

1º. Relatório técnico

Consultoria à empresa Chopeiras Ccitti

Prof. Dr. Enio Pedone Bandarra Filho

Eng. M.Sc. David Fernando Marcucci Pico

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Objetivos	2
2. Desenvolvimento	2
2.1.1. Resfriador de chope	2
2.1.2. Processo de fabricação do resfriador.....	8
2.1.3. Avaliação do funcionamento do resfriador de chope a ser convertido.	9
2.1.4. Avaliação do local de carga de fluido refrigerante	11
2.1.5. Expectativas do resfriador de chope a ser convertido	15
3. Conclusões.....	19
4. Referências	19
ANEXOS	21
A.1 <i>Layout</i> da empresa.....	21

1. INTRODUÇÃO

Como fase inicial do processo de conversão do resfriador de chope de R22 para operar com fluidos refrigerantes de baixo GWP, no dia 13 de setembro de 2018, em companhia do representante da UNIDO, Sr. Edgard Soares Pinto Neto, foi realizada a primeira visita técnica à empresa Chopeiras Ccitti, na cidade de Ribeirão Preto, SP. Essa primeira visita técnica visou conhecer o processo de fabricação do resfriador de chope, detalhes das peças utilizadas e as instalações da empresa. Logo após isso, foi realizada uma reunião entre as três partes envolvidas no projeto os consultores, o

representante da UNIDO e o representante da empresa, visando a seleção dos objetivos a serem desenvolvidos no projeto. Foi realizado o levantamento da informação técnica necessária para a posterior análise termodinâmica do resfriador atual e os parâmetros de partida para o processo de conversão da mesma unidade.

1.1. Objetivos

Realizar uma visita técnica à empresa beneficiada, Chopeiras Ccitti, e realizar as seguintes atividades:

- Estudo do processo de fabricação do resfriador de chope a ser convertido;
- Identificação das especificações técnicas do resfriador de chope a ser convertido e seus componentes, incluindo, e não limitado a: capacidade de refrigeração, temperaturas de operação, pressões, carga de fluido frigorífico, consumo de energia, compressor, tubo capilar, condensador, evaporador, válvulas, custo dos componentes, etc.;
- Avaliação do funcionamento do resfriador de chope a ser convertido, caracterizando-o termodinamicamente;
- Avaliação do local de carga de fluido frigorífico e procedimentos de fabricação e realizar levantamento dos equipamentos e ferramentas existentes;
- Avaliação e relato, em cooperação com a empresa beneficiária e a UNIDO, dos parâmetros esperados para o novo resfriador de chope, como, por exemplo, desempenho, custo do produto, consumo de energia, etc.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1.1. Resfriador de chope

O resfriador de chope está fundamentado no ciclo de refrigeração por compressão de vapor convencional, conforme apresentado na Fig. 2.1. O ciclo de refrigeração está composto por quatro processos: o processo de compressão, 1 – 2, o fluido refrigerante, no estado de vapor saturado, entra no compressor, onde sua pressão e temperatura são incrementadas, atingindo o estado de vapor superaquecido, e segue para o condensador. O fluido refrigerante, após deixar o compressor entra no condensador onde ocorre o processo de troca de calor a pressão praticamente constante, 2 – 3, rejeitando calor para o meio externo, deixando o mesmo no estado de líquido comprimido. Garantindo que o fluido refrigerante esteja na fase líquida, o mesmo segue para o dispositivo de expansão, 3 – 4, onde é imposta uma elevada perda de carga no

escoamento, passando por um processo isoentálpico, entra no evaporador a baixa pressão e baixa temperatura, absorvendo o calor do meio circundante até evaporar completamente, processo 4 -1.

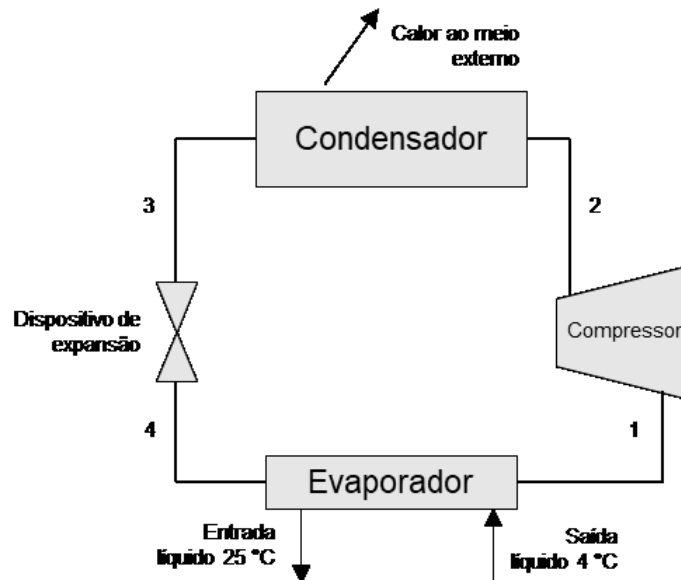


Figura 2.1 Ciclo de refrigeração que utiliza o resfriador de chope.

Dentro das principais características construtivas do equipamento, encontrou-se que o processo de compressão é realizado utilizando um compressor alternativo, do tipo hermético de média e baixa pressão de sucção; o processo de condensação é realizado em um trocador de calor de fluxos cruzados, que troca calor com o ar exterior; a expansão do fluido refrigerante é realizada por um tubo capilar; por fim, o processo de evaporação se dá dentro de um evaporador do tipo inundado.

O evaporador do tipo inundado que o resfriador utiliza possui a vantagem de permitir um melhor controle da temperatura de saída do líquido, por meio da relação pressão-temperatura na saturação. Em contrapartida, esse tipo de evaporador demanda uma grande quantidade de fluido refrigerante devido ao seu elevado volume. O evaporador inundado em questão é construído pela Ccitti e apresentado na Fig. 2.2. Nesse evaporador, o fluido refrigerante com certo título proveniente do tubo capilar entra no reservatório de aço por meio do tubo de cobre situado ao lado direito da Fig. 2.2. O tanque é preenchido pelo líquido a baixa pressão e temperatura até certo nível e, devido à troca de calor, a fase vapor formada nesse processo sai pelo tubo do lado direito no estado de líquido saturado de retorno ao compressor. Já o chope a ser resfriado circula pela tubulação de aço inox, entrando pela parte inferior do evaporador e saindo pela

parte superior, conforme é apresentado na figura. Uma vez realizada a montagem do evaporador, esse é isolado completamente utilizando espuma de poliuretano.



Figura 2.2 Evaporador inundado aberto utilizado no resfriador.

O condensador utilizado no resfriador é um trocador de calor de fluxo cruzado, em que o fluido refrigerante circula por tubos de cobre de 1/2" (12.7 mm), diâmetro exterior, e um comprimento equivalente de ~54 m. As aletas externas do trocador de calor são de alumínio. O escoamento de ar é gerado por um ventilador axial, localizado acima do condensador.

O fluido refrigerante circula pelo sistema de refrigeração por meio de tubulações de cobre de 3/8" (9.54 mm), tanto na linha de alta pressão como a de baixa pressão. O tubo capilar utilizado possui um comprimento aproximado de 3 m e diâmetro, externo e interno, de 1.95 mm e 1.55 mm, respectivamente. Já o chope, em todas as partes do sistema, circula por uma tubulação de aço inox, com diâmetro nominal de 3/8" (~10 mm) e espessura de 1/32" (0,8 mm).

A empresa em questão, atualmente, possui 9 modelos diferentes de resfriadores de chope elétricos seguindo aproximadamente a mesma construção. O fabricante classifica os resfriadores comercialmente pelo número de vias (saídas de chope) e pela sua capacidade de resfriamento. Para o fabricante, a capacidade do resfriador está

definida pela vazão máxima de chope que o equipamento consegue fornecer com o fluido entrando a 25 °C e saindo a \mp 1 °C.

Devido às precauções referentes à carga de fluido refrigerante inflamável dentro do sistema de refrigeração, durante a reunião realizada pelas três partes do projeto decidiu-se por converter apenas o resfriador de chope de menor capacidade. A escolha do resfriador de menor capacidade visou à determinação da carga mínima de fluido refrigerante durante a conversão, e caso essa seja suficientemente baixa, poderá ser aplicada a sistemas de maior capacidade permitindo à empresa ampliar a gama de resfriadores que operem com fluidos refrigerantes naturais até atingir os limites definidos pela norma. O resfriador de chope a ser convertido, sem a carenagem, é apresentado na Fig. 2.3 e as especificações técnicas oferecidas pelo fabricante são listadas na Tabela 1.



Figura 2.3 - Resfriador de chope selecionado para conversão.

Tabela 2.1 - Especificações técnicas do resfriador de chope. Fonte: www.ccitti.com.br

Especificação técnica	Descrição
Vazão de chope (l/h) *	20
Vazão com chope pré-resfriado (l/h) **	30
Dimensões (a x l x p) cm	(47 x 31 x 56)
Peso (kg)	24
Consumo (W)	-
Tensão (V)	110

*Temperatura de entrada do chope 25 °C.

**Temperatura de entrada do chope 8 °C.

Na tabela 2.2 apresenta-se um listado dos componentes básicos referentes ao ciclo frigorífico do resfriador, com seu respectivo fabricante, modelo, custo especificações técnicas, e alguns comentários sobre o tipo de componentes. Já a tabela 2.3 apresenta os componentes secundários, de proteção e controle, que constituem o resfriador. Ainda na mesma tabela são fornecidas as informações referentes a fabricante, modelo, especificações técnicas e tipo de aplicação.

Tabela 2.2 - Componentes básicos do sistema de refrigeração.

Componente	Fabricante Modelo	Especificações técnicas	Comentários	Preço (R\$)
Compressor	Embraco NE 6211	Refrigerante: R22; Potência 1/2 Hp; Temperatura de evaporação: -15 até 10 °C; Tensão: 208- 230 V; Frequência: 60 Hz;	Compressor recíproco	600,00
Condensador	Agraz refrigeração	Fabricado sob pedido da empresa; Ventilador:	Trocador de fluxo cruzado	160,00
Dispositivo de expansão	(-)	Comprimento: Diâmetro:	Tubo capilar	25,00
Evaporador	Fabricado pela Ccitti	Tubo de cobre 1/2"	Tipo inundado	(-)

É importante destacar que o ciclo frigorífico dos resfriadores de chope que a empresa tem desenvolvido é resultado de aproximadamente 14 anos de experiência, fundamentado desde um ponto de vista completamente prático.

Para complementar o relatório e permitir um maior conhecimento do resfriador a ser convertido, o fabricante forneceu os desenhos técnicos e construtivos. Por outro lado, não foi possível ter acesso a determinadas informações referentes ao resfriador e ao processo de fabricação, tais como:

- Condições de projeto;
- Memorial de cálculo e dimensionamento dos componentes;
- Consumo de energia do equipamento;
- Coeficiente de desempenho;
- Vazão de ar no condensador;

Tabela 2.3 - Componentes de controle e proteção do resfriador de chope atual.

Componente	Fabricante Modelo	Especificações	Objetivo	Preço (R\$)
Pressostato automático	R.A.C APA400320 045-209	Conexão rosca SAE 1/4" - Entrada. Conexão rosca SAE 1/4" - Saída. Liga: 320 psi (22,06 bar); Desliga: 400 psi (27,5 bar); Normalmente fechado; Rearme automático.	Proteção contra pressões de descarga elevadas.	70,00
Pressostato automático	Danfoss KP1 060- 110166	Liga; Conexão rosca SAE 1/4" - Entrada. Conexão rosca SAE 1/4" - Saída.	Controle da pressão de baixa	180,00
Válvula solenoide	Therموال 17048	Tubo Refrigeração 1/4" (ODF) - Entrada. Tubo Refrigeração 1/4" (ODF) - Saída. 220/240 V 50/60 Hz Kv = 0,29	Proteção.	170,00
Filtro secador	R.A.C C 032S	Tubo Refrigeração 1/4" (ODF) - Entrada. Tubo Refrigeração 1/4" (ODF) - Saída. Capacidade de absorção de água ~ 3 g; Capacidade recomendada 3,6 kW para R22	Retirar umidade do sistema	40,00

2.1.2. Processo de fabricação do resfriador

O processo de montagem é iniciado instalando na estrutura, quatro pés de borracha que servirão de apoio para o resfriador. Após isso, instala-se na estrutura o condensador na parte superior de forma horizontal e abaixo do condensador é instalado o ventilador. Ambos são presos à estrutura por rebites. Em seguida é realizada a montagem do evaporador, sendo esse componente instalado na parte frontal da estrutura, de forma vertical. O compressor do ciclo frigorífico é fixado na parte posterior da estrutura, aproximadamente ao mesmo nível do evaporador. A válvula solenoide é fixada à estrutura na parte lateral esquerda. No lado oposto à válvula solenoide é instalado o pressostato. Posteriormente, instala-se a tubulação de cobre do pressostato ao *cooler*, a tubulação é fixada por meio de flange ao pressostato e para o *cooler* utiliza-se brasagem. Uma vez instalada a linha do pressostato, é montada a linha de descarga do compressor, na qual são instalados o pressostato de cartucho e a válvula Schrader de 1/4". Após montada a linha de descarga do compressor, monta-se a linha de líquido do condensador até o tubo capilar. Na sequência, entre o condensador e a válvula solenoide, é montado o filtro secador. Já entre a solenoide e o evaporador é instalado o tubo capilar. Todas as uniões desses componentes são permanentes e realizadas por meio de brasagem. E para finalizar é fixada a válvula de segurança do sistema ao compressor.

Uma vez terminada a montagem dos componentes mecânicos referentes ao sistema de refrigeração, é realizada a fiação elétrica do resfriador em geral, compressor, ventilador, pressostatos.

O sistema é evacuado utilizando uma bomba de vácuo de duplo estágio durante 5 minutos. Após, utilizando um *manifold* de três vias e uma balança digital com resolução 0,002 kg, o sistema é carregado manualmente com 1,25 kg de fluido refrigerante R22 na fase líquida. Uma vez carregado o sistema, este passa por um teste de funcionamento para garantir um correto funcionamento. O teste consiste em testar que o sistema consegue resfriar a temperatura da água para aproximadamente 0 °C, para uma vazão delimitada em 25 l/h, além da água estar à temperatura ambiente. É importante destacar que todas as operações acima mencionadas são realizadas dentro da mesma área e pelo mesmo técnico.

Após o sistema evacuado, carregado e testado, o pessoal da área de funilaria toma as dimensões do produto e, corta e dobra as chapas exteriores ou carenagem do resfriador. Como passo final é montada a carenagem do resfriador de chope.

2.1.3. Avaliação do funcionamento do resfriador de chope a ser convertido

Utilizando a primeira lei da termodinâmica aplicada para cada um dos componentes e com as condições listadas na Tab. 2.1, podem ser estimados alguns dos parâmetros de operação que não são medidos, nem conhecidos pelo fabricante. Para a avaliação termodinâmica foram realizadas as seguintes simplificações:

- Operação em regime permanente;
- Não há mudança significativa na energia potencial e cinética nos componentes;

A primeira lei da termodinâmica de forma geral, com as simplificações acima mencionadas, é apresentada pela Eq. 2.1.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(\Delta h) \quad (2.1)$$

Na Eq. 2.1, \dot{Q} representa a taxa de transferência de calor líquida fornecida ao sistema, \dot{W} representa a potência líquida fornecida, \dot{m} a vazão mássica de fluido que circula e Δh as diferença de entalpias do fluido na entrada e na saída do sistema.

Para a avaliação do ciclo termodinâmico foram realizadas as seguintes simplificações em cada um dos componentes do ciclo de refrigeração:

- A expansão do fluido refrigerante no dispositivo de expansão se dá por meio de um processo a entalpia constante;
- Assume-se que o evaporador não troca calor com o meio externo e que só existe troca de calor entre o fluido refrigerante e o fluido a ser resfriado (chope);
- A queda de pressão nos trocadores de calor é desconsiderada;

Após as simplificações mencionadas anteriormente, para o evaporador tem-se que:

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{m}_{ref}(h_{sai} - h_{ent}) \quad (2.2)$$

Em que \dot{Q}_{ev} representa o calor retirado pelo resfriador, \dot{m}_{ref} representa a vazão mássica de fluido refrigerante que circula pelo sistema e h_{ent} e h_{sai} representam as entalpias do fluido refrigerante na entrada e na saída do evaporador, respectivamente. Ainda, destaca-se que, por se tratar de um evaporador do tipo inundado, o superaquecimento na saída é de 0 K. Já para o compressor foram utilizados os dados do fabricante, com o objetivo de aproximar o máximo possível a avaliação realizada ao processo real.

Nesse sentido, os dados referentes à potência consumida e à vazão mássica do compressor foram obtidos do site do fabricante (EMBRACO, 2018), conforme apresentado na Fig. 2.4.

CONDICÕES DE TESTE: @200V60Hz		ASHRAE46 Forçada			(Temperatura de condensação 45°C (+113°F))					
Temperatura de evaporação	Capacidade de refrigeração +/- 5%			Consumo de potência +/- 5%	Consumo de corrente +/- 5%	Fluxo de massa +/- 5%	FAIXA DE EFICIÊNCIA +/- 7%			
	°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-15 (+5)	2276	574	667	459	3.34	12.77	4.95	1.25	1.45	
-10 (+14)	2864	722	839	507	3.51	16.14	5.65	1.42	1.66	
-5 (+23)	3568	899	1045	553	3.70	20.19	6.45	1.62	1.89	
0 (+32)	4387	1106	1285	599	3.89	24.98	7.33	1.85	2.15	
+5 (+41)	5322	1341	1560	644	4.09	30.53	8.27	2.08	2.42	
+10 (+50)	6375	1607	1868	688	4.29	36.87	9.27	2.33	2.71	

Figura 2.4 Tabela de desempenho do compressor de R22 utilizado. Fonte: (EMBRACO, 2018).

A taxa de transferência de calor, \dot{Q}_{cd} , que é rejeitada durante o processo de condensação pode ser estimada pela Eq. 2.3.

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_{ref}(h_{sai} - h_{ent}) \quad (2.3)$$

Em que \dot{Q}_{cd} representa o calor rejeitado no condensador, \dot{m}_{ref} representa a vazão mássica de fluido refrigerante que circula pelo condensador e h_{ent} e h_{sai} representam as entalpias do fluido refrigerante na entrada e na saída do condensador, respectivamente. O processo através do tubo capilar é aproximado por meio de uma expansão a entalpia constante, conforme indicado pela Eq. 2.4.

$$h_{ent} = h_{sai} \quad (2.4)$$

Na Eq. 2.4, h_{ent} e h_{sai} , respectivamente, representam as entalpias de entrada e saída do fluido refrigerante no tubo capilar. As equações da Eq. 2.2 até a 2.4 foram implementadas em uma rotina no software EES (*Engineering Equation Solver*), que permite conhecer as propriedades termofísicas do fluido refrigerante em cada estado. Para análise, foram assumidos os seguintes dados: temperatura de evaporação e de condensação de -5 °C e 45 °C, respectivamente; superaquecimento e subresfriamento de 0 K e 10 K, respectivamente. Os resultados estimados para o consumo de energia, a capacidade frigorífica e o desempenho do sistema são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Parâmetros estimados do sistema do resfriador a ser utilizado

Potência (W)	Capacidade (W)	COP (-)
553,2	821,9	1,486

A Fig. 2.5, ver Fig. abaixo, apresenta o diagrama P-h do ciclo termodinâmico do resfriador de chope.

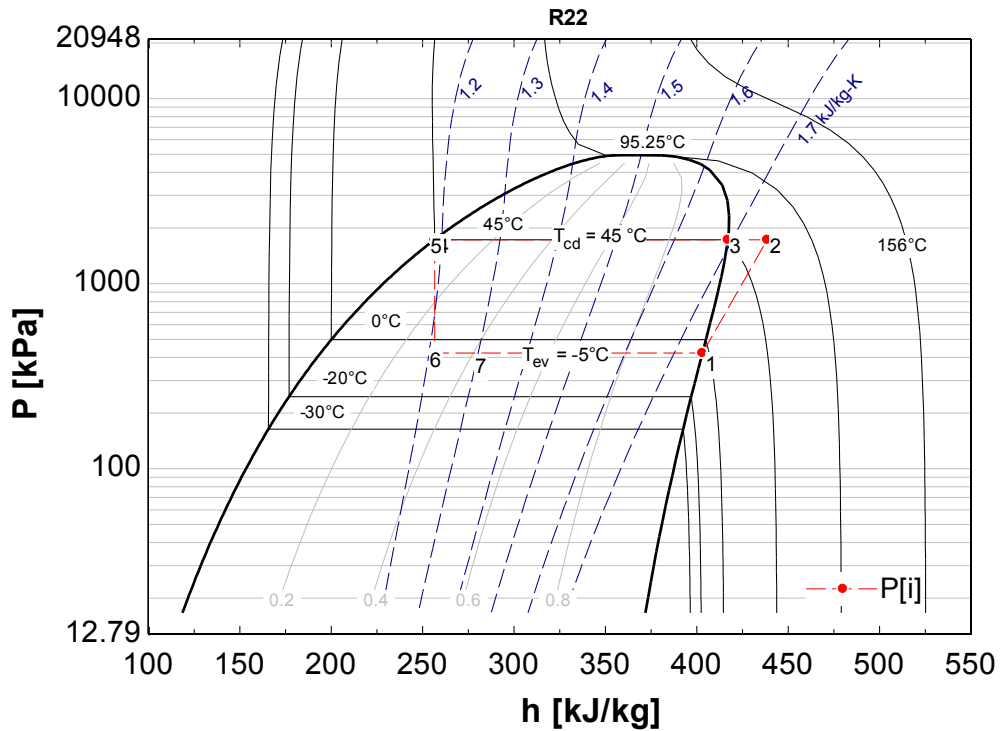


Figura 2.5 Diagrama P-h do resfriador de chope.

Já para segundo relatório está planejada a realização dos testes de caracterização do sistema na sua versão original, com o objetivo de obter dados experimentais confiáveis que permitam analisar o ciclo termodinâmico do resfriador atual. Além disso, os testes de referência com o resfriador atual servirão de base para a futura comparação, em termos do desempenho energético e do impacto ambiental (TEWI), entre o resfriador de R22 e o protótipo a ser projetado para operar com o fluido hidrocarboneto escolhido.

2.1.4. Avaliação do local de carga de fluido refrigerante

Como se trata de uma empresa que não possui uma produção em série e de um tipo de equipamento que, no Brasil, é usualmente fabricado sob encomenda, a maior parte do

processo de fabricação do resfriador de chope é realizada dentro de uma área específica da empresa, a área de montagem. Na empresa, a área de montagem possui uma extensão aproximada de 14 m², e está localizada entre outras duas áreas diferentes, servindo como único meio de comunicação entre elas. No anexo 1 é apresentado um layout descritivo das áreas que compõem a empresa. Na área de montagem são realizadas as atividades de instalação de componentes, brasagem, fiação elétrica, testes de vazamento, carga do fluido refrigerante, isolamento térmico, e reparação ou conserto de equipamentos que apresentarem defeitos. Na Fig. 2.6., é apresentado um layout da área de montagem em que todas as atividades do processo de produção são realizadas.

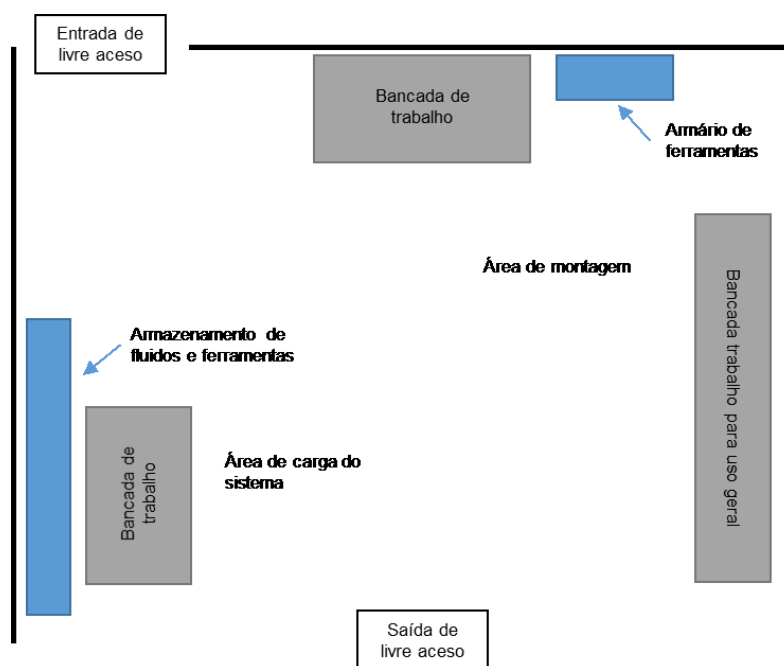


Figura 2.6 Layout da área de montagem da empresa.

Como observado na Fig. 2.6, a área de trabalho está localizada entre dois setores distintos da empresa que fazem com que, constantemente, haja uma entrada e uma saída de livre acesso, para comunicar os dois setores. Devido à localização da área dentro da empresa, a passagem permite o ingresso de pessoal não qualificado, seja externo ou de outros setores que não possuam o treinamento adequado para trabalho e manuseio de fluidos refrigerantes como usinagem, comercial etc. Além disso, percebe-se que a área de carga do sistema e a área de montagem não estão divididas física nem visualmente, o que permite que atividades, como brasagem e carga de fluido, sejam executadas simultaneamente dentro do mesmo local. Devido à quantidade de espaços abertos nas vizinhanças e à altura do telhado, além dos espaços para circulação de ar,

considera-se que o espaço possui adequada ventilação natural para a realização do tipo de trabalho que é executado. Apesar disso, para possibilitar a montagem de equipamentos contendo fluido inflamável, severas modificações devem ser propostas e implementadas (previstas para etapas futuras do projeto).

Na área de montagem, conforme mencionado anteriormente, é realizada a maior parte das atividades do processo de montagem do resfriador. A área de trabalho destinada à montagem do sistema de refrigeração do resfriador é apresentada na Fig. 2.7, e a área destinada à carga do sistema é apresentada pela Fig. 2.8.



Figura 2.7 Área de montagem dos resfriadores de chope.



Figura 2.8 Área de carga e de estocagem de fluidos refrigerantes.

Conforme pode ser observado em ambas as fotos, a área não possui sinalização relacionada à segurança, nem divisão das áreas de trabalho. Ainda na Fig. 2.8 destaca-se que, dentro da área de carga, é realizado o armazenamento dos botijões contendo os fluidos refrigerantes que a empresa utiliza.

Na tabela 2.5 é apresentado o levantamento das ferramentas de que a empresa dispõe para as operações de montagem, evacuação e carga do sistema frigorífico.

Tabela 2.5 - Ferramentas utilizadas no processo de montagem e carga do sistema.

Item	Descrição
1	Cortador de tubo de cobre com escareador
2	Flangeador excêntrico de tubos de cobre
3	Cortador de tubo capilar
4	Alicate lacrador
5	Alicate de pressão
6	Alicate perfurador regulável de 1/4"
7	Curvador de tubos de cobre
8	Unidade de brasagem completa contendo cilindros de oxigênio e propano, válvulas, manômetros, regulador de pressão, mangueiras, tocha e ponteiros.
9	Conjunto <i>manifold</i> de três vias (1/4"), contendo: dois manômetros (alta e baixa pressão) e duas válvulas, incluindo conjunto de três (3) mangueiras com conexão de 1/4".
10	Bomba de vácuo rotativa de duplo estágio com conjunto de mangueiras de 1/4".
11	Detector de vazamentos de fluidos CFC, HCFC e HFC.
12	Balança eletrônica de precisão para aplicações HVAC, portátil, com precisão de 0,002 kg e com capacidade de até 50 kg.
13	Termômetro digital de 5 pontas.
14	Cilindro de recolhimento de fluido frigorífico.
15	Conjunto de alicates isolados, de ponta, de corte e descascador.
16	Alicate amperímetro digital
17	Soprador térmico de 2000W
18	Parafusadeira e furadeira de 12 V

2.1.5. Expectativas do resfriador de chope a ser convertido

Como primeira proposta para a conversão do resfriador de chope de R22, escolheu-se por trabalhar com R290 (propano) como fluido de trabalho. Isto fundamentado nas experiências encontradas em estudos de caso na literatura, em que a conversão leva a equipamentos com menor consumo de energia, maior eficiência e custos de produção similares (M.M.A., 2015). No Brasil, atualmente, existem no mercado poucos fornecedores de componentes projetados para o fluido refrigerante escolhido. Para implementar a conversão do equipamento do R22 para o R290, fluido inflamável, uma série de mudanças deve ser aplicada no equipamento priorizando a redução de possíveis vazamentos e minimizando a carga de fluido. Em etapas futuras deverão ser propostas mudanças nas áreas de armazenamento de fluidos, montagem e carga do sistema, com o objetivo de satisfazer as normas de segurança existentes.

De acordo com a norma EN 378, para que o resfriador de chope contendo fluido inflamável possa ser operado em qualquer local, este deve possuir uma carga de fluido 4 vezes menor que o limite de inflamabilidade inferior do fluido refrigerante, abaixo de 150 g para o propano (M.M.A., 2015). Levando isso em consideração, componentes de grande volume do resfriador de chope devem ser substituídos. O principal componente a ser substituído é o condensador, que deve ser otimizado para reduzir seu tamanho ou, preferivelmente, utilizar outro tipo de condensador com menor volume interno. O evaporador, da mesma forma que o condensador, deve ser otimizado, uma vez que seu elevado volume e tipo (inundado) demanda uma elevada carga de fluido. Por se tratar de um vaso de pressão, ver Fig. 2.2, deve ser seguida de forma estrita uma série de normas de fabricação, teste e segurança para sua utilização com fluidos inflamáveis. Outras opções para reduzir a quantidade de carga no sistema são: a redução da linha de líquido e a substituição do filtro secador por um de menor volume e mesma capacidade.

Para estimar os parâmetros de operação e redimensionamento, optou-se primeiro por determinar a capacidade requerida do sistema para as condições de operação oferecidas pelo fabricante (Tabela 2.1). A capacidade de refrigeração mínima do sistema pode ser estimada ao aplicar a Eq. 2.1 pelo lado fluido secundário no evaporador. Utilizando as simplificações mencionadas anteriormente, a primeira lei para essas condições está dada pela Eq. 2.5.

$$\dot{Q}_{req} = \dot{m}_{fs} C_{p,fs} (\Delta T) \quad (2.5)$$

Em que \dot{Q}_{req} representa a taxa de transferência de calor, em regime permanente, requerida para realizar o resfriamento, \dot{m}_{fs} representa a vazão mássica de fluido secundário (vazão de chope), C_p representa o calor específico do fluido secundário avaliado à temperatura média de operação do trocador, e ΔT é a diferença de temperatura do fluido secundário entre a entrada e a saída do evaporador. Realizando o cálculo obtém-se que:

$$\dot{Q}_{req} = \left(5.556E - 6 \frac{m^3}{s} \right) \left(998.5 \frac{kg}{m^3} \right) \left(4.202 \frac{kJ}{kg K} \right) (25 - 0) K = 559.4 W \quad (2.6)$$

De forma que o compressor a ser escolhido deve possuir no mínimo a capacidade requerida e, com fins de comparação inicial, optou-se por um compressor com capacidade similar ao do resfriador original de R22. O equipamento escolhido para análise preliminar foi um compressor hermético e alternativo do fabricante EMBRACO, modelo NEU6181U. As especificações técnicas do compressor são listadas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Especificações técnicas do compressor EMBRACO NEU6181U. Fonte:

Dados Gerais	
Refrigerante	R290
Faixa de temperatura de evaporação	-20 até 10 °C
Deslocamento	7,3 cm ³
Potência motor elétrico	1/3 hp
Voltagem/frequência	115-127 V/60 H 1~z

Para atingir a necessidade do uso da carga mínima de fluido refrigerante, o condensador deve ser substituído por um de menor volume. O tipo de condensador selecionado foi um condensador de microcanal, que apresenta elevados coeficientes de transferência de calor (ASHRAE, 2016) e reduções médias de até 30% na carga de fluido refrigerante quando comparado com um sistema da mesma capacidade utilizando outro tipo de trocador (BRAHEX, 2018). Foi encontrada uma empresa nacional que fornece esse tipo de trocadores de calor, a BRAHEX, e o modelo escolhido foi o MCHE B1 com dimensões de 356 por 332 mm e capacidade nominal de 3000 kcal/h (~3.49 kW). Para estimar a redução do volume interno pela substituição do tipo de trocador, o volume interno do trocador atual do resfriador foi estimado por meio do modelo 3D fornecido pela Ccitti, obtendo-se um volume aproximado de 1,1 L, e, para o trocador de

microcanal selecionado, o fabricante fornece um volume interno de 0,174 L, o que gera uma redução aproximada de 84%.

Como dispositivo de expansão do equipamento, é possível utilizar um tubo capilar de igual diâmetro desde que seja realizada uma análise que permita determinar o comprimento adequado para atender à necessidade do novo compressor.

Na fase inicial, para o evaporador, decidiu-se tentar manter a mesma tecnologia utilizada pela empresa para o resfriador de R22, realizando algumas alterações no projeto original, para aumentar o coeficiente de transferência de calor e reduzir a carga de fluido refrigerante. Outra opção para fases posteriores é propor a utilização de outro tipo de trocador de calor que possa atender a essa necessidade, como trocadores de calor de placas brasadas, que auxiliariam de forma relevante no objetivo de reduzir a carga de fluido refrigerante no sistema. O trocador de placas escolhido foi o do fabricante, BRAHEX, modelo PHE P1, com capacidade nominal de 2 TR (5,815 kW). No Brasil, encontram-se disponíveis diferentes empresas fabricantes desse tipo de trocadores de calor. A tabela 2.7 resume as especificações técnicas e o custo estimado dos componentes básicos para a conversão do resfriador.

Tabela 2.7 - Especificações técnicas dos componentes básicos do resfriador convertido.

Componente	Fabricante Modelo	Especificações técnicas	Comentários	Preço (R\$)
Compressor	Embraco NEU6181U	Refrigerante: R290; Potência 1/3 Hp; Temperatura de evaporação: -20 até 10 °C; Tensão: 208- 230 V; Frequência: 60 Hz;	Compressor recíproco	500,00
Condensador	BRAHEX MCHE B1	Capacidade nominal: 3000 kcal/h (~3.49 kW);	Trocador de fluxo cruzado	160,00
Dispositivo de expansão	(-)	(-)	Tubo capilar	25,00
Evaporador	BRAHEX BHE – P1	Capacidade nominal: 5 TR (5.815 kW).	Tipo placas brasadas	Entre 300,00 e 420,00

Utilizando a mesma metodologia apresentada no item 2.1.2, foi realizada uma avaliação do sistema operando com R290 e com o compressor acima mencionado. A tabela 2.8 apresenta os resultados de operação estimados do resfriador de chope e a Fig. 2.9 apresenta o diagrama p-h do ciclo termodinâmico.

Tabela 2.8 Parâmetros estimados do sistema do resfriador a ser utilizado.

Potência (W)	Capacidade (W)	COP (-)
350	707,2	2,02

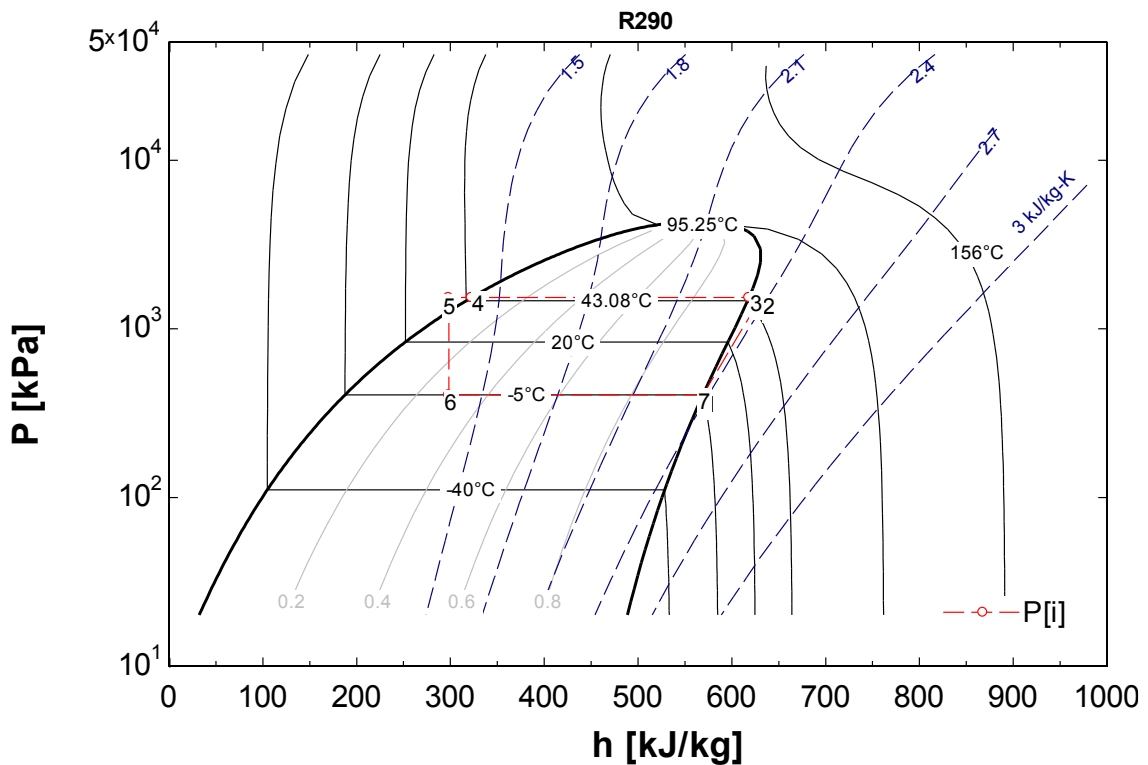


Figura 2.9 Diagrama pressão entalpia do sistema operando com R290.

A maior parte dos componentes de proteção e controle utilizados pelo sistema de R22 podem ser utilizados no equipamento a ser convertido, desde que todas as uniões não permanentes sejam substituídas por uniões permanentes, reduzindo o risco de vazamento, e não possuam fontes de ignição (Narayan, 2011).

Destaca-se que os componentes aqui selecionados foram escolhidos para obter uma estimativa do desempenho e do custo do equipamento. No entanto, em etapas posteriores, há de ser realizada uma pesquisa de possíveis fornecedores dos componentes definitivos a serem utilizados no novo resfriador.

3. CONCLUSÕES

O presente relatório apresentou um resumo sobre a construção, o processo de fabricação e de carga de fluido refrigerante, assim como uma descrição dos componentes e do funcionamento do resfriador de chope, que será convertido para trabalhar com fluido hidrocarboneto, especificamente o propano, R290. Com o levantamento das especificações técnicas e dos parâmetros de operação da unidade, foram estimados o desempenho e a capacidade da unidade, onde, em etapas futuras, servirá como parâmetros de comparação.

A avaliação da área de montagem e de carga do sistema demonstrou que uma série de mudanças deve ser realizada para garantir a montagem e o carregamento de unidades com fluido inflamável de forma segura. Tais mudanças serão apresentadas de forma rigorosa no próximo relatório, conforme estipulado no cronograma. Entre as mais destacadas encontram-se a divisão da área de montagem e de carga das unidades, e a adequação de um local para o armazenamento seguro dos fluidos refrigerantes (independente da área de montagem).

Em conformidade com as três partes envolvidas no projeto, tomou-se o propano como principal candidato para substituição do R22. As alterações a serem realizadas no resfriador, que não modificarão de forma significativa os custos de produção, foram levantadas. Adicionalmente, espera-se que o resfriador opere com capacidade de refrigeração similar, tendendo a um melhor desempenho. É importante destacar que, devido à atenção que será dedicada ao redimensionamento dos componentes para minimizar a carga de fluido contida no sistema, tal equipamento operará de maneira segura e eficiente.

4. REFERÊNCIAS

ASHRAE. (2016). *HVAC systems and equipment*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.

BRAHEX. (20 de 09 de 2018). *Trocadores de Calor de Microcanal*. Fonte: <http://brahex.com.br/produtos/trocadores-de-calor-de-microcanais>

EMBRACO. (20 de 09 de 2018). *Dados técnicos do compressor NE 6211E*. Fonte: Embraco: <http://www.embraco.com/catalog/Compressors.aspx?idProduto=458400&idCapacidade=1997083&idOleo=133&tipoTeste=ASHRAE46&aplicacao=3&frequencia=50&capacidadeFuncionamento=&paginaAnterior=Results-Compressors.aspx?m=Model|qtdregistrospagina=20|p=|s=C|model=NE|re>

M.M.A. (2015). *Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos hidrocarbonetos: um manual para engenheiros, técnicos, instrutores e formuladores de políticas – para uma refrigeração e climatização mais sustentável*. Brasília: Brasil: Ministério do Meio Ambiente.

Narayan, C. (2011). *Production conversion of domestic refrigerators from halogenated to hydrocarbon refrigerants*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

ANEXOS

A.1 Layout da empresa

