

2. Descrição da bancada de testes

2.1. Aparato experimental

A bancada de testes, apresentada na Figura 8, foi implementada para testar componentes de sistemas de refrigeração por compressão de vapor, é dimensionada conforme espaço no Laboratório de Refrigeração, Condicionamento de ar e Criogenia do Departamento de Engenharia Mecânica da Puc-Rio, LRAC/PUC-Rio, ver Figura 9.

O sistema foi projetado para operar, inicialmente, com refrigerante R134a, com um único compressor do tipo "*scroll*" (CP), de capacidade nominal de 17,6 kW. Posteriormente, o sistema poderá ser testado com outros refrigerantes.

Foi escolhido o compressor orbital ("*scroll*"), marca HITACHI, modelo HLC13335A, por sua alta eficiência volumétrica, variando de 96,9 a 93,6%, para uma relação de pressão entre 2,77 e 3,58. Para uma razão de pressão de 3,0, a eficiência isentrópica é de 70%. O compressor foi especificado para operar em uma faixa limitada entre o ponto de congelamento da água no evaporador (EVP) e a temperatura máxima admissível para a rejeição de calor no condensador (RC) (Sanyo, 2003).

O compressor operará com inversor de frequência da marca FUJI, modelo FRENIC- MINI, em modo variável (velocidade angular variável) ou em frequência fixa (velocidade angular constante), dependendo apenas das necessidades do experimento a ser conduzido. Os sistemas frigoríficos em operação estão sujeitos a variações de carga térmica. Portanto, a variação da carga térmica no modo automático produz uma resposta imediata do compressor, que aumentará seu deslocamento volumétrico de modo a manter a vazão mássica de refrigerante necessária para atendê-la nas condições impostas pela variável do processo. Com a frequência fixa, a variação da carga térmica no modo de velocidade constante produzirá fortes variações de pressão de descarga e sucção no sistema, que podem comprometer a estabilidade do sistema. No modo de

velocidade fixa, o sistema perde a estabilidade e oscila entre períodos de liga-desliga, impedindo a continuidade no processo de testes na bancada. Como consequência, reduz-se o desempenho do compressor. Este desempenho depende do seu projeto, das razões de volume, de pressão e de dimensão. A consequência mais negativa se deve ao fato de o descontrole das variáveis a serem controladas no experimento.

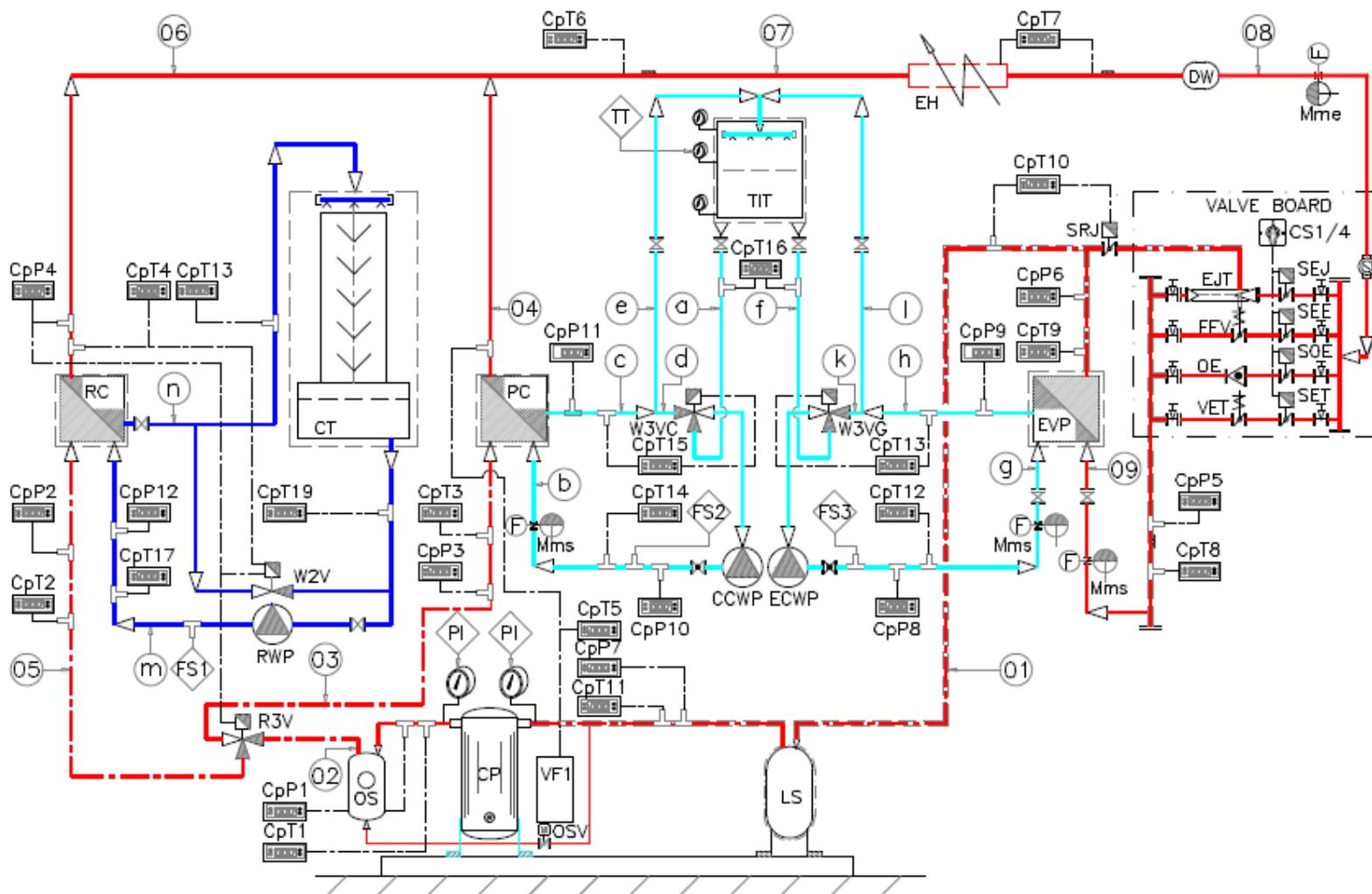
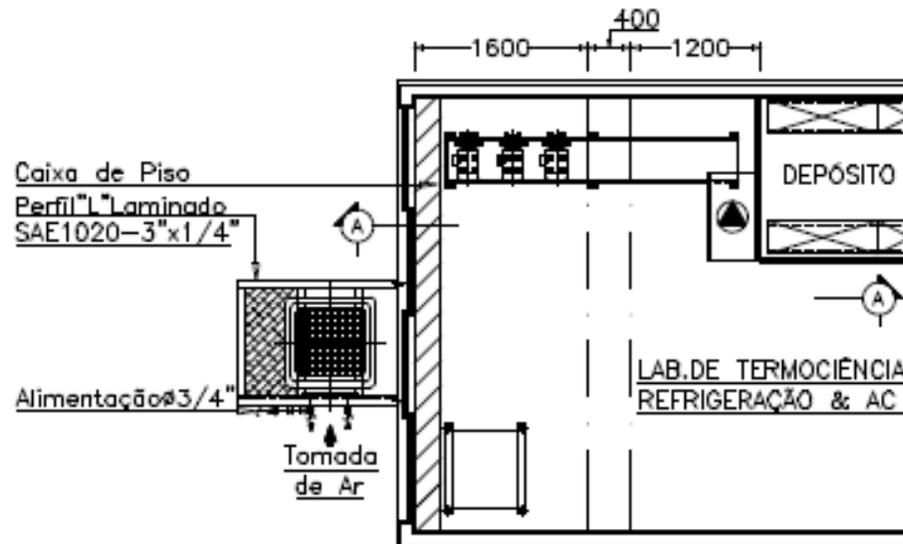
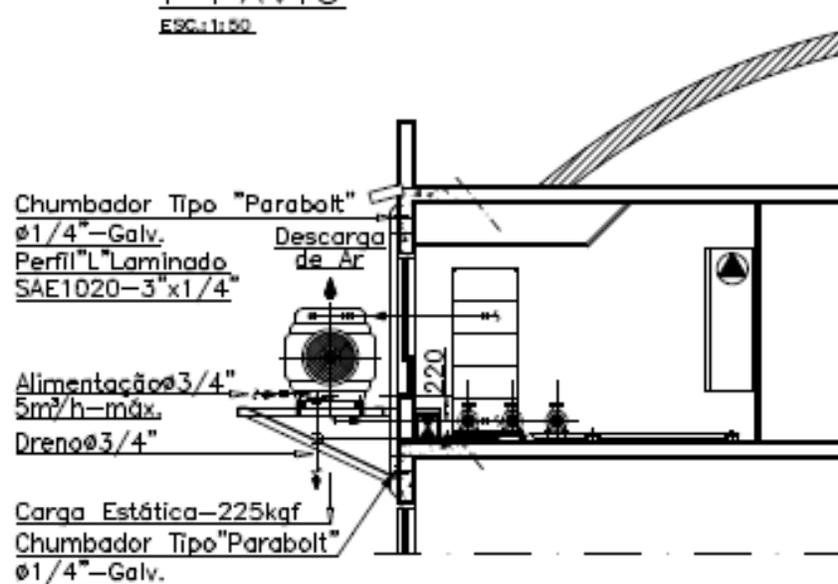


Figura 8. Fluxograma da bancada de testes.



1° PAVTO

ESC.: 1:50



CORTE AA

ESC.: 1:50

OBS: Carga estát. 225kgf fixada nas vigas superior & inferior da edificação.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO-PUC				
PROPOSTA DE PESQUISA DE MESTRADO				
LAB. DE REFRIGERAÇÃO E CONDIC. DE AR				
CORD.	Parise		S/ESC.	N° DO DES.
ALUNO	Marx	13/02/13	1:50	PM 07RO
VER.				

Figura 9. Localização das Instalações da Bancada no Laboratório de Refrigeração e Condicionamento de Ar e Criogenia – LRAC – PUC- Rio.

O óleo lubrificante é de vital importância para as partes móveis do compressor, válvulas e demais componentes. Embora não participe diretamente na termodinâmica do ciclo de refrigeração, tem influência significativa no coeficiente de transferência de calor dos trocadores de calor - evaporador (EVP) e condensadores (RC / PC). O separador de óleo, por sua vez, tem a função de reter parte do mesmo que iria ao sistema, recolhê-lo, filtrar partículas sólidas e promover o retorno do óleo para o compressor, impedindo, assim, o acúmulo de óleo nos pontos mais baixos do sistema e em regiões de baixa temperatura, como no evaporador. A efetividade dos trocadores de calor - maior quando operam isentos de óleo, dependerá da eficiência de filtragem do separador de óleo.

O gás a alta pressão e superaquecido, entra no separador de óleo, fabricante APEMA, modelo: SO55877, e após filtragem, libera óleo através da válvula solenoide (OSV), fabricante DANFOSS, diâmetro nominal de 1/4", que tem a função de controlar o nível normal de óleo no cárter do compressor. Sempre estará aberta, quando da partida do mesmo.

Após sair do separador de óleo, o gás superaquecido é liberado pela válvula de três vias (R3V), que tem a função de controlar o fluxo mássico de gás dos condensadores de processo (PC) e de rejeito (RC), descritos mais adiante, e também de manter a pressão de condensação.

A válvula de duas vias (W2V) é da marca BELIMO, modelo B318B, diâmetro de 1" e é operada por um motor atuador proporcional (4 a 20mA), localizada na linha de entrada da água do condensador de rejeito (RC). Tem a função de garantir o controle do grau de sub-resfriamento (ΔT_{scr}) da linha de líquido refrigerante. Esta válvula também contribui para manter a pressão de condensação, de acordo com os parâmetros especificados para os testes.

O sistema de rejeição de calor é provido de uma torre de arrefecimento d'água (CT), fabricante ANNEMOS, modelo AN-10, 13,60 m³/h, que, embora escolhida como o menor modelo disponível no mercado, sua faixa de capacidade ultrapassa a demanda máxima possível do sistema da bancada de teste.

A função principal do condensador de rejeito, fabricante TRANSTÉRMICA, tipo tubo e tubo, modelo CDR-2 TRS, é proporcionar o

balanço do sistema, ou seja, rejeitar o calor equivalente ao trabalho do compressor (CP).

O condensador de processo (PC) fabricado pela Alfa Laval do tipo placas brazadas, conforme Apêndice C.1, modelo CB30-50H (H21, B21), é concebido como fonte artificial de calor para o evaporador. Rejeita calor para dentro do próprio sistema com quantidade de calor igual à carga térmica do evaporador (EVP), do tipo de placas brazadas, fabricado pela AlfaLaval, modelo: AC-70X-50M (G67, H34, B32), menos a quantidade de calor relativa à resistência elétrica (EH). A resistência elétrica tem a função de garantir estabilidade e condições de operação de regime permanente, marca REFWORLD, modelo: RW-B24 tendo uma superfície de densidade de potência igual a 2 W/cm^2 , espessura mínima de 0,5mm e máxima tensão de utilização de 600V.

Todas as partes do sistema são isoladas para reduzir as trocas de calor com o meio ambiente. A temperatura do ambiente é ajustada por sistema complementar de condicionamento de ar do laboratório de modo a se equipararem as perdas e ganhos de calor do sistema, baseado na consideração de que as áreas quentes e frias do sistema são, aproximadamente, equivalentes.

As bombas de água gelada (ECWP), condensação de processo (CCWP) e condensação de rejeito (RWP) de fabricação da KSB, modelo MEGABLOC-25.150R / 1,5CV/2P, modelo MEGABLOC 25.150R / 2,0CV/2P e modelo HYDROBLOC BC500NT / 0,5CV/2, respectivamente, operam a uma vazão mássica constante e sempre estarão ligadas quando o compressor estiver em funcionamento.

As válvulas de recirculação de 3 vias de água gelada (W3VG) e de água quente (W3VC) têm a função de controlar as vazões de água nos circuitos do evaporador e do condensador de processo, de modo a manter as temperaturas pré-fixadas (T_h) e (T_c), da água nas saídas do evaporador e do condensador de processo, respectivamente. As válvula de 3 vias são da marca BELIMO, modelo B318B, diâmetro nominal de 11/4" e são operadas por motor atuador proporcional (4 a 20mA), fabricante BELIMO.

O tanque inercial térmico (TIT) tem forma prismática, conforme Figura 10, com base retangular e capacidade total de 600 l. Terá isolamento térmico do tipo

borracha elastomérica, FABRICANTE AF/Armaflex, modelo AF M99E e condutividade térmica de aproximadamente 0,035 W/(m·K).

O TIT proporciona capacitância térmica ao sistema e a inércia térmica requerida. Entende-se, por capacitância térmica do sistema, a quantidade de energia térmica que o sistema é capaz de armazenar para cada incremento de temperatura. A inércia térmica do tanque (TIT) está relacionada com o tempo característico associado a sua variação de temperatura, de forma a não afastar o sistema da condição de regime permanente.

As temperaturas de saída de água, T_a e T_f do tanque (TIT) são iguais. Isto porque as vazões que entram no tanque nos pontos (e) e (l) se misturam no interior do barrilete de saída, dentro da árvore de captação.

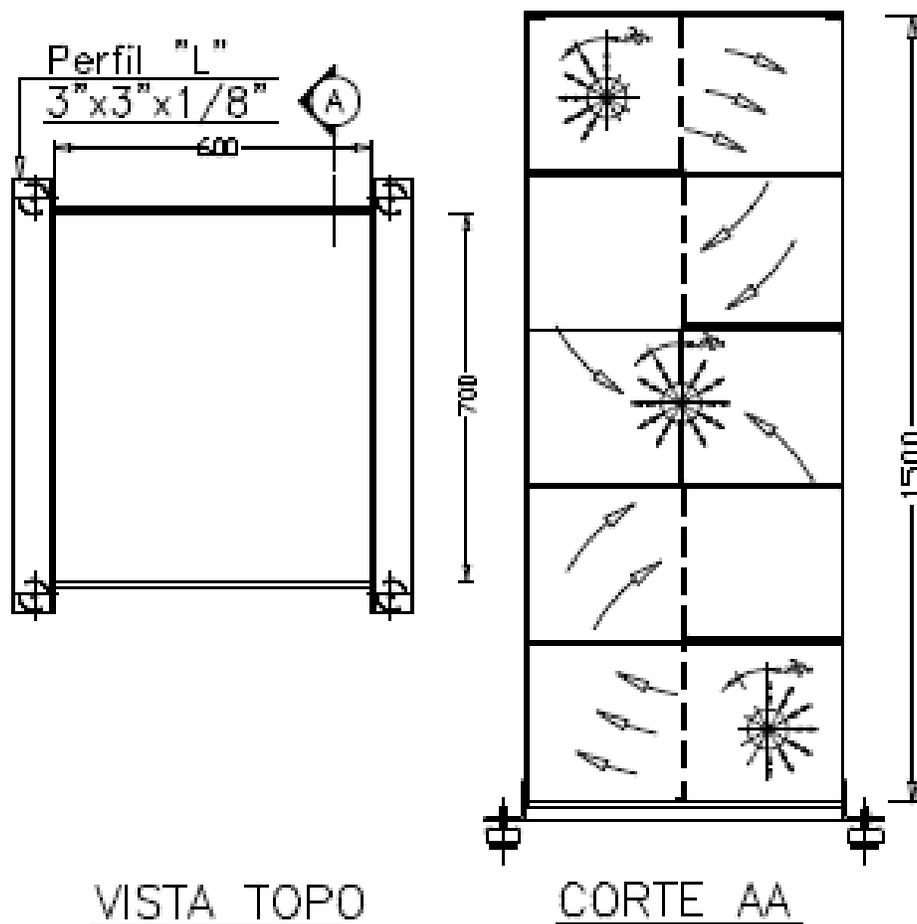


Figura 10. Detalhe executivo do tanque inercial térmico - TIT.

As linhas de refrigerante líquido sub-resfriado, nas saídas dos condensadores, PC e RC, nos estados (4) e (6), misturam-se, resultando no estado (7). A partir deste ponto, o refrigerante líquido escoar através de um aquecedor elétrico, que tem a função de ajustar o grau de sub-resfriamento desejado na entrada do dispositivo de expansão. Embora o aumento do sub-resfriamento resulte em um aumento no COP do ciclo, - o que é desejável para qualquer sistema em geral, é utilizado um grau de sub-resfriamento que garanta que entre somente líquido no dispositivo de expansão, o que mantém estável a operação da válvula expansora e, portanto, a capacidade frigorífica do sistema.

O painel de válvulas foi concebido para diversas possibilidades de operação de dispositivos de expansão, podendo ser acionados automaticamente mediante a programação de automação e controle. Poderão funcionar também manualmente através das chaves seccionadoras (CS1/4) que energizam as válvulas solenoides (SEJ, SEE, SOE, SET), permitindo a operação dos dispositivos de expansão. A bancada de testes, inicialmente, irá operar com uma válvula expansora eletrônica (EEV) com controle de superaquecimento ajustável.

Metodologia de funcionamento e operação dos sistemas da bancada serão definidas por manual de instrução e operação após a execução, montagem e comissionamento, que descreverão os aspectos de segurança a serem considerados, durante procedimentos operacionais de testes e serviços de manutenção no sistema.

O manual terá a função de normatizar as obrigações e responsabilidades necessárias requeridas por estudante e autoridades quanto aos aspectos de segurança a serem cumpridos para realização dos trabalhos. O sistema de parametrização dos elementos de controle da bancada será simulado, previamente no programa EES.

A aquisição de dados ocorrerá mediante a tomada das variáveis temperaturas, pressões e vazões, indicadas no fluxograma da Figura 8.

2.2. Componentes

2.2.1. Compressor

No que diz respeito à seleção dos compressores, Baxter (2003), Arias (2005), Kazachki (2007) e Poland et al (2010) usaram em seus modelos propostos os valores do COP especificados como entrada em seus catálogos, os quais são atingidos em condições específicas de trabalho. Geralmente, as eficiências e potências nos catálogos dos compressores são especificadas, tendo-se em conta os seguintes parâmetros: a. Temperaturas evaporação, b. Temperaturas de condensação, c. Grau de sub-resfriamento e d. grau de superaquecimento.

Liu et al. (2010) mostraram que uma das principais fontes de ineficiência de compressores de refrigeração é o superaquecimento do fluido refrigerante na sucção e na compressão do gás, devido à interação com componentes internos do compressor de temperatura elevada.

Compressores do tipo orbital, por sua vez, apresentam alta eficiência em diferentes frequências de operação e temperaturas elevadas, como por exemplo, em aplicações de condicionamento de ar e bomba de calor, nas quais o controle de capacidade é um parâmetro importante.

Os compressores do tipo "*scroll*" (orbital) realizam o processo de compressão do gás por meio de dois elementos em forma de espiras. Eles são montados de forma invertida a 180°, um em relação ao outro, formando múltiplas câmaras de compressão, por meio de diferentes pontos de contato (Blunier et al., 2009).

A patente, que detalha o mecanismo pelo qual o gás é comprimido em compressores do tipo orbital, foi registrada por Creux, no ano de 1905. Este mecanismo foi usado para uma aplicação de bomba de calor, e, a partir de 1980, foram desenvolvidos os processos de fabricação do mesmo (Winandy e Lebrun, 2002).

Atualmente, este compressor é largamente utilizado em sistemas de refrigeração comercial e de condicionamento de ar de grande porte, que envolvem altas capacidades. O compressor orbital "*scroll*" possui elevada eficiência e confiabilidade assim como níveis reduzidos de ruído e vibração.

2.2.2. Trocadores de calor de placas "brazadas"

Os trocadores de calor de placas (PHEs) foram usados comercialmente pela primeira vez em uma operação de pasteurização no ano 1920. Dez anos depois, Bergedorfer Eisenwerk da Alfa Laval, na Suécia, desenvolveu um PHE comercial similar para ser utilizado como aquecedor de solução (Wang et al., 2007).

Em 1970, foi iniciada a fabricação de placas soldadas em substituição ao uso de parafusos e juntas, permitindo utilizar refrigerantes, que requerem altas pressões de operação.

Os parâmetros físicos de um trocador de calor típico por placas "brazadas" (BPHE) são: canais para ambos os fluidos, tampas do trocador (frontal e traseira), abertura do espaço médio do canal, espessura da placa, placa de vedação e ângulo de Chevron. (Wang et al., 2007).

A principal vantagem do uso deste trocador de calor é obter maiores coeficientes de transferência de calor do que os convencionais trocadores de calor de tubos, devido às ondulações da superfície da placa, que permitem a troca de calor incrementada pelo turbilhonamento do escoamento (Longo, 2010).

Outra característica dos PHE's é possuir alto coeficiente de troca de calor. Para a mesma área efetiva de troca de calor, o peso e o volume são apenas cerca de 30% e 20% menores, respectivamente, quando comparados com um trocador de calor de casco e tubos. Menor peso, seguido de um menor volume, conseqüentemente, requer uma menor carga de refrigerante e menor impacto ambiental direto. (Mayta, 2011; Wang et al., 2007).

2.2.3. Válvulas expansoras

As válvulas expansoras têm como função reduzir a pressão do fluido refrigerante para que chegue ao evaporador em baixa pressão e temperatura. Os dispositivos de expansão podem ser de diversos tipos: válvulas de expansão de pressão constante, válvulas de expansão termostática, válvulas eletrônicas de expansão ou tubos capilares (Lazzarin et al., 2009).

Com as válvulas eletrônicas de expansão (EEV), têm-se características superiores de controle, que permitem a temperatura de condensação abaixar até próximo à temperatura real exterior, sob diferentes condições exteriores. (Chen et al., 2009).

Apra e Mastrullo (2002) conseguiram uma boa adaptação da mistura R407C (R32/R125/R134a 23/25/52% em massa) com a utilização da válvula de expansão eletrônica. E ainda melhores resultados, utilizando a válvula de expansão termostática mecânica, mediante um estudo de performance energética, comparando a utilização de válvula de expansão termostática mecânica, com uma válvula de expansão termostática eletrônica. Estas foram submetidas ao refrigerante R407C, na substituição ao R22.

No presente trabalho, as válvulas utilizadas no sistema são dimensionadas, de acordo com a temperatura de que se deseja atingir.