamagases.com.br/propriedades-dos-gases-amonia.html>, acesso em 20/03/2022)

Tabela 24: Propriedades física-químicas do R717.

| PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E AMBIENTAIS | | | Help |
|--|--------------------------------------|--|------|
| Peso molecular 17,03 | Ponto de ebulição (°C) -33,4 | Ponto de fusão (°C) -77,7 | |
| Temperatura crítica (°C) 133 | Pressão crítica (atm) 111,3 | Densidade relativa do vapor 0,6 | |
| Densidade relativa do líquido (ou sólido) 0,682 A -33,4°C (LÍQUIDO) | Pressão de vapor 10 atm A 25,7 °C | Calor latente de vaporização (cal/g) 327 | |
| Calor de combustão (cal/g) - 4.440 | Viscosidade (cP) 0,105 | | |
| Solubilidade na água MISCÍVEL | pH NÃO PERT. | | |
| Reatividade química com água DISSOLVE-SE COM SUAVE EFEITO DE AQUECIMENTO. | | | |
| Reatividade química com materiais comuns CORROSIVO PARA COBRE E SUPERFÍCIES GALVANIZADAS. | | | |
| Polimerização NÃO OCORRE. | | | |
| Reatividade química com outros materiais INCOMPATÍVEL COM OXIDANTES FORTES, CÁLCIO, HIPOCLORITO DE SÓDIO, OURO, MERCÚRIO, PRATA E HALOGÊNEOS. | | | |
| Degradabilidade DADO NÃO DISPONÍVEL. | | | |
| Potencial de concentração na cadeia alimentar NENHUM. | | | |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) NÃO PERTINENTE. | | | |

Fonte: CETESB SP

(https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=AM%D4NIA%20ANIDRA,
acesso em 20/03/2022)

Sabe-se que a potência frigorífica do túnel de congelamento é $\dot{Q}_o = 9063,86 \text{ kcal/h}$, e que $1 \text{ kcal/h} = 4,1868 \text{ kJ/h}$, tem-se que

$$\dot{Q}_o = 37948,57 \text{ kJ/h}$$

E que $1 \text{ cal/g} = 4,1868 \text{ KJ/Kg}$, temos que Calor Latente de vaporização é $1369,08 \text{ kJ/kg}$.

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de amônia necessária em 1 hora.

$$\frac{37948,57}{1369,08} = 27,72 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{27,72}{0,235} = 117,96 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Com isso, podemos selecionar a mesma bomba tanto para o refrigerante R404A quanto para amônia.

Válvulas de expansão.

Para a seleção da válvula de expansão utilizou-se a capacidade frigorífica em Watt.

Portanto,

$$\dot{Q}_o = 10541,27 \text{ Watt} = 10,54 \text{ kW}$$

- R404A

A válvula de expansão para o fluido refrigerante R404A selecionada foi da marca Danfoss, tipo TGE 10 n° 6 e código 067N6154.

Tabela 25: Dados técnicos da válvula selecionada para o túnel de congelamento (R404A).

| Valve type | Orifice no. | Range N, K, MAH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------|-----------------|-----|-----|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|-------|-----|--------------|-----|-------|-----|------|----|
| | | R410A | | R32 | | R452B ⁽¹⁾ | | R454B ⁽¹⁾ | | R22 | | R134a | | R1234ze | | R407F | | R407A | | R404A / R507 | | R407C | | R290 | |
| | | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR |
| TGE 10 | 3 | 12 | 3.5 | 18 | 5 | 12 | 3.5 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 6 | 1.5 | 5 | 1.5 | 10 | 3 | 9 | 2.5 | 7 | 2 | 9 | 2.5 | 10 | 3 |
| | 4 | 16 | 4.5 | 24 | 7 | 16 | 4.5 | 18 | 5.0 | 14 | 4 | 8 | 2.5 | 7 | 2 | 14 | 4 | 12 | 3.5 | 9 | 2.5 | 13 | 3.5 | 14 | 4 |
| | 6 | 24 | 6.5 | 35 | 10 | 24 | 6.5 | 26 | 7.5 | 20 | 6 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 20 | 6 | 17 | 5 | 14 | 4 | 19 | 5 | 19 | 5 |
| | 8 | 32 | 9 | 47 | 13 | 32 | 9 | 35 | 10 | 27 | 7.5 | 17 | 4.5 | 14 | 4 | 27 | 7.5 | 23 | 6.5 | 18 | 5 | 25 | 7 | 25 | 7 |
| | 9 | 37 | 11 | 54 | 15 | 38 | 11 | 42 | 12 | 32 | 9 | 20 | 5.5 | 16 | 4.5 | 32 | 9 | 28 | 8 | 21 | 6 | 30 | 8.5 | 32 | 9 |
| | 11 | 45 | 13 | 68 | 19 | 46 | 13 | 49 | 14 | 38 | 11 | 24 | 7 | 20 | 5.5 | 40 | 11 | 34 | 10 | 26 | 7.5 | 36 | 10 | 36 | 10 |
| | 12.5 | 50 | 14 | 74 | 21 | 50 | 14 | 56 | 16 | 43 | 12 | 29 | 8 | 22 | 6 | 43 | 12 | 39 | 11 | 31 | 9 | 39 | 11 | 44 | 12 |
| TGE 20 | 16 | 60 | 17 | 87 | 25 | 60 | 17 | 67 | 19 | 50 | 14 | 35 | 9.5 | 27 | 7.5 | 50 | 14 | 46 | 13 | 35 | 10 | 49 | 14 | 50 | 14 |
| | 12.5 | 54 | 15 | 81 | 23 | 55 | 15 | 56 | 16 | 43 | 12 | 29 | 8 | 22 | 6 | 46 | 13 | 39 | 11 | 31 | 9 | 42 | 12 | 44 | 12 |
| | 16 | 68 | 19 | 102 | 29 | 68 | 19 | 74 | 21 | 54 | 15 | 37 | 10 | 27 | 7.5 | 57 | 16 | 50 | 14 | 39 | 11 | 53 | 15 | 54 | 15 |
| | 20 | 79 | 23 | 120 | 34 | 81 | 23 | 88 | 25 | 63 | 18 | 44 | 12 | 31 | 8.5 | 67 | 19 | 59 | 17 | 45 | 13 | 62 | 18 | 63 | 18 |
| TGE 40 | 21 ²⁾ | 91 | 26 | 135 | 38 | 98 | 28 | 102 | 29 | 75 | 21 | 51 | 15 | 39 | 11 | 82 | 23 | 72 | 21 | 53 | 15 | 77 | 22 | 75 | 21 |
| | 26 | 110 | 31 | 165 | 47 | 117 | 33 | 120 | 34 | 92 | 26 | 61 | 17 | 49 | 14 | 95 | 27 | 80 | 23 | 64 | 18 | 84 | 24 | 92 | 26 |
| | 30 | 125 | 35 | 187 | 53 | 134 | 38 | 137 | 39 | 104 | 30 | 70 | 20 | 57 | 16 | 108 | 31 | 91 | 26 | 72 | 21 | 95 | 27 | 106 | 30 |
| | 40 | 161 | 46 | 236 | 67 | 172 | 49 | 179 | 51 | 134 | 38 | 87 | 25 | 72 | 20 | 138 | 39 | 116 | 33 | 92 | 26 | 121 | 34 | 133 | 38 |
| TGE 40 | 42 | 182 | 52 | 273 | 78 | 208 | 59 | 208 | 59 | 148 | 42 | 102 | 29 | 81 | 23 | 165 | 47 | 140 | 40 | 105 | 30 | 148 | 42 | 152 | 43 |

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/184387/AI246186497192en-001001.pdf>, acesso em 20/03/2022)

Figura 7: Modelo da válvula de expansão selecionada para o túnel de congelamento (R404A).



Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/184387/AI246186497192en-001001.pdf>, acesso em 20/03/2022)

- R717

A válvula de expansão para o fluido refrigerante R717 selecionada foi da marca Danfoss, tipo TEA 20-5 e código 068G6003.

Tabela 26: Dados técnico da válvula selecionada para o túnel de congelamento (R717).

| Type and rated capacity in tons (TR) | Rated capacity ¹⁾ [kW] | Connection weld flanges | | Code no. | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | Inlet [in] | Outlet [in] | Assembled valve | Separate strainer ²⁾ | Separate orifice assembly | Separate thermostatic element |
| TEA 20, range: -50 to 0 °C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6000 | 006-0042 | 068G2050 | 068G3250 |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6001 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6002 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6003 | | 068G2053 | |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6004 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6005 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6006 | 068G2056 | | |
| TEA 20, range: -20 to 30 °C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6137 | 006-0042 | 068G2050 | 068G3252 |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6133 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6134 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6138 | | 068G2053 | |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6139 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6140 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6135 | 068G2056 | | |
| TEA 85, range: -50 to 0 °C | | | | | | | |
| TEA85-33 | 115 | 3/4 | 3/4 | 068G6007 | 006-0048 | 068G2057 | 068G3250 |
| TEA 85-55 | 190 | 3/4 | 3/4 | 068G6008 | | 068G2058 | |
| TEA 85-85 | 295 | 3/4 | 3/4 | 068G6009 | | 068G2059 | |

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/100170/AF221186430881en-000202.pdf>, acesso em 20/03/2022)

Figura 8: Modelo da válvula de expansão selecionada para o túnel de congelamento (R717).



Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/100170/AF221186430881en-000202.pdf>, acesso em 20/03/2022)

Condensadores

- R404A

Para a seleção do condensador necessitou-se da temperatura de condensação e da capacidade efetivamente rejeitada no condensador.

Para a seleção do equipamento, primeiramente realizou-se a correção das capacidades, através de 5 correções dada pelo catálogo do fabricante.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_{cp} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4$$

Onde: Q_{cd} = Capacidade efetivamente rejeitada no condensador;

Q_{cp} = capacidade frigorífica do compressor;

F_{cp} = fator prático de correção do motor do compressor;

F_1 = fator relativo ao DT (diferença entre as temperaturas de entrada do ar e de condensação);

F_2 = fator relativo ao refrigerante;

F_3 = fator relativo a temperatura de entrada do ar;

F_4 = fator relativo a altitude do local de instalação.

Tabela 27: Correção de Capacidades (R404A).

Correção de Capacidades

| F1 | Fator relativo ao DT (*) | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| DT | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 18 | 20 |
| F1 | 1,42 | 1,25 | 1,11 | 1 | 0,91 | 0,83 | 0,77 | 0,71 | 0,67 | 0,55 | 0,5 |
| F2 | Fator relativo ao refrigerante | | | | | | | | | | |
| Refrigerante | R22 | R134A | R404A | R407C | R410A | | | | | | |
| F2 | 1 | 1,01 | 0,983 | 0,98 | 0,95 | | | | | | |
| F3 | Fator relativo à temperatura de entrada do ar | | | | | | | | | | |
| Temperatura de Entrada | +15 | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | | | |
| F3 | 0,9 | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 1 | 1,03 | 1,08 | 1,12 | | | |
| F4 | Fator relativo à altitude do local de instalação | | | | | | | | | | |
| Altitude (m) | 0 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | | |
| F4 | 1,00 | 1,04 | 1,06 | 1,07 | 1,09 | 1,10 | 1,12 | 1,14 | 1,16 | | |
| Fsom | Correção do nível sonoro em função da distância do condensador e o local desejado | | | | | | | | | | |
| Distância (m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Dba | +20 | +14 | +10 | +8 | +6 | 0 | -4 | -6 | -12 | -16 | -20 |

As capacidades térmicas apresentadas nas tabelas deste catálogo correspondem a condições de operação padrão e que nem sempre são aquelas que se dispõe no projeto. Assim, apresentamos um método de correção para condições reais que deve ser aplicado antes de se entrar na tabela de seleção dos equipamentos.

(*) DT = diferença entre as temperaturas de entrada do ar e condensação

| FCP | Temperatura de Evaporação | Coeficiente Fcp para compressores herméticos ou semi herméticos | | | | | | Coeficiente Fcp para compressores abertos | | | | | |
|-----|---------------------------|---|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|
| | °C | Temperatura de Condensação °C | | | | | | Temperatura de Condensação °C | | | | | |
| | | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| | 10 | 1,14 | 1,16 | 1,18 | 1,22 | 1,24 | 1,29 | 1,09 | 1,11 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 |
| | 5 | 1,18 | 1,20 | 1,22 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,12 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 |
| | 0 | 1,21 | 1,23 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 1,14 | 1,15 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 |
| | -5 | 1,25 | 1,27 | 1,30 | 1,33 | 1,38 | 1,41 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 |
| | -10 | 1,29 | 1,31 | 1,34 | 1,38 | 1,43 | 1,48 | 1,19 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 |
| | -15 | 1,33 | 1,35 | 1,39 | 1,43 | 1,48 | 1,55 | 1,23 | 1,25 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 |
| | -20 | 1,38 | 1,41 | 1,44 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | 1,26 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,45 |
| | -25 | 1,44 | 1,47 | 1,50 | 1,55 | 1,62 | 1,72 | 1,30 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |
| | -30 | 1,51 | 1,53 | 1,57 | 1,62 | 1,72 | 1,87 | 1,34 | 1,36 | 1,40 | 1,45 | 1,49 | 1,55 |
| | -35 | 1,58 | 1,60 | 1,66 | 1,75 | 1,87 | 2,07 | 1,37 | 1,40 | 1,45 | 1,49 | 1,55 | 1,62 |
| | -40 | 1,66 | 1,70 | 1,76 | 1,87 | 2,03 | 2,27 | 1,39 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,62 | 1,67 |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/03/2022)

Para F_1 , tem-se que a temperatura de condensação é 40 °C e a temperatura de entrada do ar é de 33,6 °C.

$$DT = 40 - 33,6 = 6,4 \text{ °C}$$

Interpolando, tem-se $F_1 = 1,52$.

Para F_2 , o fluido refrigerante usado foi o R404A.

$$F_2 = 0,982$$

Para F_3 , considerou-se a temperatura crítica na cidade de Uberlândia de 33,6 °C.

Interpolando, tem-se $F_3 = 0,99$.

Para F_4 , considerou-se a altitude da cidade de Uberlândia de 807 m, tem-se $F_4 = 1,06$.

E para o F_{cp} , tem-se que a temperatura de evaporação é de -40 °C e a temperatura de condensação de 40 °C, portanto $F_{cp} = 1,76$.

Para a capacidade frigorífica do compressor, tem-se

$$Q_{cp} = 11330 \text{ W} = 9742,05 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{cd} = 9742,05 \cdot 1,76 \cdot 1,52 \cdot 0,982 \cdot 0,99 \cdot 1,06$$

$$Q_{cd} = 30390,93 \text{ kcal/h}$$

O condensador selecionado foi o da marca Cdr, modelo 38.

Tabela 28: Dados técnicos do condensador selecionado para o túnel de congelamento (R404A)

Kcal/h

| Condensador Remoto Cdr | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nº de Ventiladores Nº de Fileiras | | 1 3 | 1 4 | 1 5 | 2 3 | 2 4 | 2 5 | 3 3 | 3 4 | 3 5 | 4 3 | 4 4 | 4 5 |
| 6 polos | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo | | 45 | 53 | 57 | 91 | 106 | 114 | 136 | 159 | 171 | 181 | 212 | 228 |
| Nível de ruído a 10m | | dB(a) | | | | | | | | | | | |
| CdrE (10app) DT 10°C | | Kcal/h | | | | | | | | | | | |
| CdrF (12app) DT 10°C | | Kcal/h | | | | | | | | | | | |
| Vazão de ar | | m³/h | | | | | | | | | | | |
| Motor 60Hz | Potência | kW | | | | | | | | | | | |
| | Corrente 220V | A | | | | | | | | | | | |
| | Corrente 380V | A | | | | | | | | | | | |
| 8 polos | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo | | 38 | 43 | 46 | 76 | 86 | 92 | 115 | 129 | 138 | 152 | 172 | 184 |
| Nível de ruído a 10m | | dB(a) | | | | | | | | | | | |
| CdrE (10app) DT 10°C | | Kcal/h | | | | | | | | | | | |
| CdrF (12app) DT 10°C | | Kcal/h | | | | | | | | | | | |
| Vazão de ar | | m³/h | | | | | | | | | | | |
| Motor 60Hz | Potência | kW | | | | | | | | | | | |
| | Corrente 220V | A | | | | | | | | | | | |
| | Corrente 380V | A | | | | | | | | | | | |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/03/2022)

Figura 9: Modelo de condensador selecionado para o túnel de congelamento (R404A).



Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/03/2022)

- R717

Para a seleção do condensador necessitou-se da temperatura de condensação e da temperatura de bulbo úmido dada pela Tabela 9 de 23,2 °C.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_1$$

Onde: Q_{cd} = Capacidade efetivamente rejeitada no condensador;

Q_{cp} = capacidade frigorífica do compressor;

F_1 = fator de correção para capacidade de rejeição de calor.

Tabela 29: Fator de correção (R717).

| Temp. Cond. Cond. Temp. (°C) | TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (°C) WET BULB TEMPERATURE (°C) | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26,5 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 30 | 1,37 | 1,59 | 1,92 | 2,16 | 2,47 | 2,91 | 3,58 | - | - | - | - | - |
| 31 | 1,25 | 1,43 | 1,69 | 1,87 | 2,10 | 2,41 | 2,84 | - | - | - | - | - |
| 32 | 1,15 | 1,30 | 1,51 | 1,65 | 1,82 | 2,05 | 2,35 | 2,65 | 2,77 | 3,40 | - | - |
| 33 | 1,07 | 1,19 | 1,36 | 1,47 | 1,61 | 1,78 | 2,00 | 2,17 | 2,35 | 2,70 | 3,52 | 4,34 |
| 35 | 0,93 | 1,02 | 1,13 | 1,21 | 1,30 | 1,40 | 1,53 | 1,62 | 1,72 | 1,90 | 2,24 | 2,57 |
| 37 | 0,82 | 0,88 | 0,97 | 1,02 | 1,08 | 1,15 | 1,23 | 1,29 | 1,35 | 1,46 | 1,63 | 1,81 |
| 40 | 0,69 | 0,73 | 0,79 | 0,82 | 0,86 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 1,01 | 1,07 | 1,16 | 1,24 |
| 43 | 0,59 | 0,62 | 0,66 | 0,68 | 0,71 | 0,73 | 0,77 | 0,78 | 0,80 | 0,84 | 0,89 | 0,94 |
| 45 | 0,54 | 0,56 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,73 | 0,77 | 0,80 |

Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 22/03/2022)

$$Q_{cd} = 15050.0,82 = 12341 \text{ Watts} = 12,35 \text{ kW}$$

O condensador selecionado foi o condensador evaporativo de marca Evapco modelo SCD-23.

Tabela 30: Dados técnicos do condensador selecionado para o túnel de congelamento (R717).

| CAPACIDADE DE REJEIÇÃO DE CALOR REFERÊNCIA | | | |
|--|--|-----------------|--|
| BASE HEAT REJECTION (kW) | | | |
| MODELO MODEL | REJEIÇÃO DE CALOR HEAT REJECTION (kW) | MODELO MODEL | REJEIÇÃO DE CALOR HEAT REJECTION (kW) |
| SCD-23 | 99 | SCD-471* | 2029 |
| SCD-29 | 125 | SCD-482 | 2077 |
| SCD-34 | 146 | SCD-502 | 2163 |
| SCD-37 | 159 | SCD-550* | 2369 |
| SCD-42 | 181 | SCD-560 | 2412 |
| SCD-55 | 237 | SCD-578 | 2490 |
| SCD-70 | 302 | SCD-600 | 2585 |
| SCD-80 | 345 | SCD-610 | 2628 |
| SCD-84 | 362 | SCD-625 | 2693 |
| SCD-85 | 367 | SCD-656 | 2826 |
| SCD-110 | 474 | SCD-672 | 2895 |
| SCD-125 | 539 | SCD-690 | 2973 |
| SCD-135 | 582 | SCD-698* | 3007 |
| SCD-145 | 625 | SCD-704 | 3033 |
| SCD-155 | 668 | SCD-720 | 3101 |
| SCD-165 | 711 | SCD-730 | 3145 |
| SCD-175 | 754 | SCD-732* | 3153 |
| SCD-185 | 797 | SCD-756 | 3257 |
| SCD-195 | 840 | SCD-760 | 3274 |
| SCD-205 | 883 | SCD-780* | 3360 |
| SCD-210 | 905 | SCD-800 | 3446 |
| SCD-215 | 926 | SCD-815 | 3511 |
| SCD-225 | 969 | SCD-840 | 3619 |

Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 22/03/2022)

Tabela 31: Dados de engenharia do evaporador selecionado para o túnel de congelamento (R717).

| MODELO MODEL | PESO/WEIGHT (kg) | | MOTOR VENT. FAN/MOTOR (cv) | VAZÃO ÁGUA WATER FLOW (l/s) | MOTOR BOMBA PUMP MOTOR (cv) | CARGA R-717 R-717 CHARGE (kg) | A (mm) | H (mm) | REPOSIÇÃO "R" MAKE-UP (pol) | LADRÃO OVERFLOW "L" (pol) | DRENO DRAIN "D" (pol) |
|-----------------|---|--|-------------------------------------|---|---|---|-----------|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | EMBARQUE APROX. APPROX. SHIPPING | OPERAÇÃO APROX. APPROX. OPERATION | | | | | | | | | |
| SCD-23 | 750 | 1089 | (1X)2,0 | 2,7 | 1,00 | 11 | 610 | 2665 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-29 | 810 | 1172 | (1X)2,0 | 2,7 | 1,00 | 15 | 845 | 2895 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-34 | 870 | 1256 | (1X)2,0 | 2,7 | 1,00 | 20 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-37 | 890 | 1283 | (1X)2,0 | 2,7 | 1,00 | 21 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-42 | 1360 | 2097 | (2X)2,0 | 6,7 | 1,00 | 20 | 375 | 2435 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-55 | 1490 | 2275 | (2X)2,0 | 6,7 | 1,00 | 28 | 610 | 2665 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-70 | 1620 | 2452 | (2X)2,0 | 6,7 | 1,00 | 38 | 845 | 2895 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-80 | 1730 | 2610 | (2X)2,0 | 6,7 | 1,00 | 46 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-84 | 1780 | 2674 | (2X)3,0 | 6,7 | 1,00 | 49 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-85 | 1870 | 3027 | (2X)2,0 | 9,7 | 1,50 | 36 | 610 | 2665 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-110 | 2015 | 3244 | (2X)2,0 | 9,7 | 1,50 | 49 | 845 | 2895 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-125 | 2160 | 3461 | (2X)2,0 | 9,7 | 1,50 | 62 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-135 | 2220 | 3542 | (2X)3,0 | 9,7 | 1,50 | 65 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-145 | 2565 | 4202 | (3X)2,0 | 12,5 | 1,50 | 66 | 845 | 2895 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-155 | 2700 | 4361 | (3X)3,0 | 12,5 | 1,50 | 70 | 845 | 2895 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-165 | 2750 | 4484 | (3X)2,0 | 12,5 | 1,50 | 82 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |
| SCD-175 | 2835 | 4597 | (3X)3,0 | 12,5 | 1,50 | 86 | 1080 | 3125 | 1" | 2" | 2" |

Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 22/03/2022)

Figura 10: Modelo de condensador selecionado para o túnel de congelamento (R717).



Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 22/03/2022)

6.2. CÂMARA DE CONGELADOS

Evaporadores

Para a seleção dos evaporadores considerou-se a capacidade frigorífica $\dot{Q}_o = 5445,92 \text{ kcal/h}$ e a temperatura de evaporação igual a $-30 \text{ }^\circ\text{C}$.

- R404A

O evaporador selecionado para o fluido R404A foi da marca Ciabe, modelo CMP 40244.

Tabela 32: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de congelados (R404A).

| CMP 400 (4APP) | Capacidade / Capacidad kcal/h - DT 6°C | | | | | | | | | | | Flecha de ar/ Tiro de Aire 20m | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | Temperatura de Evaporação / Temperatura de Evaporación (°C) - R404A | | | | | | | | | | | Ventiladores | | |
| | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | Qtde Cant. | Diâmetro/ Diámetro (mm) | Vazão de ar/ Caudal de aire (m³/h) |
| 40134 | 2.543 | 2.714 | 2.855 | 2.974 | 3.078 | 3.208 | 3.359 | 3.437 | 3.536 | 3.682 | 3.827 | 1 | 400 | 4.280 |
| 40144 | 2.720 | 3.006 | 3.229 | 3.463 | 3.682 | 3.910 | 4.165 | 4.342 | 4.529 | 4.789 | 5.070 | 1 | 400 | 4.180 |
| 40154 | 3.250 | 3.578 | 3.869 | 4.082 | 4.326 | 4.581 | 4.883 | 5.086 | 5.309 | 5.626 | 5.964 | 1 | 400 | 4.060 |
| 40234 | 4.618 | 4.857 | 5.268 | 5.632 | 5.975 | 6.308 | 6.708 | 6.973 | 7.259 | 7.654 | 8.070 | 2 | 400 | 8.560 |
| 40244 | 6.105 | 6.588 | 7.004 | 7.306 | 7.660 | 8.039 | 8.486 | 8.767 | 9.079 | 9.537 | 10.026 | 2 | 400 | 8.360 |
| 40254 | 6.609 | 7.010 | 7.535 | 8.081 | 8.601 | 9.157 | 9.786 | 10.244 | 10.728 | 11.404 | 12.137 | 2 | 400 | 8.120 |
| 40344 | 8.679 | 9.339 | 10.109 | 10.738 | 11.346 | 11.991 | 12.730 | 13.224 | 13.764 | 14.529 | 15.350 | 3 | 400 | 12.540 |
| 40354 | 10.306 | 11.222 | 11.898 | 12.584 | 13.250 | 13.978 | 14.836 | 15.418 | 16.047 | 16.973 | 17.982 | 3 | 400 | 12.180 |
| 40444 | 12.303 | 13.229 | 14.102 | 14.602 | 15.257 | 15.964 | 16.801 | 17.264 | 17.805 | 18.606 | 19.432 | 4 | 400 | 16.720 |
| 40454 | 12.984 | 14.201 | 15.345 | 16.401 | 17.415 | 18.496 | 19.739 | 20.634 | 21.580 | 22.927 | 24.398 | 4 | 400 | 16.240 |
| 40554 | 15.683 | 16.796 | 18.226 | 19.500 | 20.732 | 22.038 | 23.530 | 24.606 | 25.745 | 27.352 | 29.110 | 5 | 400 | 19.680 |

Fatores de conversão dos fluidos refrigerantes : R134-A: 0,95 | R22: 0,97 | R404A: 1 | R507: 1 / Capacidades para 50Hz multiplicar por 0,9
Factores de conversión de los refrigerantes: R134-A: 0,95 | R22: 0,97 | R404A: 1 | R507: 1 / para 50Hz multiplicar por 0,9

Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 21/03/2022)

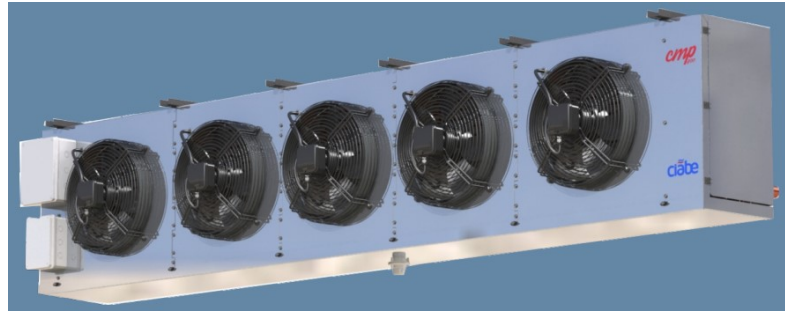
Tabela 33: Dados elétricos do evaporador selecionado para a câmara de congelados (R404A).

Dados Elétricos
Datos Eléctricos

| Modelos | Potência/ Potencia (W) | Corrente/Corriente A | | |
|---------------|---------------------------|--|--------------|--------------|
| | | Motores Convencionais/Motores Convencionales | | |
| | | 220V/3F/60Hz | 380V/3F/60Hz | 440V/3F/60Hz |
| 40134 / 40136 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40144 / 40146 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40154 / 40156 | 250 | 0,9 | 0,5 | 0,4 |
| 40234 / 40236 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40244 / 40246 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40254 / 40256 | 500 | 1,7 | 1,0 | 0,9 |
| 40344 / 40346 | 750 | 2,6 | 1,5 | 1,3 |
| 40354 / 40356 | 750 | 2,6 | 1,5 | 1,3 |
| 40444 / 40446 | 1000 | 3,5 | 2,0 | 1,7 |
| 40454 / 40456 | 1000 | 3,5 | 2,0 | 1,7 |
| 40554 / 40556 | 1250 | 4,3 | 2,5 | 2,2 |

Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 21/03/2022)

Figura 11: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de congelados (R404A).



Fonte: Catálogo Ciabe (<https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>, acesso 21/03/2022)

- R717

Para o fluido refrigerante R717, o evaporador foi da marca MIPAL, modelo EviB 8 polos 179.

Tabela 34: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de congelados (R717).

EviB • 8 Polos
Motoventilador com baixo nível de ruído (R06-R08)
Motoventilador convencional (C06-C08)

| EviB 8 polos DT1 = 10,8°F DT1 = 6°K Kcal/h | °F °C | Temperatura de evaporação | | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------|------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|----------|---------|---------|
| | | -40 -40 | -31 -35 | -22 -30 | -13 -25 | -4 -20 | 5 -15 | 14 -10 | 23 -5 | 32 0 | 41 5 |
| 179 | | 5224 | 6219 | 6760 | 6966 | 7654 | 8084 | 8600 | 9181 | 9675 | 10139 |
| 245 | | 7790 | 9274 | 10080 | 10449 | 11481 | 12126 | 12900 | 13772 | 14513 | 15209 |
| 296 | | 8486 | 10102 | 10980 | 12351 | 13572 | 14335 | 15200 | 16317 | 17296 | 18161 |
| 357 | | 10348 | 12319 | 13390 | 13932 | 15308 | 16168 | 17200 | 18363 | 19350 | 20279 |
| 489 | | 15580 | 18547 | 20160 | 20898 | 22962 | 24252 | 25800 | 27544 | 29025 | 30418 |
| 591 | | 20696 | 24638 | 26780 | 27864 | 30616 | 32336 | 34400 | 36725 | 38700 | 40558 |
| 734 | | 23369 | 27821 | 30240 | 31347 | 34443 | 36378 | 38700 | 41316 | 43538 | 45627 |
| 887 | | 25457 | 30306 | 32939 | 37052 | 40716 | 43004 | 45750 | 48952 | 51889 | 54483 |
| 978 | | 31159 | 37094 | 40320 | 41796 | 45924 | 48504 | 51600 | 55088 | 58050 | 60836 |
| 1182 | | 41391 | 49275 | 53560 | 55728 | 61232 | 64672 | 68800 | 73451 | 77400 | 81115 |

Kcal/h

Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 21/03/2022)

Tabela 35: Dados elétricos do evaporador selecionado para a câmara de congelados (R717).

| Evi B | Características | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|----------|-------------|--------------------------|-------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|
| | S | R | V | C | N | Motoventiladores Ø 800mm | | | | Degelo | | | |
| | m ² | m ² /m ² | dm ³ | Refr. Kg | dB (A) (1m) | m ³ / h | Watts | 220V 3 Ø A | 380V 3 Ø A | W | 220V 1 Ø A | 220V 3 Ø A | 380V 3 Ø A |
| 179 | 52,79 | 10,03 | 21,5 | 4,3 | 66 | 1 x 19000 | 1100 | 5,9 | 3,4 | 6x1250 | 34,1 | 19,8 | 11,5 |
| 245 | 79,18 | 10,03 | 33,1 | 6,6 | 66 | 1 x 18000 | 1100 | 5,9 | 3,4 | 9x1250 | 51,2 | 29,6 | 17,2 |
| 296 | 105,58 | 10,03 | 41,2 | 8,3 | 66 | 1 x 17000 | 1100 | 5,9 | 3,4 | 12x1250 | 68,2 | 39,5 | 22,9 |
| 357 | 105,58 | 10,03 | 42,0 | 8,4 | 69 | 2 x 19000 | 2200 | 11,8 | 6,8 | 6x2500 | 68,2 | 39,5 | 22,9 |
| 489 | 158,36 | 10,03 | 63,1 | 12,6 | 69 | 2 x 18000 | 2200 | 11,8 | 6,8 | 9x2500 | 102,3 | 59,3 | 34,4 |
| 591 | 211,15 | 10,03 | 84,1 | 16,8 | 69 | 2 x 17000 | 2200 | 11,8 | 6,8 | 12x2500 | 136,4 | 79 | 46,0 |
| 734 | 237,55 | 10,03 | 93,0 | 18,6 | 71 | 3 x 18000 | 3300 | 17,7 | 10,2 | 9x3400 | 139,0 | 80,3 | 46,5 |
| 887 | 316,73 | 10,03 | 120 | 24 | 71 | 3 x 17000 | 3300 | 17,7 | 10,2 | 12x3400 | 185,5 | 107,1 | 62,0 |
| 978 | 316,73 | 10,03 | 123,1 | 24,6 | 72 | 4 x 18000 | 4400 | 23,6 | 13,6 | 12x3400 | 185,5 | 107,1 | 62,0 |
| 1182 | 422,30 | 10,03 | 164,3 | 32,9 | 72 | 4 x 17000 | 4400 | 23,6 | 13,6 | 15x3400 | 231,9 | 133,9 | 77,5 |

Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 21/03/2022)

Figura 12: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de congelados (R717).



Fonte: Catálogos Mipal (<https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>, acesso em 21/03/2022)

Compressores

Para seleção dos compressores, necessitou-se da capacidade frigorífica em Watt, da temperatura de condensação de 40 °C e da temperatura de evaporação de -30 °C.

Como 1 kcal/h = 1,163 watt, então

$$\dot{Q}_o = 6333,60 \text{ Watt}$$

- R404A

A marca selecionada para o compressor com fluido R404A foi a Bitzer, o compressor selecionado foi o Ecoline, modelo 4DES-5Y, cuja a capacidade frigorífica suportada é superior a calculada para o câmara de congelados, e a potência consumida é de 4,66 kW

Tabela 36: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de congelados (R404A).

R404A / R507A



Dados de Performance a 60Hz

Referente à temperatura do gás de sucção a 20°C, sem subresfriamento de líquido.

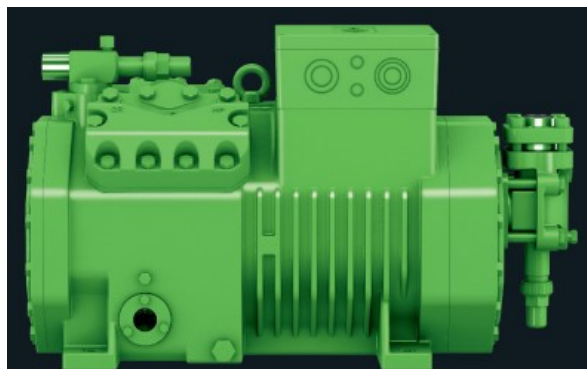
Datos de Performance a 60Hz

Referente a la temperatura del gas de succión a 20°C, sin sub-enfriamiento de líquido.

| Compressor Tipo | Temp. de cond. °C | Capacidade Frigorífica Q_o [Watt] | | | | Potência Consumida P_e [kW] | | | | | |
|-----------------|-------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|------|------|------|
| | | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 |
| 4FES-3Y | 30 | Q | 21130 | 17450 | 14300 | 11600 | 9300 | 7360 | 5740 | 4390 | 3280 |
| | | P | 4,48 | 4,36 | 4,17 | 3,92 | 3,63 | 3,30 | 2,95 | 2,59 | 2,23 |
| | 40 | Q | 17910 | 14800 | 12120 | 9820 | 7860 | 6200 | 4810 | 3660 | 2710 |
| | | P | 5,36 | 5,10 | 4,78 | 4,42 | 4,02 | 3,59 | 3,15 | 2,71 | 2,28 |
| | 50 | Q | 14520 | 12000 | 9820 | 7950 | 6340 | 4980 | 3830 | 2880 | 2090 |
| | | P | 6,07 | 5,69 | 5,25 | 4,78 | 4,27 | 3,75 | 3,23 | 2,72 | 2,23 |
| 4FES-5Y | 30 | Q | 25400 | 21130 | 17450 | 14300 | 11600 | 9300 | 7360 | 5740 | 4390 |
| | | P | 4,46 | 4,42 | 4,30 | 4,12 | 3,89 | 3,61 | 3,29 | 2,96 | 2,60 |
| | 40 | Q | 21490 | 17900 | 14790 | 12120 | 9820 | 7860 | 6200 | 4810 | 3660 |
| | | P | 5,41 | 5,23 | 4,99 | 4,70 | 4,35 | 3,97 | 3,57 | 3,15 | 2,72 |
| | 50 | Q | 17380 | 14500 | 11990 | 9820 | 7940 | 6340 | 4980 | 3830 | 2880 |
| | | P | 6,18 | 5,88 | 5,53 | 5,13 | 4,69 | 4,22 | 3,73 | 3,23 | 2,74 |
| 4EES-4Y | 30 | Q | 26700 | 22090 | 18120 | 14720 | 11820 | 9370 | 7300 | 5580 | 4170 |
| | | P | 5,73 | 5,56 | 5,31 | 4,97 | 4,58 | 4,14 | 3,68 | 3,20 | 2,73 |
| | 40 | Q | 22700 | 18770 | 15380 | 12470 | 9980 | 7870 | 6100 | 4630 | 3410 |
| | | P | 6,89 | 6,54 | 6,10 | 5,61 | 5,07 | 4,51 | 3,92 | 3,35 | 2,78 |
| | 50 | Q | 18540 | 15320 | 12530 | 10130 | 8070 | 6320 | 4850 | 3630 | 2620 |
| | | P | 7,87 | 7,33 | 6,74 | 6,09 | 5,42 | 4,73 | 4,05 | 3,37 | 2,74 |
| 4EES-6Y | 30 | Q | 31900 | 26500 | 21920 | 17960 | 14560 | 11660 | 9210 | 7150 | 5440 |
| | | P | 5,67 | 5,61 | 5,44 | 5,19 | 4,87 | 4,50 | 4,07 | 3,62 | 3,16 |
| | 40 | Q | 27000 | 22500 | 18580 | 15190 | 12280 | 9800 | 7700 | 5940 | 4470 |
| | | P | 6,91 | 6,66 | 6,32 | 5,91 | 5,44 | 4,93 | 4,39 | 3,83 | 3,26 |
| | 50 | Q | 22010 | 18310 | 15100 | 12310 | 9920 | 7870 | 6130 | 4670 | 3460 |
| | | P | 7,93 | 7,51 | 7,01 | 6,45 | 5,85 | 5,21 | 4,56 | 3,90 | 3,25 |
| 4DES-5Y | 30 | Q | 31600 | 26200 | 21560 | 17550 | 14120 | 11200 | 8750 | 6690 | 5000 |
| | | P | 6,81 | 6,61 | 6,30 | 5,90 | 5,44 | 4,92 | 4,38 | 3,82 | 3,26 |
| | 40 | Q | 27000 | 22370 | 18340 | 14870 | 11910 | 9400 | 7280 | 5520 | 4070 |
| | | P | 8,14 | 7,72 | 7,21 | 6,63 | 6,00 | 5,33 | 4,66 | 3,98 | 3,33 |
| | 50 | Q | 22260 | 18370 | 15010 | 12120 | 9650 | 7580 | 5800 | 4340 | 3140 |
| | | P | 9,28 | 8,65 | 7,95 | 7,20 | 6,41 | 5,61 | 4,81 | 4,04 | 3,31 |

Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 21/03/2022)

Figura 13: Modelo de compressor selecionado para a câmara de congelados, Alternativo semi-hérmico (R404A).



Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 21/03/2022)

- R717

A marca selecionada para o compressor com fluido R717 foi a Bitzer e o modelo escolhido foi o OSNA5351-K. A capacidade frigorífica suportada é superior a calculada para a câmara de congelados e a potência consumida é de 14,93 kW.

Tabela 37: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de congelados (R717).

| Tiefkühlbereich | | Low temperature range | | | | | | Congélation | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Verdichter Typ | Verfl.-temp. | Kälteleistung Cooling capacity Puissance frigorifique | | | | | | Leistungsaufnahme (Welle) Power consumption (shaft) Puissance absorbée (arbre) | | | | | | | | |
| Compressor type | Cond. temp. | Q_o [Watt] | | | | | | P_w [kW] | | | | | | | | |
| Compresseur type | Temp. de Cond. °C | Verdampfungstemperatur °C | | | | | | Evaporation temperature °C | | | | | | | | |
| | | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | |
| | 30 | 66900 | 54300 | 43600 | 34500 | 26800 | 20400 | 15050 | 19,64 | 17,65 | 15,88 | 14,29 | 12,86 | 11,57 | 10,37 | |
| | 40 | 61800 | 49950 | 39750 | 31150 | 23850 | 17720 | | 22,50 | 20,30 | 18,34 | 16,56 | 14,93 | 13,38 | | |
| OSNA5351-K | 50 | 56000 | 44850 | 35300 | 27200 | 20350 | | | 25,20 | 22,90 | 20,80 | 18,84 | 16,92 | | | |
| | 30 | | | 51100 | 41200 | 32600 | 25250 | 18940 | | | ECO ^④ | 17,76 | 16,20 | 14,72 | 13,31 | 11,94 |
| | 40 | | | 48700 | 38850 | 30300 | 22900 | | | | ECO ^④ | 21,20 | 19,29 | 17,47 | 15,65 | |
| | 50 | | | 45300 | 35550 | 27100 | | | | | ECO ^④ | 24,70 | 22,40 | 20,10 | | |
| | 30 | 78900 | 64100 | 51400 | 40700 | 31650 | 24100 | 17760 | 23,20 | 20,80 | 18,73 | 16,86 | 15,18 | 13,65 | 12,24 | |
| | 40 | 73000 | 58900 | 46900 | 36750 | 28150 | 20900 | | 26,60 | 24,00 | 21,60 | 19,54 | 17,61 | 15,79 | | |
| OSNA5361-K | 50 | 66100 | 52900 | 41650 | 32100 | 24000 | | | 29,70 | 27,00 | 24,60 | 22,20 | 19,96 | | | |
| | 30 | | | 59600 | 48000 | 38050 | 29450 | 22100 | | | ECO ^④ | 20,60 | 18,79 | 17,09 | 15,46 | 13,88 |
| | 40 | | | 56800 | 45300 | 35350 | 26750 | | | | ECO ^④ | 24,50 | 22,40 | 20,30 | 18,20 | |
| | 50 | | | 52800 | 41450 | 31600 | | | | | ECO ^④ | 28,60 | 26,00 | 23,40 | | |
| | 30 | 121100 | 97000 | 76500 | 59300 | 45000 | 33200 | 23550 | 35,00 | 31,30 | 28,20 | 25,70 | 23,50 | 21,70 | 20,00 | |
| | 40 | 112000 | 88700 | 69000 | 52500 | 38800 | 27600 | | 39,40 | 35,80 | 32,70 | 30,00 | 27,60 | 25,50 | | |
| OSNA7441-K | 50 | 100200 | 78200 | 59600 | 44250 | 31600 | | | 44,90 | 41,30 | 38,10 | 35,20 | 32,60 | | | |
| | 30 | | | 87200 | 68800 | 53100 | 39800 | 28650 | | | ECO ^④ | 30,40 | 27,80 | 25,60 | 23,50 | 21,70 |
| | 40 | | | 82100 | 63600 | 47800 | 34600 | | | | ECO ^④ | 36,10 | 33,30 | 30,60 | 28,00 | |
| | 50 | | | 74400 | 56200 | 40900 | | | | | ECO ^④ | 42,90 | 39,50 | 36,30 | | |
| | 30 | 126900 | 102900 | 82500 | 65400 | 51200 | 39400 | 29800 | 38,70 | 34,40 | 30,80 | 27,80 | 25,10 | 22,80 | 20,80 | |
| | 40 | 118800 | 95900 | 76400 | 60100 | 46500 | 35300 | | 43,30 | 39,00 | 35,30 | 32,00 | 29,00 | 26,40 | | |
| OSNA7451-K | 50 | 108900 | 87100 | 68700 | 53300 | 40450 | | | 48,90 | 44,50 | 40,50 | 37,00 | 33,70 | | | |
| | 30 | | | 95000 | 76500 | 60800 | 47500 | 36450 | | | ECO ^④ | 33,60 | 30,50 | 27,80 | 25,30 | 23,00 |
| | 40 | | | 91800 | 73400 | 57700 | 44500 | | | | ECO ^④ | 39,60 | 36,10 | 32,90 | 29,90 | |
| | 50 | | | 86400 | 68200 | 52600 | | | | | ECO ^④ | 46,80 | 42,70 | 38,90 | | |

Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pdf/bitzer/open-drive-screw-compressors-sp-500-3/17562-399633.html>, acesso em 21/03/2022)

Figura 14: Modelo de compressor selecionado para a câmara de congelados, Compressor parafuso (R717).



Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pdf/bitzer/open-drive-screw-compressors-sp-500-3/17562-399633.html>, acesso em 16/03/2022)

Bombas

Como visto anteriormente, para selecionar a bomba precisamos do “Calor latente de vaporização [kJ/kg]” e da “Densidade do líquido [kg/m³], para a quantidade de líquido que deve ser bombeado para os evaporadores para refrigerar o ambiente.

- R404A

Para o R404A as propriedades físicas encontram-se na Tabela 21.

Sabendo que a potência frigorífica da câmara de congelados é $\dot{Q}_o = 5445,92$ kcal/h, e sabendo que 1 kcal/h = $4,1868$ kJ/h, tem-se

$$\dot{Q}_o = 22800,98 \text{ kJ/h}$$

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de R404A necessária em 1 hora.

$$\frac{22800,98}{200} = 114 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{114}{484} = 0,24 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A bomba selecionada para a câmara de congelados é a mesma do túnel de congelamento, a HM-3,5 da marca Frigostrella do Brasil.

Tabela 38: Dados técnicos da bomba selecionada para a câmara de congelados (R404A).

| MODELO | | ZM-1 | ZM-2 | ZM-3 | ZM-4 | ZM-5 | ZM-6 | ZM-9 | ZM-11 | HM-3,5 | HM-7,5 | HM-9 | HM-11 |
|-------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| DADOS | | | | | | | | | | | | | |
| VAZÃO | [m³/h] | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 55-65 | 4 | 10 | 15 | 20 |
| PRESSÃO | [m.c.a] | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 10-15 | 10-15 | 10-15 | 10-15 |
| CONEXÕES | ENTRADA | [pol.] | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" |
| | SAÍDA | [pol.] | 1.1/2" | 1.1/2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" |
| | RESPIRO | [pol.] | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" |
| MOTOR 60 Hz | POTÊNCIA NOMINAL | [hp] | 4 | 5 | 6 | 7,5 | 10 | 12,5 | 12,5 | 15 | 2 | 3 | 5 |
| | ROTAÇÃO | [RPM] | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 1750 | 1750 | 1750 |
| | POLOS | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| | CARCAÇA | [l] | 90L | 100L | 112M | 112M | 132S | 132M | 132M | 132M | 90S | 90L | 100L |
| PESO | C/MOTOR | [kg] | 144 | 154 | 160 | 164 | 188 | 191 | 191 | 196 | 141 | 144 | 154 |
| | S/MOTOR | [kg] | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |

Fonte: Catálogo Frigostrella (<https://frigostrella.com.br/arquivos/CatalogoBombaCentrifuga.pdf>, acesso em 22/03/2022)

- R717

Para a amônia as propriedades físicas – químicas encontram-se nas tabelas 23 e 24.

Sabendo que a potência frigorífica da câmara de congelados é $\dot{Q}_o = 22800,98$ kcal/h,

E que $1 \text{ cal/g} = 4,1868 \text{ KJ/Kg}$, temos que Calor Latente de vaporização é $1369,08 \text{ kJ/kg}$.

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de amônia necessária em 1 hora.

$$\frac{22800,98}{1369,08} = 16,65 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{16,65}{0,235} = 70,87 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 0,071 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Com isso, podemos selecionar a mesma bomba tanto para o refrigerante R404A quanto para o R717.

Válvulas de expansão.

Para a seleção da válvula de expansão utilizou-se a capacidade frigorífica em Watt.

Portanto,

$$\dot{Q}_o = 6333,60 \text{ Watt} = 6,33 \text{ kW}$$

- R404A

A válvula de expansão para o fluido refrigerante R404A selecionada foi da Danfoss, tipo TGE 10 n° 3 e código 067N6154. Mesmo modelo da válvula selecionada para o túnel de congelamento.

Tabela 39: Dados técnicos para seleção da válvula para câmara de congelados (R404A).

| Valve type | Orifice no. | Range N, K, MAH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|-----|-----|----|---------------------|-----|---------------------|-----|-----|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|-------|-----|--------------|-----|-------|-----|------|----|
| | | R410A | | R32 | | R452B ⁴⁾ | | R454B ⁴⁾ | | R22 | | R134a | | R1234ze | | R407F | | R407A | | R404A / R507 | | R407C | | R290 | |
| | | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR |
| TGE 10 | 3 | 12 | 3.5 | 18 | 5 | 12 | 3.5 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 6 | 1.5 | 5 | 1.5 | 10 | 3 | 9 | 2.5 | 7 | 2 | 9 | 2.5 | 10 | 3 |
| | 4 | 16 | 4.5 | 24 | 7 | 16 | 4.5 | 18 | 5.0 | 14 | 4 | 8 | 2.5 | 7 | 2 | 14 | 4 | 12 | 3.5 | 9 | 2.5 | 13 | 3.5 | 14 | 4 |
| | 6 | 24 | 6.5 | 35 | 10 | 24 | 6.5 | 26 | 7.5 | 20 | 6 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 20 | 6 | 17 | 5 | 14 | 4 | 19 | 5 | 19 | 5 |
| | 8 | 32 | 9 | 47 | 13 | 32 | 9 | 35 | 10 | 27 | 7.5 | 17 | 4.5 | 14 | 4 | 27 | 7.5 | 23 | 6.5 | 18 | 5 | 25 | 7 | 25 | 7 |
| | 9 | 37 | 11 | 54 | 15 | 38 | 11 | 42 | 12 | 32 | 9 | 20 | 5.5 | 16 | 4.5 | 32 | 9 | 28 | 8 | 21 | 6 | 30 | 8.5 | 32 | 9 |
| | 11 | 45 | 13 | 68 | 19 | 46 | 13 | 49 | 14 | 38 | 11 | 24 | 7 | 20 | 5.5 | 40 | 11 | 34 | 10 | 26 | 7.5 | 36 | 10 | 36 | 10 |
| | 12.5 | 50 | 14 | 74 | 21 | 50 | 14 | 56 | 16 | 43 | 12 | 29 | 8 | 22 | 6 | 43 | 12 | 39 | 11 | 31 | 9 | 39 | 11 | 44 | 12 |
| 16 | 60 | 17 | 87 | 25 | 60 | 17 | 67 | 19 | 50 | 14 | 35 | 9.5 | 27 | 7.5 | 50 | 14 | 46 | 13 | 35 | 10 | 49 | 14 | 50 | 14 | |

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/184387/AI246186497192en-001001.pdf>, acesso em 23/03/2022)

- R717

A válvula de expansão para o fluido refrigerante R717 selecionada foi da Danfoss, tipo TEA 20-2 e código 068G6001.

Tabela 40: Dados técnico para seleção da válvula para a câmara de congelados (R717).

| Type and rated capacity in tons | Rated capacity ¹⁾ | Connection weld flanges | | Code no. | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------|-----------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | Inlet | Outlet | Assembled valve | Separate strainer ²⁾ | Separate orifice assembly | Separate thermostatic element |
| (TR) | [kW] | [in] | [in] | | | | |
| TEA 20, range: -50 to 0 °C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6000 | | 068G2050 | |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6001 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6002 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6003 | 006-0042 | 068G2053 | 068G3250 |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6004 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6005 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6006 | | 068G2056 | |

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/100170/AF221186430881en-000202.pdf>, acesso em 23/03/2022)

Condensadores

- R404A

Conforme visto anteriormente, para a seleção do condensador necessitou-se da temperatura de condensação de 40 °C e da capacidade efetivamente rejeitada no condensador.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_{cp} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4$$

Tabela 41: Correção de Capacidades (R404A).

| Correção de Capacidades | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| F1 | Fator relativo ao DT (*) | | | | | | | | | | |
| DT | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 18 | 20 |
| F1 | 1,42 | 1,25 | 1,11 | 1 | 0,91 | 0,83 | 0,77 | 0,71 | 0,67 | 0,55 | 0,5 |
| F2 | Fator relativo ao refrigerante | | | | | | | | | | |
| Refrigerante | R22 | R134A | R404A | R407C | R410A | | | | | | |
| F2 | 1 | 1,01 | 0,983 | 0,98 | 0,95 | | | | | | |
| F3 | Fator relativo à temperatura de entrada do ar | | | | | | | | | | |
| Temperatura de Entrada | +15 | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | | | |
| F3 | 0,9 | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 1 | 1,03 | 1,08 | 1,12 | | | |
| F4 | Fator relativo à altitude do local de instalação | | | | | | | | | | |
| Altitude (m) | 0 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | | |
| F4 | 1,00 | 1,04 | 1,06 | 1,07 | 1,09 | 1,10 | 1,12 | 1,14 | 1,16 | | |
| Fsom | Correção do nível sonoro em função da distância do condensador e o local desejado | | | | | | | | | | |
| Distância (m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Db | +20 | +14 | +10 | +8 | +6 | 0 | -4 | -6 | -12 | -16 | -20 |

As capacidades térmicas apresentadas nas tabelas deste catálogo correspondem a condições de operação padrão e que nem sempre são aquelas que se dispõe no projeto. Assim, apresentamos um método de correção para condições reais que deve ser aplicado antes de se entrar na tabela de seleção dos equipamentos.

(*) DT = diferença entre as temperaturas de entrada do ar e condensação

| FCP | Temperatura de Evaporação | Coeficiente Fcp para compressores herméticos ou semi herméticos Temperatura de Condensação °C | | | | | Coeficiente Fcp para compressores abertos Temperatura de Condensação °C | | | | | | |
|-----|---------------------------|--|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|
| | °C | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 10 | | 1,14 | 1,16 | 1,18 | 1,22 | 1,24 | 1,29 | 1,09 | 1,11 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 |
| 5 | | 1,18 | 1,20 | 1,22 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,12 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 |
| 0 | | 1,21 | 1,23 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 1,14 | 1,15 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 |
| -5 | | 1,25 | 1,27 | 1,30 | 1,33 | 1,38 | 1,41 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 |
| -10 | | 1,29 | 1,31 | 1,34 | 1,38 | 1,43 | 1,48 | 1,19 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 |
| -15 | | 1,33 | 1,35 | 1,39 | 1,43 | 1,48 | 1,55 | 1,23 | 1,25 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 |
| -20 | | 1,38 | 1,41 | 1,44 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | 1,26 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,45 |
| -25 | | 1,44 | 1,47 | 1,50 | 1,55 | 1,62 | 1,72 | 1,30 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |
| -30 | | 1,51 | 1,53 | 1,57 | 1,62 | 1,72 | 1,87 | 1,34 | 1,36 | 1,40 | 1,45 | 1,49 | 1,55 |
| -35 | | 1,58 | 1,60 | 1,66 | 1,75 | 1,87 | 2,07 | 1,37 | 1,40 | 1,45 | 1,49 | 1,55 | 1,62 |
| -40 | | 1,66 | 1,70 | 1,76 | 1,87 | 2,03 | 2,27 | 1,39 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,62 | 1,67 |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 23/03/2022)

Portanto,

$$F_1 = 1,52.$$

$$F_2 = 0,982$$

$$F_3 = 0,99.$$

$$F_4 = 1,06.$$

E para o F_{cp} , tem-se que a temperatura de evaporação é de -30 °C e a temperatura de condensação de 40 °C , portanto $F_{cp} = 1,57$.

Para a capacidade frigorífica do compressor, tem-se que $Q_{cp} = 7280\text{ W} = 6259,67\text{ kcal/h}$

$$Q_{cd} = 6259,67 \cdot 1,52 \cdot 0,982 \cdot 0,99 \cdot 1,06 \cdot 1,57$$

$$Q_{cd} = 15393,86\text{ kcal/h}$$

O condensador selecionado foi o da marca Cdr, modelo 25.

Tabela 42: Dados técnicos do condensador para a câmara de congelados (R404A).

| Condensador Remoto Cdr | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nº de Ventiladores | | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| Nº de Fileiras | | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| 6 polos | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo | | 45 | 53 | 57 | 91 | 106 | 114 | 136 | 159 | 171 | 181 | 212 | 228 |
| Nível de ruído a 10m | dB(a) | 46 | 46 | 46 | 49 | 49 | 49 | 51 | 51 | 51 | 52 | 52 | 52 |
| CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 41329 | 48393 | 52015 | 82659 | 96786 | 104031 | 123988 | 145180 | 156046 | 165318 | 193573 | 208061 |
| CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 44429 | 51781 | 55136 | 88858 | 103562 | 110272 | 133287 | 155342 | 165409 | 177716 | 207123 | 220545 |
| Vazão de ar | m³/h | 24724 | 23546 | 22425 | 49447 | 47093 | 44850 | 74171 | 70639 | 67275 | 98894 | 94185 | 89700 |
| Potência | kW | 1,99 | 1,99 | 1,99 | 3,98 | 3,98 | 3,98 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 7,96 | 7,96 | 7,96 |
| Corrente 220V | A | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 13 | 13 | 13 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 26 | 26 | 26 |
| Corrente 380V | A | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 7,56 | 7,56 | 7,56 | 11,34 | 11,34 | 11,34 | 15,12 | 15,12 | 15,12 |
| 8 polos | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo | | 38 | 43 | 46 | 76 | 86 | 92 | 115 | 129 | 138 | 152 | 172 | 184 |
| Nível de ruído a 10m | dB(a) | 41 | 41 | 41 | 44 | 44 | 44 | 46 | 46 | 46 | 47 | 47 | 47 |
| CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 34533 | 39241 | 41923 | 69065 | 78482 | 83846 | 103598 | 117724 | 125769 | 138131 | 156965 | 167692 |
| CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 37123 | 41988 | 44438 | 74245 | 83976 | 88877 | 111368 | 125964 | 133315 | 148491 | 167952 | 177754 |
| Vazão de ar | m³/h | 20005 | 19052 | 18145 | 40010 | 38105 | 36290 | 60015 | 57157 | 54435 | 80019 | 76209 | 72580 |
| Potência | kW | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 4,48 | 4,48 | 4,48 |
| Corrente 220V | A | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 12,45 | 12,45 | 12,45 | 16,6 | 16,6 | 16,6 |
| Corrente 380V | A | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 9,6 | 9,6 | 9,6 |
| 12 polos | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo | | 25 | 28 | 30 | 51 | 56 | 61 | 75 | 85 | 90 | 100 | 113 | 123 |
| Nível de ruído a 10m | dB(a) | 35 | 35 | 35 | 38 | 38 | 38 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 | 41 |
| CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 22965 | 25781 | 27717 | 45930 | 51563 | 55434 | 68895 | 77344 | 83151 | 91860 | 103125 | 110868 |
| CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 24687 | 27586 | 29380 | 49375 | 55172 | 58760 | 74062 | 82758 | 88140 | 98749 | 110344 | 117520 |
| Vazão de ar | m³/h | 13340 | 12705 | 12100 | 26680 | 25410 | 24200 | 40020 | 38115 | 36300 | 53360 | 50820 | 48400 |
| Potência | kW | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Corrente 220V | A | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| Corrente 380V | A | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/03/2022)

- R717

Para a seleção do condensador necessitou-se da temperatura de condensação que é de 40°C e da temperatura de bulbo úmido dada pela Tabela 9 de 23,2 °C.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_1$$

Onde: Q_{cd} = Capacidade efetivamente rejeitada no condensador;

Q_{cp} = capacidade frigorífica do compressor;

F_1 = fator de correção para capacidade de rejeição de calor.

Tabela 43: Fator de correção (R717).

| B REFRIGERANTE R717 (AMÔNIA)/REFRIGERANT R717 (AMMONIA) | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temp. Cond. Cond. Temp. (°C) | TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (°C) WET BULB TEMPERATURE (°C) | | | | | | | | | | | |
| | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26,5 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 30 | 1,37 | 1,59 | 1,92 | 2,16 | 2,47 | 2,91 | 3,58 | - | - | - | - | - |
| 31 | 1,25 | 1,43 | 1,69 | 1,87 | 2,10 | 2,41 | 2,84 | - | - | - | - | - |
| 32 | 1,15 | 1,30 | 1,51 | 1,65 | 1,82 | 2,05 | 2,35 | 2,65 | 2,77 | 3,40 | - | - |
| 33 | 1,07 | 1,19 | 1,36 | 1,47 | 1,61 | 1,78 | 2,00 | 2,17 | 2,35 | 2,70 | 3,52 | 4,34 |
| 35 | 0,93 | 1,02 | 1,13 | 1,21 | 1,30 | 1,40 | 1,53 | 1,62 | 1,72 | 1,90 | 2,24 | 2,57 |
| 37 | 0,82 | 0,88 | 0,97 | 1,02 | 1,08 | 1,15 | 1,23 | 1,29 | 1,35 | 1,46 | 1,63 | 1,81 |
| 40 | 0,69 | 0,73 | 0,79 | 0,82 | 0,86 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 1,01 | 1,07 | 1,16 | 1,24 |
| 43 | 0,59 | 0,62 | 0,66 | 0,68 | 0,71 | 0,73 | 0,77 | 0,78 | 0,80 | 0,84 | 0,89 | 0,94 |
| 45 | 0,54 | 0,56 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,73 | 0,77 | 0,80 |

Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 23/03/2022)

$$Q_{cd} = 23850 \cdot 0,82 = 19557 \text{ Watts} = 19,56 \text{ kW}$$

O condensador selecionado foi o condensador evaporativo de marca Evapco modelo SCD-23. O mesmo escolhido para o Túnel de Congelamento.

6.3. CÂMARA DE RESFRIADOS

Evaporadores

Para a seleção dos evaporadores considerou-se a capacidade frigorífica $\dot{Q}_o = 1296,57 \text{ kcal/h}$ e a temperatura de evaporação igual a -10 °C .

- R404A

O evaporador selecionado para o fluido R404A foi da marca Ciabe, modelo CB017.

Tabela 44: Desempenho térmico para seleção do evaporador da câmara de resfriados (R404A).

TABELA DE CAPACIDADES | CBP 250

| CBP | Capacidade (kcal/h) - Dt = 6°C | | | | | | | | | | Ventiladores | | | |
|------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|---------------|--------------------|------------------|
| | Temperatura de Evaporação (°C) | | | | | | | | | | Qtde | Diâmetro (mm) | Vazão de ar (m³/h) | Flecha de ar (m) |
| | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | | | | |
| R22 | | | | | | | | | | | | | | |
| 013 | 908 | 944 | 974 | 1.005 | 1.034 | 1.063 | 1.095 | 1.182 | 1.233 | 1.281 | 1 | 254 | 970 | 10 |
| 017 | 1.157 | 1.202 | 1.241 | 1.280 | 1.317 | 1.354 | 1.395 | 1.505 | 1.572 | 1.633 | 1 | 254 | 920 | 10 |
| 020 | 1.379 | 1.434 | 1.479 | 1.526 | 1.571 | 1.614 | 1.663 | 1.795 | 1.872 | 1.944 | 2 | 254 | 1.940 | 10 |
| 027 | 1.900 | 1.975 | 2.037 | 2.102 | 2.162 | 2.222 | 2.291 | 2.473 | 2.577 | 2.678 | 2 | 254 | 1.940 | 10 |
| 033 | 2.309 | 2.399 | 2.477 | 2.554 | 2.627 | 2.701 | 2.784 | 3.004 | 3.135 | 3.257 | 2 | 254 | 1.840 | 10 |
| 041 | 2.877 | 2.987 | 3.083 | 3.181 | 3.273 | 3.363 | 3.466 | 3.741 | 3.901 | 4.054 | 3 | 254 | 2.910 | 10 |
| 050 | 3.466 | 3.601 | 3.718 | 3.834 | 3.943 | 4.055 | 4.179 | 4.509 | 4.703 | 4.887 | 3 | 254 | 2.760 | 10 |
| 054 | 3.809 | 3.959 | 4.086 | 4.215 | 4.336 | 4.457 | 4.593 | 4.957 | 5.171 | 5.372 | 4 | 254 | 3.880 | 10 |
| 066 | 4.607 | 4.786 | 4.942 | 5.096 | 5.243 | 5.389 | 5.555 | 5.995 | 6.253 | 6.497 | 4 | 254 | 3.680 | 10 |
| 082 | 5.772 | 5.997 | 6.189 | 6.384 | 6.567 | 6.752 | 6.959 | 7.509 | 7.833 | 8.139 | 5 | 254 | 4.600 | 10 |
| 098 | 6.877 | 7.145 | 7.376 | 7.606 | 7.826 | 8.044 | 8.292 | 8.947 | 9.333 | 9.697 | 6 | 254 | 5.250 | 10 |
| 114 | 7.987 | 8.298 | 8.566 | 8.834 | 9.087 | 9.342 | 9.628 | 10.390 | 10.839 | 11.262 | 7 | 254 | 6.440 | 10 |
| 128 | 8.990 | 9.340 | 9.641 | 9.943 | 10.229 | 10.515 | 10.839 | 11.696 | 12.200 | 12.676 | 8 | 254 | 7.360 | 10 |

Fatores de conversão dos Fluidos Refrigerantes: R134A: 0,95 | R22: 1,00 | R404A: 1,00 | R507: 1,00
Para 50 Hz multiplicar por 0,9.

Fonte: Catálogo Ciabe (<http://ciabe.com.br/2019/wp-content/uploads/2019/11/Ciabe-CBP.pdf>, acesso 16/05/2022)

Tabela 45: Dados elétricos para o evaporador selecionada para a câmara de resfriados (R404A).

DADOS MECÂNICOS E ELÉTRICOS

| CBP | Motores | | | Resistências | | | Conexões (Pol) | | | |
|----------------|---------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|------------------------|----------------|-------|-------------|-------|
| | Qtde | Potência (W) | Corrente (A) 220V - 1F | Potência (W) | Corrente (A) 220V - 1F | Qtde Aletado e Bandeja | Linha | | | Dreno |
| | | | | | | | Entrada | Saída | Equalizador | |
| CBP 250 | | | | | | | | | | |
| 013 | 1 | 65 | 0,46 | 810 | 3,68 | 2 1 | 1/2 | 5/8 | 1/4 | 1 |
| 017 | 1 | 65 | 0,46 | 810 | 3,68 | 2 1 | 1/2 | 5/8 | 1/4 | 1 |
| 020 | 2 | 130 | 0,92 | 1410 | 6,41 | 2 1 | 1/2 | 5/8 | 1/4 | 1 |
| 027 | 2 | 130 | 0,92 | 1410 | 6,41 | 2 1 | 1/2 | 5/8 | 1/4 | 1 |
| 033 | 2 | 130 | 0,92 | 1410 | 6,41 | 2 1 | 1/2 | 5/8 | 1/4 | 1 |
| 041 | 3 | 195 | 1,37 | 2100 | 9,55 | 2 1 | 1/2 | 7/8 | 1/4 | 1 |

Fonte: Catálogo Ciabe (<http://ciabe.com.br/2019/wp-content/uploads/2019/11/Ciabe-CBP.pdf>, acesso 16/05/2022)

Figura 15: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de resfriados (R404A)



Fonte: Catálogo Ciabe (<http://ciabe.com.br/2019/wp-content/uploads/2019/11/Ciabe-CBP.pdf>, acesso 16/05/2022)

- R717

Para o fluido refrigerante R717, o evaporador selecionado foi da marca MIPAL, modelo Mi 0015.

Tabela 46: Desempenho térmico para seleção dos evaporadores da câmara de resfriados (R717).

| Modelo | Kcal/h | | | | | | | | | | | Watts | | | | | | | | | | |
|--------|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|--|--|--|--|
| | Temperaturas de Evaporação | | | | | | | | | | | Temperaturas de Evaporação | | | | | | | | | | |
| | -31 °F -35 °C | -22 °F -30 °C | -13 °F -25 °C | -4 °F -20 °C | 5 °F -15 °C | 14 °F -10 °C | 23 °F -5 °C | 32 °F 0 °C | 41 °F 5 °C | -31 °F -35 °C | -22 °F -30 °C | -13 °F -25 °C | -4 °F -20 °C | 5 °F -15 °C | 14 °F -10 °C | 23 °F -5 °C | 32 °F 0 °C | 41 °F 5 °C | | | | |
| 0013 | 946 | 983 | 1015 | 1047 | 1077 | 1107 | 1141 | 1231 | 1284 | 1100 | 1143 | 1180 | 1217 | 1252 | 1287 | 1326 | 1431 | 1493 | | | | |
| 0015 | 1186 | 1232 | 1272 | 1312 | 1350 | 1387 | 1430 | 1543 | 1610 | 1379 | 1432 | 1479 | 1525 | 1569 | 1612 | 1662 | 1794 | 1871 | | | | |
| 0018 | 1350 | 1403 | 1448 | 1494 | 1537 | 1579 | 1628 | 1757 | 1832 | 1569 | 1631 | 1683 | 1736 | 1786 | 1836 | 1892 | 2042 | 2130 | | | | |
| 0025 | 1892 | 1966 | 2029 | 2093 | 2153 | 2213 | 2281 | 2462 | 2567 | 2199 | 2285 | 2358 | 2432 | 2502 | 2572 | 2651 | 2861 | 2984 | | | | |
| 0031 | 2317 | 2407 | 2485 | 2562 | 2636 | 2710 | 2793 | 3014 | 3144 | 2692 | 2797 | 2888 | 2978 | 3064 | 3149 | 3246 | 3503 | 3654 | | | | |
| 0038 | 2837 | 2947 | 3042 | 3138 | 3228 | 3318 | 3420 | 3691 | 3849 | 3297 | 3425 | 3536 | 3647 | 3751 | 3856 | 3975 | 4289 | 4474 | | | | |
| 0046 | 3463 | 3598 | 3714 | 3830 | 3940 | 4051 | 4175 | 4505 | 4699 | 4025 | 4182 | 4317 | 4452 | 4580 | 4708 | 4852 | 5236 | 5462 | | | | |
| 0051 | 3782 | 3930 | 4057 | 4184 | 4304 | 4424 | 4560 | 4921 | 5133 | 4396 | 4567 | 4716 | 4862 | 5002 | 5142 | 5300 | 5719 | 5965 | | | | |
| 0062 | 4630 | 4810 | 4966 | 5121 | 5268 | 5416 | 5582 | 6024 | 6283 | 5381 | 5591 | 5771 | 5952 | 6123 | 6294 | 6487 | 7001 | 7302 | | | | |
| 0078 | 5797 | 6023 | 6217 | 6412 | 6596 | 6781 | 6989 | 7542 | 7867 | 6737 | 7000 | 7226 | 7452 | 7666 | 7881 | 8123 | 8766 | 9143 | | | | |
| 0094 | 6930 | 7200 | 7433 | 7665 | 7886 | 8106 | 8355 | 9016 | 9404 | 8051 | 8388 | 8638 | 8909 | 9165 | 9421 | 9710 | 10479 | 10930 | | | | |
| 0110 | 8103 | 8419 | 8691 | 8962 | 9220 | 9478 | 9769 | 10542 | 10996 | 9417 | 9784 | 10100 | 10416 | 10716 | 11015 | 11354 | 12252 | 12779 | | | | |
| 0125 | 9285 | 9647 | 9958 | 10270 | 10565 | 10860 | 11194 | 12080 | 12600 | 10791 | 11212 | 11574 | 11936 | 12279 | 12622 | 13010 | 14039 | 14644 | | | | |

Fonte: Catálogos Mipal (<https://mipal.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1.-Mi.pdf>, acesso em 16/05/2022)

Tabela 47: Tabela 48: Dados elétricos para o evaporador selecionada para a câmara de resfriados (R717).

Características • Motoventiladores AC

| Modelo | HP | V | Vazão | V | | Motor AC | | | Resistências Elétricas | | |
|--------|-----|---|----------------------------|-----------------|----------|----------|---------|-----|------------------------|-----------|-----------|
| | | | | dm ³ | Refr. Kg | dB(a) | 1~ 220V | | W | 1~ 220V A | 3~ 220V A |
| | | | | | | | W | A | | | |
| 0013 | 1 | 1 | 1 x 1000 m ³ /h | 1,6 | 0,33 | 44,3 | 70 | 0,6 | 2 x 600 | 5,5 | 5,5d |
| 0015 | 1 ¼ | 1 | 1 x 1000 m ³ /h | 2,2 | 0,44 | 44,3 | 70 | 0,6 | 2 x 600 | 5,5 | 5,5d |
| 0018 | 1 ½ | 2 | 2 x 1000 m ³ /h | 2,0 | 0,39 | 47,3 | 140 | 1,2 | 2 x 1200 | 10,9 | 10,9d |
| 0025 | 2 | 2 | 2 x 1000 m ³ /h | 2,9 | 0,59 | 47,3 | 140 | 1,2 | 2 x 1200 | 10,9 | 10,9d |
| 0031 | 2 ½ | 2 | 2 x 1000 m ³ /h | 3,9 | 0,78 | 47,5 | 140 | 1,2 | 2 x 1200 | 10,9 | 10,9d |
| 0038 | 3 | 3 | 3 x 1000 m ³ /h | 4,2 | 0,85 | 49,3 | 210 | 1,8 | 3 x 1200 | 16,4 | 9,5 |
| 0046 | 4 | 3 | 3 x 1000 m ³ /h | 5,6 | 1,13 | 49,5 | 210 | 1,8 | 3 x 1200 | 16,4 | 9,5 |
| 0051 | 5 | 4 | 4 x 1000 m ³ /h | 5,5 | 1,11 | 50,3 | 280 | 2,4 | 3 x 1600 | 21,8 | 12,6 |
| 0062 | 5 ½ | 4 | 4 x 1000 m ³ /h | 7,4 | 1,47 | 50,5 | 280 | 2,4 | 3 x 1600 | 21,8 | 12,6 |
| 0078 | 6 ½ | 5 | 5 x 1000 m ³ /h | 9,1 | 1,82 | 51,5 | 350 | 3,0 | 3 x 2000 | 27,3 | 15,8 |
| 0094 | 7 ½ | 6 | 6 x 1000 m ³ /h | 10,8 | 2,16 | 52,5 | 420 | 3,0 | 3 x 2400 | 32,7 | 18,9 |
| 0110 | 9 | 7 | 7 x 1000 m ³ /h | 12,5 | 2,51 | 53,5 | 490 | 4,2 | 3 x 2800 | 38,2 | 22,1 |
| 0125 | 10 | 8 | 8 x 1000 m ³ /h | 14,3 | 2,85 | 54,5 | 560 | 4,8 | 3 x 3200 | 43,6 | 25,2 |

Fonte: Catálogos Mipal (<https://mipal.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1.-Mi.pdf>, acesso em 16/05/2022)

Figura 16: Modelo de evaporador selecionado para a câmara de resfriados (R717)



Fonte: Catálogos Mipal (<https://mipal.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1.-Mi.pdf>, acesso em 16/05/2022)

Compressores

Na seleção dos compressores, necessitou-se da capacidade frigorífica em watt, da temperatura de condensação de 40°C e da temperatura de evaporação de -10 °C

Como 1 kcal/h = 1,163 watt, então

$$\dot{Q}_o = 1507,91 \text{ Watt}$$

- R404A

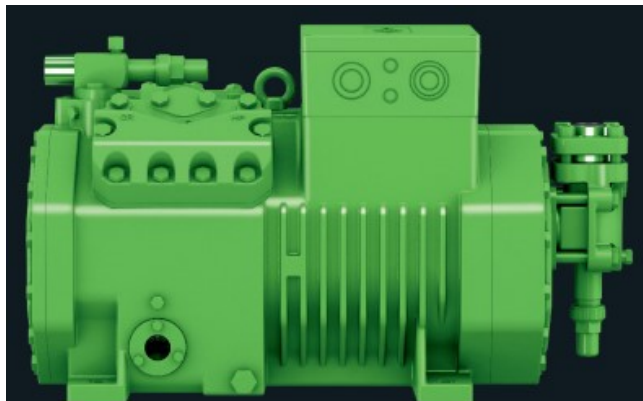
A marca selecionada para o compressor com fluido R404A foi a Bitzer. O compressor selecionado foi o Ecoline, modelo 2KES-05Y, cuja a capacidade frigorífica suportada é superior a calculada para a câmara de resfriados, e a potência consumida é de 1,01 kW

Tabela 49: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de resfriados (R404A).

| Compressor | | Temp. de cond. °C | Capacidade Frigorífica Q_o [Watt] | | | | Potência Consumida P_e [kW] | | | | | |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Tipo | Temp. de cond. °C | | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 |
| 2KES-05Y | 30 | Q | 5180 | 4300 | 3550 | 2890 | 2320 | 1830 | 1400 | 1040 | 740 | 480 |
| | | P | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,94 | 0,87 | 0,82 | 0,78 | 0,69 | 0,60 | 0,50 |
| | 40 | Q | 4250 | 3520 | 2890 | 2340 | 1860 | 1450 | 1090 | 785 | 525 | 310 |
| | | P | 1,16 | 1,12 | 1,07 | 1,01 | 0,95 | 0,87 | 0,78 | 0,68 | 0,57 | 0,44 |
| | 50 | Q | 3390 | 2800 | 2280 | 1830 | 1440 | 1100 | 810 | 580 | 345 | 170 |
| | | P | 1,34 | 1,27 | 1,19 | 1,11 | 1,02 | 0,91 | 0,80 | 0,67 | 0,52 | 0,36 |
| 2JES-07Y | 30 | Q | 6840 | 5710 | 4730 | 3880 | 3140 | 2500 | 1950 | 1490 | 1090 | 765 |
| | | P | 1,31 | 1,29 | 1,27 | 1,23 | 1,17 | 1,10 | 1,01 | 0,92 | 0,80 | 0,67 |
| | 40 | Q | 5720 | 4760 | 3930 | 3200 | 2570 | 2030 | 1560 | 1160 | 820 | 530 |
| | | P | 1,58 | 1,53 | 1,46 | 1,38 | 1,28 | 1,18 | 1,06 | 0,92 | 0,78 | 0,62 |
| | 50 | Q | 4640 | 3850 | 3160 | 2550 | 2030 | 1570 | 1180 | 845 | 580 | 325 |
| | | P | 1,84 | 1,75 | 1,64 | 1,52 | 1,38 | 1,23 | 1,08 | 0,91 | 0,72 | 0,53 |
| 2HES-1Y | 30 | Q | 7140 | 5930 | 4870 | 3900 | 3170 | 2500 | 1920 | 1430 | 1010 | 680 |
| | | P | 1,75 | 1,67 | 1,58 | 1,48 | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 0,99 | 0,84 | 0,68 |
| | 40 | Q | 5970 | 4940 | 4040 | 3250 | 2580 | 1990 | 1500 | 1070 | 720 | 450 |
| | | P | 2,05 | 1,92 | 1,77 | 1,62 | 1,47 | 1,30 | 1,13 | 0,95 | 0,77 | 0,61 |
| | 50 | Q | 4830 | 3970 | 3220 | 2570 | 2000 | 1510 | 1100 | 745 | 445 | 270 |
| | | P | 2,32 | 2,13 | 1,93 | 1,73 | 1,52 | 1,31 | 1,10 | 0,88 | 0,66 | 0,50 |
| 2HES-2Y | 30 | Q | 8690 | 7270 | 6030 | 4960 | 4030 | 3230 | 2540 | 1950 | 1460 | 1030 |
| | | P | 1,71 | 1,69 | 1,65 | 1,59 | 1,50 | 1,40 | 1,28 | 1,15 | 1,00 | 0,84 |
| | 40 | Q | 7320 | 6110 | 5050 | 4130 | 3340 | 2640 | 2050 | 1540 | 1100 | 735 |
| | | P | 2,05 | 1,98 | 1,89 | 1,77 | 1,64 | 1,49 | 1,33 | 1,15 | 0,97 | 0,78 |
| | 50 | Q | 5960 | 4960 | 4080 | 3310 | 2640 | 2060 | 1560 | 1130 | 785 | 465 |
| | | P | 2,36 | 2,23 | 2,08 | 1,92 | 1,74 | 1,54 | 1,34 | 1,13 | 0,91 | 0,68 |

Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 17/05/2022)

Figura 17: Modelo de compressor selecionado para a câmara de resfriados, Alternativo semi-hérmico (R404A).




Fonte: Catálogo Bitzer (<http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline08.pdf>, acesso em 17/05/2022)

- R717

A marca selecionada para o compressor com fluido R717 foi a Bitzer. O modelo escolhido foi o W4HA-S190, potência consumida de 15,0 kW.

Tabela 50: Dados de desempenho do compressor selecionado para a câmara de resfriados (R717).

NH₃ 

Kälteleistung in Watt
bezogen auf 5 K Sauggas-Überhitzung,
ohne Flüssigkeits-Unterkühlung
Motor-Drehzahl 1450 min⁻¹ (50 Hz)

Cooling capacity in Watt
relating to 5 K suction superheat,
without liquid subcooling
motor speed 1450 min⁻¹ (50 Hz)

Puissance frigorifique en Watt
se référant à une surchauffe à l'aspiration de
5 K, sans sous-refroidissement de liquide
vitesse du moteur 1450 min⁻¹ (50 Hz)

| Verdichter Typ Compressor type Compresseur type | Motor-scheibe ø Motor pulley ø Poulie du moteur ø mm | Förder-Volumen Displacement Volume balayé m ³ /h | Erforderlicher Antriebsmotor Motor required Moteur de commande nécessaire | | Verfl. Temp. Cond. temp. Temp. de cond. °C | Kälteleistung Cooling capacity Puissance frigorifique | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|------|--|---|--------|----------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|--|
| | | | [kW] | | | H | | | | | M | | | | |
| | | | H | M | | Verdampfungstemperatur °C | | Evaporating temperature °C | | | Température d'évaporation °C | | | | |
| | | | | 15 | 12,5 | 10 | 7,5 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | | | |
| W4HA- | S190 | 59,2 | 11,0 | 11,0 | 30 | 104000 | 95000 | 86500 | 78500 | 71000 | 57400 | 45500 | 35100 | 26000 | |
| | | | 15,0 | 11,0 | 40 | 97300 | 88500 | 80300 | 72600 | 65400 | 52300 | 40800 | 30700 | | |
| | | | 18,5 | | 50 | 90400 | 82000 | 74000 | 66600 | 59600 | 46800 | | | | |
| | S210 | 65,8 | 11,0 | 11,0 | 30 | 114600 | 104600 | 95200 | 86400 | 78200 | 63200 | 50100 | 38650 | 28650 | |
| | | | 15,0 | 15,0 | 40 | 107100 | 97500 | 88500 | 80000 | 72000 | 57600 | 44900 | 33800 | | |
| | | | 18,5 | | 50 | 99500 | 90300 | 81500 | 73300 | 65600 | 51500 | | | | |
| S230 K | 73,7 | 15,0 | 15,0 | 30 | 126800 | 115800 | 105400 | 95700 | 86600 | 70000 | 55500 | 42800 | 31700 | | |
| | | 18,5 | 15,0 | 40 | 118600 | 108000 | 98000 | 88600 | 79700 | 63700 | 49700 | 37450 | | | |
| | | 22,0 | | 50 | 110200 | 99900 | 90300 | 81200 | 72600 | 57100 | | | | | |
| W4GA- | S190 | 67,9 | 11,0 | 11,0 | 30 | 119400 | 109000 | 99300 | 90100 | 81500 | 65900 | 52200 | 40300 | 29850 | |
| | | | 15,0 | 15,0 | 40 | 111700 | 101700 | 92200 | 83400 | 75100 | 60000 | 46800 | 35250 | | |
| | | | 18,5 | | 50 | 103800 | 94100 | 85000 | 76400 | 68400 | 53700 | | | | |
| | S210 | 75,5 | 15,0 | 15,0 | 30 | 131500 | 120100 | 109300 | 99200 | 89800 | 72600 | 57500 | 44350 | 32900 | |
| | | | 18,5 | 15,0 | 40 | 123000 | 111900 | 101600 | 91800 | 82700 | 66100 | 51600 | 38850 | | |
| | | | 22,0 | | 50 | 114300 | 103600 | 93600 | 84200 | 75300 | 59200 | | | | |
| S230 K | 84,6 | 15,0 | 15,0 | 30 | 145600 | 132900 | 121000 | 109900 | 99400 | 80300 | 63700 | 49100 | 36400 | | |
| | | 18,5 | 18,5 | 40 | 136200 | 123900 | 112500 | 101700 | 91600 | 73200 | 57100 | 43000 | | | |
| | | 30,0 | | 50 | 126500 | 114700 | 103600 | 93200 | 83400 | 65500 | | | | | |

Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pt/pdf-en/bitzer/open-drive-recip-compressors-2t26f2-w2taw6fa-kp-520-3/17562-114412.html>, acesso em 30/05/2022)

Figura 18: Modelo de compressor selecionado para a câmara de resfriados, Compressor de pistão (R717).



Fonte: Catálogo Bitzer (<https://pdf.directindustry.com/pt/pdf-en/bitzer/open-drive-recip-compressors-2t26f2-w2taw6fa-kp-520-3/17562-114412.html>, acesso em 30/05/2022)

Bombas

Como visto anteriormente, para selecionar a bomba precisou-se do “Calor latente de vaporização [kJ/kg]” e da “Densidade do líquido [kg/m³], para a quantidade de líquido que deve ser bombeado para os evaporadores para refrigerar o ambiente.

- R404A

Para o R-404A as propriedades físicas encontram-se na Tabela 21.

Sabe-se que a potência frigorífica da câmara de resfriados é $\dot{Q}_o = 1296,57$ kcal/h, e que 1 kcal/h = 4,1868 kJ/h, tem-se

$$\dot{Q}_o = 5428,48 \text{ kJ/h}$$

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de R-404A necessária em 1 hora.

$$\frac{5428,48}{200} = 27,14 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{27,14}{484} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A bomba selecionada para a câmara de resfriados foi a mesma do túnel de congelamento, a HM-3,5 da marca Frigostrella do Brasil.

Tabela 51: Dados técnicos da bomba selecionada para a câmara de resfriados (R404).

| MODELO | | ZM-1 | ZM-2 | ZM-3 | ZM-4 | ZM-5 | ZM-6 | ZM-9 | ZM-11 | HM-3,5 | HM-7,5 | HM-9 | HM-11 |
|-------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| DADOS | | | | | | | | | | | | | |
| VAZÃO | [m³/h] | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 55-65 | 4 | 10 | 15 | 20 |
| PRESSÃO | [m.c.a] | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 10-15 | 10-15 | 10-15 | 10-15 |
| CONEXÕES | ENTRADA | [pol.] | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" | 3" |
| | SAÍDA | [pol.] | 1.1/2" | 1.1/2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" | 1.1/2" |
| | RESPIRO | [pol.] | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" |
| MOTOR 60 Hz | POTÊNCIA NOMINAL | [hp] | 4 | 5 | 6 | 7,5 | 10 | 12,5 | 12,5 | 15 | 2 | 3 | 5 |
| | ROTAÇÃO | [RPM] | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 1750 | 1750 | 1750 |
| | POLOS | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| | CARCAÇA | [l] | 90L | 100L | 112M | 112M | 132S | 132M | 132M | 132M | 90S | 90L | 100L |
| PESO | C/MOTOR | [kg] | 144 | 154 | 160 | 164 | 188 | 191 | 191 | 196 | 141 | 144 | 154 |
| | S/MOTOR | [kg] | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |

Fonte: Catálogo Frigostrella (<https://frigostrella.com.br/arquivos/CatalogoBombaCentrifuga.pdf>, acesso em 17/05/2022)

- R717

Para a amônia as propriedades físicas – químicas encontram-se nas tabelas 23 e 24.

Sabe-se que a potência frigorífica da câmara de resfriados é $\dot{Q}_0 = 5428,48 \text{ kJ/h}$, e tem-se que Calor Latente de vaporização é $1369,08 \text{ kJ/kg}$.

Dividindo a potência frigorífica pelo calor latente de vaporização, tem-se a quantidade de quilos de amônia necessária em 1 hora.

$$\frac{5428,48}{1369,08} = 3,97 \text{ kg/h}$$

Com o valor encontrado, dividiu-se pela densidade crítica e calculou-se a vazão necessária para selecionar a bomba

$$\frac{3,97}{0,235} = 16,87 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Com isso, pode-se selecionar a mesma bomba tanto para o refrigerante R404A quanto para o R717.

Válvulas de expansão.

Para a seleção da válvula de expansão utilizou-se a capacidade frigorífica em Watt.

Portanto,

$$\dot{Q}_o = 1507,91 \text{ Watt} = 1,508 \text{ kW}$$

- R404A

O modelo da válvula de expansão para o fluido refrigerante R-404A selecionado foi da Danfoss, tipo TGE 10 n° 3 e código 067N6154. Mesmo modelo da válvula escolhida para o túnel de congelamento e câmara de congelados.

Tabela 52: Dados técnicos para seleção da válvula para a câmara de resfriados (R404A).

| Valve type | Orifice no. | Range N, K, MAH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------|-----------------|-----|-----|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|-------|-----|--------------|-----|-------|-----|------|----|
| | | R410A | | R32 | | R452B ⁽¹⁾ | | R454B ⁽¹⁾ | | R22 | | R134a | | R1234ze | | R407F | | R407A | | R404A / R507 | | R407C | | R290 | |
| | | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR | KW | TR |
| TGE 10 | 3 | 12 | 3.5 | 18 | 5 | 12 | 3.5 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 6 | 1.5 | 5 | 1.5 | 10 | 3 | 9 | 2.5 | 7 | 2 | 9 | 2.5 | 10 | 3 |
| | 4 | 16 | 4.5 | 24 | 7 | 16 | 4.5 | 18 | 5.0 | 14 | 4 | 8 | 2.5 | 7 | 2 | 14 | 4 | 12 | 3.5 | 9 | 2.5 | 13 | 3.5 | 14 | 4 |
| | 6 | 24 | 6.5 | 35 | 10 | 24 | 6.5 | 26 | 7.5 | 20 | 6 | 12 | 3.5 | 10 | 3 | 20 | 6 | 17 | 5 | 14 | 4 | 19 | 5 | 19 | 5 |
| | 8 | 32 | 9 | 47 | 13 | 32 | 9 | 35 | 10 | 27 | 7.5 | 17 | 4.5 | 14 | 4 | 27 | 7.5 | 23 | 6.5 | 18 | 5 | 25 | 7 | 25 | 7 |
| | 9 | 37 | 11 | 54 | 15 | 38 | 11 | 42 | 12 | 32 | 9 | 20 | 5.5 | 16 | 4.5 | 32 | 9 | 28 | 8 | 21 | 6 | 30 | 8.5 | 32 | 9 |
| | 11 | 45 | 13 | 68 | 19 | 46 | 13 | 49 | 14 | 38 | 11 | 24 | 7 | 20 | 5.5 | 40 | 11 | 34 | 10 | 26 | 7.5 | 36 | 10 | 36 | 10 |
| | 12.5 | 50 | 14 | 74 | 21 | 50 | 14 | 56 | 16 | 43 | 12 | 29 | 8 | 22 | 6 | 43 | 12 | 39 | 11 | 31 | 9 | 39 | 11 | 44 | 12 |
| TGE 20 | 16 | 60 | 17 | 87 | 25 | 60 | 17 | 67 | 19 | 50 | 14 | 35 | 9.5 | 27 | 7.5 | 50 | 14 | 46 | 13 | 35 | 10 | 49 | 14 | 50 | 14 |
| | 12.5 | 54 | 15 | 81 | 23 | 55 | 15 | 56 | 16 | 43 | 12 | 29 | 8 | 22 | 6 | 46 | 13 | 39 | 11 | 31 | 9 | 42 | 12 | 44 | 12 |
| | 16 | 68 | 19 | 102 | 29 | 68 | 19 | 74 | 21 | 54 | 15 | 37 | 10 | 27 | 7.5 | 57 | 16 | 50 | 14 | 39 | 11 | 53 | 15 | 54 | 15 |
| | 20 | 79 | 23 | 120 | 34 | 81 | 23 | 88 | 25 | 63 | 18 | 44 | 12 | 31 | 8.5 | 67 | 19 | 59 | 17 | 45 | 13 | 62 | 18 | 63 | 18 |
| TGE 40 | 21 ²⁾ | 91 | 26 | 135 | 38 | 98 | 28 | 102 | 29 | 75 | 21 | 51 | 15 | 39 | 11 | 82 | 23 | 72 | 21 | 53 | 15 | 77 | 22 | 75 | 21 |
| | 26 | 110 | 31 | 165 | 47 | 117 | 33 | 120 | 34 | 92 | 26 | 61 | 17 | 49 | 14 | 95 | 27 | 80 | 23 | 64 | 18 | 84 | 24 | 92 | 26 |
| | 30 | 125 | 35 | 187 | 53 | 134 | 38 | 137 | 39 | 104 | 30 | 70 | 20 | 57 | 16 | 108 | 31 | 91 | 26 | 72 | 21 | 95 | 27 | 106 | 30 |
| | 40 | 161 | 46 | 236 | 67 | 172 | 49 | 179 | 51 | 134 | 38 | 87 | 25 | 72 | 20 | 138 | 39 | 116 | 33 | 92 | 26 | 121 | 34 | 133 | 38 |
| | 42 | 182 | 52 | 273 | 78 | 208 | 59 | 208 | 59 | 148 | 42 | 102 | 29 | 81 | 23 | 165 | 47 | 140 | 40 | 105 | 30 | 148 | 42 | 152 | 43 |

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/184387/AI246186497192en-001001.pdf>, acesso em 06/06/2022)

- R717

O modelo da válvula de expansão para o fluido refrigerante R717 escolhida foi da Danfoss, tipo TEA 20-1 e código 068G6137.

Tabela 53: Dados técnico para seleção da válvula para a câmara de resfriados (R717).

| Type and rated capacity in tons (TR) | Rated capacity ¹⁾ [kW] | Connection weld flanges | | Code no. | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | Inlet [in] | Outlet [in] | Assembled valve | Separate strainer ²⁾ | Separate orifice assembly | Separate thermostatic element |
| TEA 20, range: -50 to 0 °C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6000 | 006-0042 | 068G2050 | 068G3250 |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6001 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6002 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6003 | | 068G2053 | |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6004 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6005 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6006 | | 068G2056 | |
| TEA 20, range: -20 to 30 °C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6137 | 006-0042 | 068G2050 | 068G3252 |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6133 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6134 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6138 | | 068G2053 | |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6139 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6140 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6135 | | 068G2056 | |
| TEA 85, range: -50 to 0 °C | | | | | | | |
| TEA85-33 | 115 | 3/4 | 3/4 | 068G6007 | 006-0048 | 068G2057 | 068G3250 |
| TEA 85-55 | 190 | 3/4 | 3/4 | 068G6008 | | 068G2058 | |
| TEA 85-85 | 295 | 3/4 | 3/4 | 068G6009 | | 068G2059 | |
| TEA 85, range: -20 to 30 °C | | | | | | | |
| TEA85-33 | 115 | 3/4 | 3/4 | 068G6141 | 006-0048 | 068G2057 | 068G3252 |
| TEA 85-55 | 190 | 3/4 | 3/4 | 068G6142 | | 068G2058 | |
| TEA 85-85 | 295 | 3/4 | 3/4 | 068G6143 | | 068G2059 | |

¹⁾ The rated capacity is the valve capacity at -15 °C evaporating temperature and 32 °C condensing temperature. The capacities are based on approx. 4 K subcooling ahead of valve.

²⁾ The filter is supplied with gaskets, bolts and nuts.

Fonte: Catálogo Danfoss (<https://assets.danfoss.com/documents/100170/AF221186430881en-000202.pdf>, acesso em 06/06/2022)

Condensadores

- R404A

Conforme visto anteriormente, para a escolha do condensador necessitou -se da temperatura de condensação de 40 °C e da capacidade efetivamente rejeitada no condensador.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_{cp} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4$$

Tabela 54: Correção de Capacidades (R404A).

Correção das capacidades

As capacidades térmicas apresentadas nas tabelas deste catálogo correspondem a condições de operação padrão e que nem sempre são aquelas que se dispõe no projeto. Assim, apresentamos um método de correção para condições reais que deve ser aplicado antes de se entrar na tabela de seleção dos equipamentos.

| F ₁ | | Fator relativo ao DT (*) | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|---|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-----|
| DT | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 18 | 20 |
| F ₁ | | 1,42 | 1,25 | 1,11 | 1 | 0,91 | 0,83 | 0,77 | 0,71 | 0,67 | 0,55 | 0,5 |
| F ₂ | | Fator relativo ao refrigerante | | | | | | | | | | |
| Refrigerante | F ₂ | R22 | | | R134A | | R404A | | R407C | | R410A | |
| | | 1 | | | 1,01 | | 0,983 | | 0,98 | | 0,95 | |
| F ₃ | | Fator relativo à temperatura de entrada do ar | | | | | | | | | | |
| Temperatura de Entrada | F ₃ | +15 | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | | | |
| | | 0,9 | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 1 | 1,03 | 1,08 | 1,12 | | | |
| F ₄ | | Fator relativo à altitude do local de instalação | | | | | | | | | | |
| Altitude (m) | F ₄ | 0 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | | |
| | | 1,00 | 1,04 | 1,06 | 1,07 | 1,09 | 1,10 | 1,12 | 1,14 | 1,16 | | |
| F _{som} | | Correção do nível sonoro em função da distância do condensador e o local desejado | | | | | | | | | | |
| Distância (m) | F _{som} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Db | | +20 | +14 | +10 | +8 | +6 | 0 | -4 | -6 | -12 | -16 | -20 |

(*) DT = diferença entre as temperaturas de entrada do ar e condensação

| Temperatura de evaporação °C | Coeficiente F _{cp} para compressores herméticos ou semi herméticos | | | | | | Temperatura de evaporação °C | Coeficiente F _{cp} para compressores abertos | | | | | |
|------------------------------|---|------|------|------|------|------|------------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | Temperatura de condensação °C | | | | | | | Temperatura de condensação °C | | | | | |
| | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 10 | 1,14 | 1,16 | 1,18 | 1,22 | 1,24 | 1,29 | 10 | 1,09 | 1,11 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 |
| 5 | 1,18 | 1,2 | 1,22 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 5 | 1,12 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 |
| 0 | 1,21 | 1,23 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 0 | 1,14 | 1,15 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 |
| -5 | 1,25 | 1,27 | 1,3 | 1,33 | 1,38 | 1,41 | -5 | 1,16 | 1,18 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 |
| -10 | 1,29 | 1,31 | 1,34 | 1,38 | 1,43 | 1,48 | -10 | 1,19 | 1,21 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 |
| -15 | 1,33 | 1,35 | 1,39 | 1,43 | 1,48 | 1,55 | -15 | 1,23 | 1,25 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,4 |
| -20 | 1,38 | 1,41 | 1,44 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | -20 | 1,26 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,4 | 1,45 |
| -25 | 1,44 | 1,47 | 1,5 | 1,55 | 1,62 | 1,72 | -25 | 1,3 | 1,32 | 1,36 | 1,4 | 1,45 | 1,49 |
| -30 | 1,51 | 1,53 | 1,57 | 1,62 | 1,72 | 1,87 | -30 | 1,34 | 1,36 | 1,4 | 1,45 | 1,49 | 1,55 |
| -35 | 1,58 | 1,6 | 1,66 | 1,75 | 1,87 | 2,07 | -35 | 1,37 | 1,4 | 1,45 | 1,49 | 1,55 | 1,62 |
| -40 | 1,66 | 1,7 | 1,76 | 1,87 | 2,03 | 2,27 | -40 | 1,39 | 1,45 | 1,5 | 1,55 | 1,62 | 1,67 |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/06/2022)

Portanto,

$$F_1 = 1,52.$$

$$F_2 = 0,982$$

$$F_3 = 0,99.$$

$$F_4 = 1,06.$$

E para o F_{cp} , tem-se que a temperatura de evaporação é de -10 °C e a temperatura de condensação de 40 °C , portanto $F_{cp} = 1,34$.

Para a capacidade frigorífica do compressor, tem-se $Q_{cp} = 2340\text{ W} = 2012,04\text{ kcal/h}$

$$Q_{cd} = 2012,04 \cdot 1,52 \cdot 0,982 \cdot 0,99 \cdot 1,06 \cdot 1,34$$

$$Q_{cd} = 4223,16 \text{ kcal/h}$$

O condensador selecionado foi o da marca Cdr, modelo 25. O mesmo modelo da câmara de congelados.

Tabela 55: Dados técnicos do condensador selecionado para a câmara de resfriados (R404A).

| Condensador Remoto Cdr | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Nº de Ventiladores | Nº de Fileiras | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| | | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| 6 polos | | | | | | | | | | | | | |
| | Modelo | 45 | 53 | 57 | 91 | 106 | 114 | 136 | 159 | 171 | 181 | 212 | 228 |
| | Nível de ruído a 10m | dB(a) | 46 | 46 | 46 | 49 | 49 | 49 | 51 | 51 | 51 | 52 | 52 |
| | CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 41329 | 48393 | 52015 | 82659 | 96786 | 104031 | 123988 | 145180 | 156046 | 165318 | 193573 |
| | CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 44429 | 51781 | 55136 | 88858 | 103562 | 110272 | 133287 | 155342 | 165409 | 177716 | 207123 |
| | Vazão de ar | m³/h | 24724 | 23546 | 22425 | 49447 | 47093 | 44850 | 74171 | 70639 | 67275 | 98894 | 94185 |
| Motor 60Hz | Potência | kW | 1,99 | 1,99 | 1,99 | 3,98 | 3,98 | 3,98 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 7,96 | 7,96 |
| | Corrente 220V | A | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 13 | 13 | 13 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 26 | 26 |
| | Corrente 380V | A | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 7,56 | 7,56 | 7,56 | 11,34 | 11,34 | 11,34 | 15,12 | 15,12 |
| 8 polos | | | | | | | | | | | | | |
| | Modelo | 38 | 43 | 46 | 76 | 86 | 92 | 115 | 129 | 138 | 152 | 172 | 184 |
| | Nível de ruído a 10m | dB(a) | 41 | 41 | 41 | 44 | 44 | 44 | 46 | 46 | 47 | 47 | 47 |
| | CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 34533 | 39241 | 41923 | 69065 | 78482 | 83846 | 103598 | 117724 | 125769 | 138131 | 156965 |
| | CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 37123 | 41988 | 44438 | 74245 | 83976 | 88877 | 111368 | 125964 | 133315 | 148491 | 167952 |
| | Vazão de ar | m³/h | 20005 | 19052 | 18145 | 40010 | 38105 | 36290 | 60015 | 57157 | 54435 | 80019 | 76209 |
| Motor 60Hz | Potência | kW | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 4,48 | 4,48 |
| | Corrente 220V | A | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 12,45 | 12,45 | 12,45 | 16,6 | 16,6 |
| | Corrente 380V | A | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 9,6 | 9,6 |
| 12 polos | | | | | | | | | | | | | |
| | Modelo | 25 | 28 | 30 | 51 | 56 | 61 | 75 | 85 | 90 | 100 | 113 | 123 |
| | Nível de ruído a 10m | dB(a) | 35 | 35 | 35 | 38 | 38 | 38 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 |
| | CdrE (10app) DT 10°C | Kcal/h | 22965 | 25781 | 27717 | 45930 | 51563 | 55434 | 68895 | 77344 | 83151 | 91860 | 103125 |
| | CdrF (12app) DT 10°C | Kcal/h | 24887 | 27586 | 29380 | 49375 | 55172 | 58760 | 74062 | 82758 | 88140 | 98749 | 110344 |
| | Vazão de ar | m³/h | 13340 | 12705 | 12100 | 26680 | 25410 | 24200 | 40020 | 38115 | 36300 | 53360 | 50820 |
| Motor 60Hz | Potência | kW | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,6 | 1,6 |
| | Corrente 220V | A | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 8,0 | 8,0 |
| | Corrente 380V | A | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 4,6 | 4,6 |

Fonte: Catálogo Cdr (https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf, acesso em 20/06/2022)

- R717

Para a seleção do condensador é necessitou-se da temperatura de condensação que é de 40°C e da temperatura de bulbo úmido dada pela Tabela 9 de 23,2 °C.

A capacidade efetivamente rejeitada no condensador é dada por:

$$Q_{cd} = Q_{cp} \cdot F_1$$

Onde: Q_{cd} = Capacidade efetivamente rejeitada no condensador;

Q_{cp} = capacidade frigorífica do compressor;

F_1 = fator de correção para capacidade de rejeição de calor.

Tabela 56: Fator de correção (R717).

| B REFRIGERANTE R717 (AMÔNIA)/REFRIGERANT R717 (AMMONIA) | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Temp. Cond. Cond. Temp. | TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (°C) WET BULB TEMPERATURE (°C) | | | | | | | | | | | | |
| | (°C) | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26,5 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 30 | 1,37 | 1,59 | 1,92 | 2,16 | 2,47 | 2,91 | 3,58 | - | - | - | - | - | - |
| 31 | 1,25 | 1,43 | 1,69 | 1,87 | 2,10 | 2,41 | 2,84 | - | - | - | - | - | - |
| 32 | 1,15 | 1,30 | 1,51 | 1,65 | 1,82 | 2,05 | 2,35 | 2,65 | 2,77 | 3,40 | - | - | - |
| 33 | 1,07 | 1,19 | 1,36 | 1,47 | 1,61 | 1,78 | 2,00 | 2,17 | 2,35 | 2,70 | 3,52 | 4,34 | - |
| 35 | 0,93 | 1,02 | 1,13 | 1,21 | 1,30 | 1,40 | 1,53 | 1,62 | 1,72 | 1,90 | 2,24 | 2,57 | - |
| 37 | 0,82 | 0,88 | 0,97 | 1,02 | 1,08 | 1,15 | 1,23 | 1,29 | 1,35 | 1,46 | 1,63 | 1,81 | - |
| 40 | 0,69 | 0,73 | 0,79 | 0,82 | 0,86 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 1,01 | 1,07 | 1,16 | 1,24 | - |
| 43 | 0,59 | 0,62 | 0,66 | 0,68 | 0,71 | 0,73 | 0,77 | 0,78 | 0,80 | 0,84 | 0,89 | 0,94 | - |
| 45 | 0,54 | 0,56 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,73 | 0,77 | 0,80 | - |

Fonte: Catálogo Evapco (https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf, acesso em 20/06/2022)

$$Q_{cd} = 30700 \cdot 0,82 = 25174 \text{ Watts} = 25,17 \text{ kW}$$

O condensador escolhido foi o condensador evaporativo de marca Evapco modelo SCD-23. O mesmo escolhido para os dois ambientes anteriores.

7. CÁLCULO TEWI

Nesta seção será calculado o TEWI para o R404A e para o R717.

Como visto anteriormente, foi adotado o tempo de vida útil dos equipamentos (L_{time}) de 8 anos e a recuperação/reciclagem ao final da vida útil do equipamento (α) será de 70% para todos os fluidos.

O L_{rate} foi dado pela Tabela 57.

O GWP dos fluidos foi apresentado na Tabela 2.

Tabela 57: Taxas anuais de vazamento por classe de equipamento/aplicação.

| Equipment class/application | Annual leak rates (% p.a.) | | |
|--|----------------------------|--------------------------------------|-------|
| | Lower | Typical | Upper |
| Refrigeration applications | | | |
| Centralised system (i.e. supermarket rack) | 5% | Maintained = 12.5%, otherwise 15% | 23% |
| Chillers (i.e. cold storage facilities, process refrigeration) | 5% | 7% | 16% |
| Condensing units (i.e. Walk-in coolrooms) | 5% | Maintained = 12.5%, otherwise 15% | 23% |
| Self-contained refrigeration system | — | 2% | — |
| Road transport | 15% | 20% | 23% |
| Marine | 20% | 30% | 40% |
| Air conditioning applications | | | |
| Chillers | 5% | 7% | 9% |
| Chillers (HCFC-123) | — | 2% | — |
| Roof top packaged systems | 4% | 5% | 9% |
| Split systems (single and multi) | 3% | 4% | 9% |
| Window/wall units and portable | — | 2% | — |

Fonte: THE AUSTRALIAN INSTITUTE OF REFRIGERATION, AIR CONDITIONING AND HEATING
(https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf)

Tabela 58: Emissão de CO₂ para geração de eletricidade no Brasil.

| Ano | Fator de emissão de CO ₂ (tCO ₂ /MWh) | Média últimos 5 anos |
|------|---|----------------------|
| 2007 | 0.0293 | - |
| 2008 | 0.0484 | - |
| 2009 | 0.0246 | - |
| 2010 | 0.0512 | - |
| 2011 | 0.0292 | 0.037 |
| 2012 | 0.0653 | 0.044 |
| 2013 | 0.096 | 0.053 |
| 2014 | 0.1355 | 0.075 |
| 2015 | 0.1244 | 0.090 |
| 2016 | 0.0817 | 0.101 |
| 2017 | 0.0927 | 0.106 |
| 2018 | 0.074 | 0.102 |
| 2019 | 0.075 | 0.090 |

Fonte: CB3E ([https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI/Relatorio-atualizado-fatores_energia-primaria_CO2_28_11_2020%20\(1\).pdf](https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI/Relatorio-atualizado-fatores_energia-primaria_CO2_28_11_2020%20(1).pdf), acesso em 21/06/2022)

De acordo com a Tabela 58, tem-se que $\beta = 0,075 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$.

Através da seleção dos equipamentos, pode-se encontrar a potência consumida dos motores sendo assim possível calcular a energia consumida por ano de cada equipamento. Os dados estão dispostos nas tabelas abaixo.

Tabela 59: Potência consumida dos equipamentos com fluido refrigerante R404A.

| | R404A | | |
|----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| | TÚNEL DE CONGELAMENTO [W] | CÂMARA DE CONGELADOS | CÂMARA DE RESFRIADOS |
| MOTOR DO EVAPORADOR | 750,00 | 500,00 | 65,00 |
| COMPRESSOR | 8780,00 | 4660,00 | 1010,00 |
| MOTOR DA BOMBA | 1491,40 | 1491,40 | 1491,40 |
| MOTOR DO CONDENSADOR | 1120,00 | 400,00 | 400,00 |
| TOTAL | 12141,40 | 7051,40 | 2966,40 |
| TOTAL [KW] | 12,1414 | 7,0514 | 2,9664 |

Fonte: Autor

Tabela 60: Potência consumida dos equipamentos com fluido refrigerante R717.

| | R717 | | |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| | TÚNEL DE CONGELAMENTO [W] | CÂMARA DE CONGELADOS | CÂMARA DE RESFRIADOS |
| MOTOR DO EVAPORADOR | 2200,00 | 1100,00 | 70,00 |
| COMPRESSOR | 10360,00 | 14930,00 | 15000,00 |
| MOTOR DA BOMBA | 1491,40 | 1491,40 | 1491,40 |
| CONDENSADOR: MOTOR VENT + MOTOR BOMBA | 2206,50 | 2206,50 | 2206,50 |
| TOTAL | 16257,90 | 19727,90 | 18767,90 |
| TOTAL [KW] | 16,26 | 19,73 | 18,77 |

Fonte: Autor

Tabela 61: Energia elétrica total consumida para cada fluido refrigerante.

| | R404A | | R717 (amônia) | |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| | POTÊNCIA CONSUMIDA (kW) | ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA [kWh/ANO] | POTÊNCIA CONSUMIDA (kW) | ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA [kWh/ANO] |
| TÚNEL DE CONGELAMENTO | 12,14 | 88632,22 | 16,26 | 118682,67 |
| CÂMARA DE CONGELADOS | 7,05 | 51475,22 | 19,73 | 144013,67 |
| CÂMARA DE RESFRIADOS | 2,97 | 21654,72 | 18,77 | 137005,67 |
| TOTAL | 22,16 | 161762,16 | 54,75 | 399702,01 |

Fonte: Autor

A energia elétrica consumida foi calculada multiplicando a potência consumida pela quantidade de horas trabalhadas por dia em um ano.

No cálculo da massa de refrigeração, adotamos 1kg de refrigerante para cada TR. E sabe-se que 1 TR = 3,517 kW, tem-se que

$$m_{REF R404A} = 6,30 \text{ kg}$$

$$m_{REF R717} = 15,57 \text{ kg}$$

De acordo com a equação 15, o TEWI é calculado como a soma de duas partes, uma associada ao efeito direto de CO₂ e outra associada ao efeito indireto.

Como visto anteriormente, a parcela associada ao efeito direto de CO₂, refere-se ao refrigerante liberado durante a vida útil do equipamento, sendo os principais fatores que o influenciam, o GWP do fluido refrigerante, o tipo de sistema de refrigeração que está sendo utilizado e a manutenção das operações e componentes.

Portanto, de acordo com a equação 16 tem-se

Tabela 62: Cálculo do efeito direto.

| | M_{ref} | L_{rate} | L_{time} | GWP | α | CO_2equi_{DIRETO} |
|--------------|-----------|------------|------------|------|----------|---------------------|
| R404A | 6,3 | 0,125 | 8 | 3922 | 0,70 | 32121,18 |
| R717 | 15,57 | 0,125 | 8 | 0 | 0,70 | 0 |

Fonte: Autor

Já a parcela associada ao efeito indireto de CO₂, refere-se ao impacto das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis utilizados para gerar energia para operar o equipamento ao longo de sua vida. De acordo com a equação 17, tem-se

Tabela 63: Cálculo do efeito indireto.

| | β | E_{annual} | L_{time} | $CO_2equi_{INDIRETO}$ |
|--------------|---------|--------------|------------|-----------------------|
| R404A | 0,075 | 161762,16 | 8 | 97057,30 |
| R717 | 0,075 | 399702,01 | 8 | 239821,20 |

Fonte: Autor

Finalmente,

Tabela 64: Cálculo TEWI.

| | CO_2equi_{DIRETO} | $CO_2equi_{INDIRETO}$ | TEWI |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------|
| R404A | 32121,18 | 97057,30 | 129178,48 |
| R717 | 0 | 239821,20 | 239821,2 |

Fonte: Autor

8. CONCLUSÃO

Com o trabalho desenvolvido, observou-se que elaborando o projeto das câmaras frias é possível determinar qual é o melhor fluido refrigerante e equipamentos, de acordo com as necessidades do cliente.

Ao utilizar o refrigerante R717, verificou-se que o TEWI foi significativamente maior, mesmo com a parcela associada ao efeito direto de CO₂ sendo nula. Esse fato ocorreu pois, a parcela associada ao efeito indireto de CO₂ foi bem superior quando comparado com o R404A, devido a potência consumida dos equipamentos selecionados para a amônia.

Os equipamentos selecionados para o R717 foram superdimensionados devido à dificuldade de encontrar no mercado equipamentos menores que operam com o fluido.

É possível então concluir que nesse projeto seria mais viável o uso do refrigerante R404A, devido ao menor TEWI calculado, sendo assim menor impacto ambiental, e menor potência consumida, o que acarreta em menor custo com energia elétrica.

REFERÊNCIAS

VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro, 2005.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **TERMODINÂMICA**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Aprova as normas técnicas de instalações e equipamentos para abate e industrialização de suínos. **Portaria n. 711, de 1º de novembro de 1995**.

COSTA, Ênnio Cruz da. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1982.

ABNT, **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. **NBR 16401-1 – Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Parte 1: Projeto das instalações. 2008.

Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Manual de industrialização dos suínos**. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, coordenação editorial. Brasília, DF, 2014.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Relatório: Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de dióxido de carbono a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações.

THE AUSTRALIAN INSTITUTE OF REFRIGERATION, AIR CONDITIONING AND HEATING. Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012.

CATÁLOGO EVAPCO. Seleção de condensadores, 2015. Disponível em: https://www.evapco.com.br/sites/evapco.com.br/files/2019-05/cat_scd_dez2015_paginado.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2022.

CATÁLOGO DANFOSS. Seleção de válvula de expansão. Disponível em: https://store.danfoss.com/br/pt_BR/. Acesso em: 06 de junho de 2022.

FRIGOSTRELLA DO BRASIL. Seleção da bomba centrífuga. Disponível em: <https://frigostrella.com.br/arquivos/CatalogoBombaCentrifuga.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

CATÁLOGO BITZER. Seleção de compressor. Disponível em: <https://pdf.directindustry.com/pt/pdf/bitzer-17562.html>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

CATÁLOGO CDR. Seleção de condensador. Disponível em: https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_575eb7d210ae3.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2022.

CATÁLOGO CIABE. Seleção de evaporador. Disponível em: <https://ciabe.com.br/wp-content/uploads/2018/05/cmp.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2022.

CATÁLOGO CIABE. Seleção de evaporador. Disponível em: <http://ciabe.com.br/2019/wp-content/uploads/2019/11/Ciabe-CBP.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2022.

CATÁLOGO MIPAL. Seleção de evaporador. Disponível em: <https://mipal.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1.-Mi.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

CATÁLOGO MIPAL. Seleção de evaporador. Disponível em: <https://www.frioplus.com.br/catalogos/mipal/Novo-Evi.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2022.

ANEXO A

