

Relatório Técnico 2

Projeto resfriador de chope com fluido alternativo

Eng. M.Sc. David Fernando Marcucci Pico

Prof. Dr. Enio Pedone Bandarra Filho

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Desenvolvimento	3
3.1. Escolha do fluido refrigerante alternativo	3
3.2. Dimensionamento dos componentes do sistema de refrigeração	6
3.3. Avaliação do impacto ambiental do resfriador a ser convertido .	14
3.4. Local de carga de fluido frigorífico.....	16
3.5. Conformidade do resfriador com a Norma EN-378	20
3.6. Avaliação de risco de vazamento do resfriador de chope	32
3.7. Processo de manufatura do novo resfriador de chope (Protótipo)	
.....	40
4. Conclusões	42
5. Referências.....	43

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta a segunda fase do processo de conversão do resfriador de chope, dedicado ao redimensionamento do equipamento para operar com fluido alternativo. Para o desenvolvimento, os consultores realizaram uma visita à empresa, nos dias 11, 12 e 13 de outubro de 2018, na qual foram apresentadas ao representante as metodologias para a redução de carga de

fluido no sistema e foi realizado o levantamento dos dados técnicos necessários para dar início ao desenvolvimento deste relatório, que é composto pelos seguintes subitens: (1) Escolha do fluido refrigerante alternativo; (2) Dimensionamento dos componentes do sistema de refrigeração; (3) Avaliação do impacto ambiental do resfriador a ser convertido; (4) Local de carga de fluido frigorífico; (5) Conformidade do resfriador com a Norma EN-378; (6) Avaliação de risco de vazamento do resfriador de chope; e (7) Processo de manufatura do novo resfriador de chope (Protótipo).

2. OBJETIVOS

Realizar visita técnica à empresa beneficiada, Choqueiras Ccitti, para as seguintes atividades:

- Avaliar o(s) fluido(s) frigorífico(s) alternativo(s) que seja(m) mais adequado(s) para o resfriador de chope a ser convertido, apresentando justificativas técnicas;
- Apresentar um estudo conceitual (em termos energéticos e TEWI) de um *retrofit* no resfriador de chope utilizando o fluido alternativo selecionado, redimensionando os componentes necessários para redução da carga de fluido frigorífico e apresentando demais especificações técnicas;
- Pesquisar no mercado e identificar possíveis componentes compatíveis com o fluido alternativo e com o sistema de refrigeração desenvolvido para o novo resfriador de chope (ex: compressor compatível com fluido alternativo), considerando desempenho e custo;
- Especificar local físico de carga de fluido frigorífico e as medidas de segurança a serem adotadas para a área de carga;
- Avaliar conformidade do resfriador de chope contendo fluido alternativo com as normas existentes;
- Conduzir uma avaliação de risco de vazamento no resfriador contendo fluido frigorífico alternativo, identificando possíveis focos de vazamento e soluções para evitar o acúmulo de fluido, bem como medidas paliativas a serem adotadas;

- Apresentar um projeto executivo para manufaturar o novo resfriador de chope com fluido alternativo, contendo todos as especificações dos componentes e procedimentos de montagem.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Escolha do fluido refrigerante alternativo

Para escolha do fluido refrigerante com o qual o resfriador de chope trabalhará, primeiro, optou-se por consultar algumas recomendações encontradas em relatórios técnicos e artigos científicos encontrados na literatura; segundo, foi feita uma revisão de alguns casos de estudo, em que equipamentos que operavam com R22 foram convertidos para trabalhar com fluido hidrocarboneto; e, por último, foi realizada uma análise das propriedades termofísicas dos possíveis fluidos refrigerantes alternativos.

De acordo com MMA (2015), as propriedades termodinâmicas e de transporte do fluido são o ponto de partida para a seleção de um fluido refrigerante, sendo a pressão de vapor do fluido refrigerante o fator mais importante na seleção do fluido de trabalho para uma dada aplicação. Os autores afirmam que, para a substituição do R22, os hidrocarbonetos mais apropriados em termos de pressão e temperatura de operação e capacidade de resfriamento são:

- R290 (Propano);
- R1270 (Propileno);
- R433A (R1270 [30,0%], R290 [70,0%]);
- R433B (R1270 [5,0%], R290 [95,0%]);
- R433C (R1270 [25,0%], R290 [75,0%]);
- R290/R170;

Partindo dessa referência, somente o R290 e o R1270 são as substâncias puras que possuem características similares às do R22, as outras restantes são misturas não-azeotrópicas desses dois componentes puros. No presente projeto, planeja-se trabalhar apenas com substâncias puras, o que facilita a aquisição do fluido no mercado Brasileiro e, também, devido à disponibilidade de

equipamentos projetados e otimizados para operar com os hidrocarbonetos R290 e R1270.

Existem alguns estudos de caso reportados em referências como (MMA, 2015) e (Narayan, 2011), em que sistemas de refrigeração comerciais de pequeno porte, que operavam com R22, foram convertidos para trabalhar com hidrocarboneto e optaram por R290 como alternativo entre os fluidos acima apresentados. Nesse sentido, há uma nítida tendência na conversão de sistemas de refrigeração de pequeno porte de R22 para R290.

Na Fig. 3.1 é apresentada a pressão de saturação (Pressão de vapor) em função da temperatura de evaporação para os fluidos refrigerantes R290, R1270 e R22. Da figura pode ser concluído que ambos os fluidos alternativos escolhidos possuem uma pressão de vapor similar à do R22, sendo o mais próximo o R1270. No entanto, o R290 apresenta uma menor pressão de saturação em relação ao R1270 e ao R22 para uma temperatura dada. Isto permite que um sistema operando com R290 opere a menores taxas de compressão, em relação ao R1270 e R22, impactando favoravelmente no consumo de energia do compressor e no desempenho do sistema.

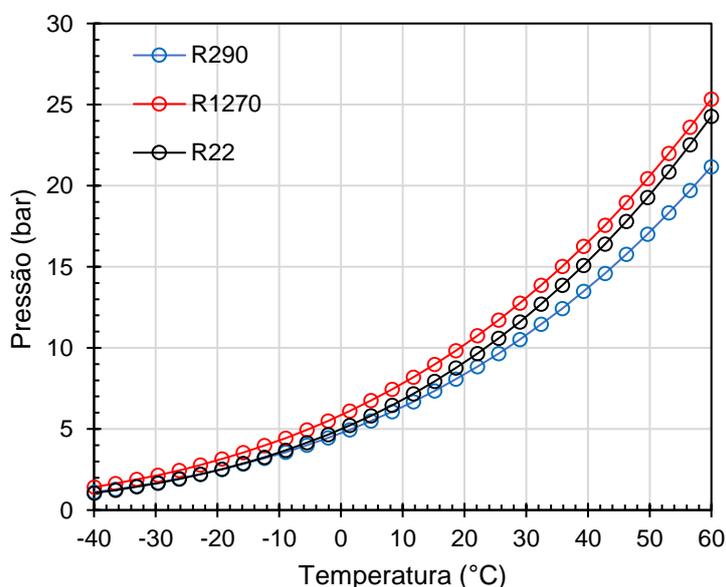


Figura 0.1 - Pressão de saturação para os fluidos R290, R1270 e R22.

Nas Fig. 3.2 (a) e (b) é apresentado o calor específico dos fluidos refrigerantes em análise, respectivamente nas fases líquido e vapor. Nas figuras

pode ser observado que os fluidos refrigerantes R290 e R1270 apresentam um calor específico maior em relação ao R22 ao longo de todas as temperaturas apresentadas, tanto na fase líquida como vapor. O calor específico do vapor está relacionado de forma inversamente proporcional à temperatura de descarga do compressor. Assim, é esperado que o R290 apresente menor temperatura de descarga do compressor, o que favorece a vida útil e preserva as características do óleo lubrificante. Adicionalmente, devido ao elevado calor específico dos fluidos hidrocarbonetos, os mesmos tendem a apresentar maior capacidade de transportar energia que o R22.

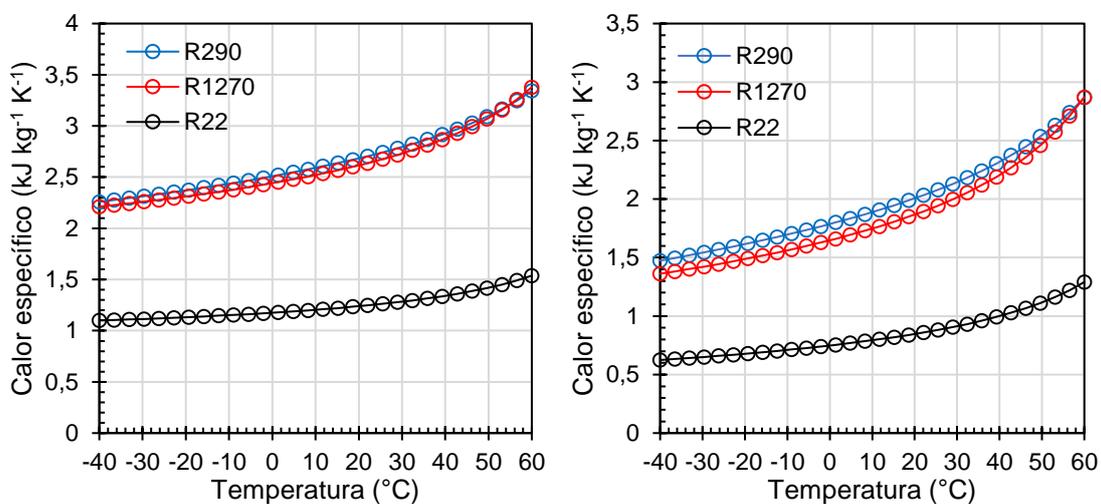


Figura 0.2 Calor específico do líquido (a) e do vapor (b) em função da temperatura de evaporação para os fluidos R290, R1270 e R22.

Ao comparar a massa específica dos fluidos R290 e R1270, foi encontrado que o R290 apresenta uma massa específica levemente menor do que a do R1270. Isto contribui de forma favorável à redução de carga de fluido refrigerante no sistema, com reduções na faixa de 5% (Park, et al., 2008). Outras propriedades termofísicas, como a viscosidade e a condutividade térmica dos fluidos R290 e R1270, são similares e podem ser consideradas em uma análise mais profunda sobre qual seria o fluido refrigerante ótimo para uma dada aplicação. No entanto, a disponibilidade de compressores no mercado brasileiro projetados e otimizados para operar com R1270 é muito reduzida.

Assim, em função das características mencionadas anteriormente, da disponibilidade de componentes e da experiência adquirida em outras empresas

que já realizaram a conversão em equipamentos similares, optou-se por escolher o R290 como fluido alternativo ao R22 para operar como fluido de trabalho no resfriador de choque.

3.2. Dimensionamento dos componentes do sistema de refrigeração

Os dados apresentados abaixo serão utilizados para o redimensionamento dos componentes, condensador, compressor e tubo capilar do resfriador de choque:

- Fluido refrigerante: R290
- Temperatura de condensação: 45 °C;
- Temperatura de evaporação: -5 °C;
- Subresfriamento: 10 K;
- Superaquecimento: 7 K;
- T ambiente: 35 °C.

Na Fig. 3.3 é apresentado o diagrama pressão-entalpia de operação do sistema de refrigeração do resfriador de choque para as condições de projeto.

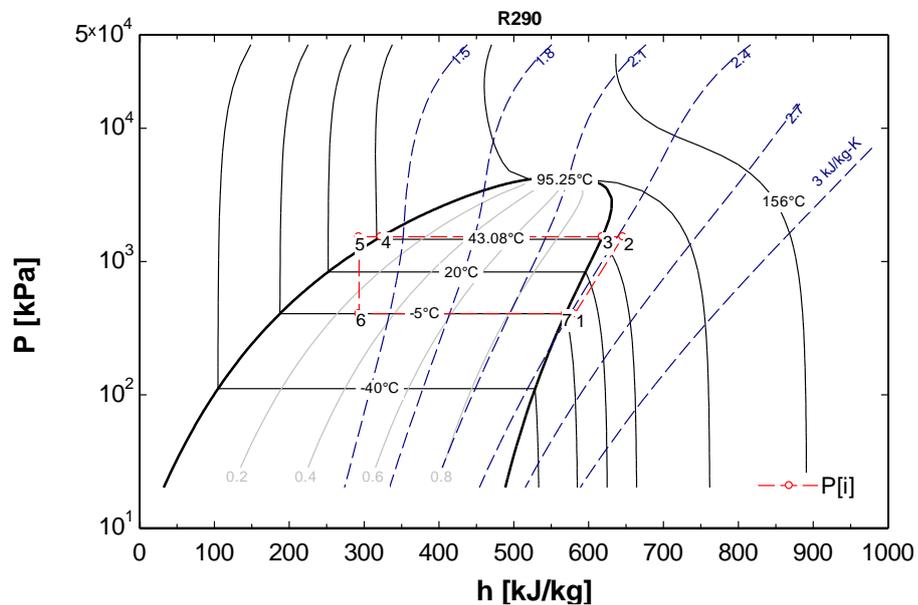


Figura 0.3 - Diagrama p-h do sistema de refrigeração do resfriador de choque para R290.

Na Tabela 3.1 são listadas as propriedades termodinâmicas do fluido em cada estado.

Tabela 0.1- Propriedades termodinâmicas em cada ponto do ciclo com R290.

Ponto	Pressão (kPa)	Temperatura (°C)	Entalpia (kJ/kg)	Título (-)
1	406,1	2	581,2	-
2	1534	56.85	645,9	-
3	1534	45	618,3	1
4	1534	45	322,5	0-
5	1534	35	293,3	-
6	406,1	-5	293,3	0,2773
7	406,1	-5	569,1	1

O compressor do sistema de refrigeração deve ser dimensionado de forma que consiga suportar a carga térmica necessária para reduzir a temperatura do chope da temperatura ambiente até aproximadamente 0 °C, para uma vazão de 25 l/h. A capacidade requerida foi determinada no primeiro relatório sendo igual a 559,4 W. Para manter uma margem de segurança e garantir que o sistema a ser projetado possua as mesmas capacidades que o resfriador anterior, procurou-se no mercado por compressores projetados para operar com R290 com capacidades similares para as mesmas condições de operação.

O compressor FFI12HBX de capacidade nominal de 1.336 kcal/h, corresponde ao tipo de aplicação de baixa, média e alta pressão de sucção (LMHBP), com motor elétrico de potência nominal de 1/2 hp, alto torque de partida (HST) e com condensador de partida (CSIR).

Uma vez que não foram encontrados compressores de R290 projetados para aplicações de baixa, média e alta pressão de sucção, igual ao compressor de R22, o levantamento foi delimitado apenas para a aplicação de média pressão de sucção de operação. Esta aplicação se encaixa perfeitamente nas condições de operação de um resfriador de chope, ou seja, temperaturas de evaporação de -20 até 10 °C. Adicionalmente, o levantamento foi delimitado para compressores projetados para operar em redes elétricas de 110 V e 220 V, ambas com frequência de 60 Hz. Adler (2015) recomenda a utilização de compressores com motor elétrico de alto torque de partida (HST) para aplicações

em países em desenvolvimento com instabilidades na rede elétrica e climas tropicais, para incrementar a vida útil, essa recomendação foi adicionada às delimitações utilizadas no levantamento.

Na Tabela 3.2 são listados os compressores encontrados que se encaixam nas limitações acima citadas, e que podem ser utilizados para o *retrofit* do resfriador, junto com as especificações técnicas de cada um, a 45 °C de temperatura de condensação e temperatura de evaporação a -5 °C. Destaca-se que qualquer um dos compressores mencionados na Tabela abaixo pode ser selecionado. Dos compressores listados na Tabela 3.1 foram selecionados os compressores NEU6181U e AE4440U-AA1A do fabricante EMBRACO e TECUMSEH como melhores opções, principalmente, por questões de disponibilidade no mercado nacional, uma vez que tais modelos ainda são difíceis de serem encontrados.

Tabela 0.2 - Lista dos compressores compatíveis com o resfriador de chope encontrados durante o levantamento realizado.

Modelo	Fabricante	Tensão (V) frequência (Hz)	Capacidade (W)	Consumo (W)
NEU6181U*	EMBRACO	115-127 60	891	350
NEK6210U*	EMBRACO	115 60	831	441
AE4440U-AA1A*	TECUMSEH	103-127 60	894	372
NLY75RRb	Danfoss	115 60	901	365
NLY75RRa	Danfoss	115 60	891	392
NLY75NGa	Danfoss	220 – 240 60	854	388
NLY75NGb	Danfoss	220-240 60	859	357

*Esses fabricantes não produzem compressores para o R290 de média pressão de sucção (MBP) para operar a 220 V.

A condensação do resfriador de chope utilizará a mesma tecnologia, condensação a ar, com trocador de calor do tipo fluxo cruzado. No entanto, foi selecionado um trocador de calor de microcanais.

O trocador de calor microcanais e o tradicional, de aleta e tubo, são apresentados na Fig. 3.4 (a) e (b), respectivamente. O trocador foi dimensionado pelo fabricante BRAHEX para as condições de projeto escolhidas. Foi recomendada a utilização do modelo MCHE B1, com capacidade nominal de 3000 kcal/h. Como mencionado no primeiro relatório, esse tipo de trocador garante uma redução significativa da carga de fluido dentro do sistema de aproximadamente ~30%, o que contribui sobremaneira com a redução da carga total de fluido refrigerante.

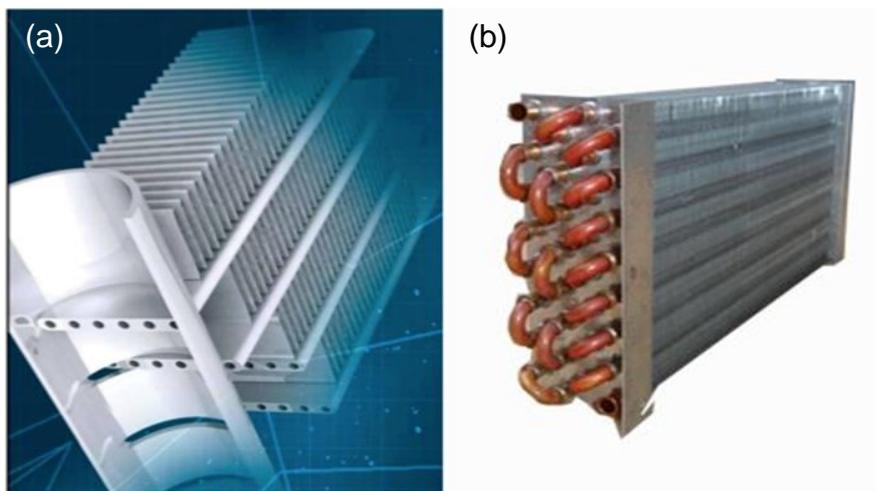


Figura 0.4 - Trocador de calor do tipo (a) microcanal e (b) do tipo aleta e tubo.

O dimensionamento do tubo capilar do sistema foi realizado selecionando o diâmetro e comprimento necessários para garantir a vazão mássica do sistema nas condições de projeto acima mencionadas. A determinação da vazão mássica do sistema é realizada pela correlação experimental proposta por Yang e Wang (2008). Essa é uma correlação geral, baseada nos resultados experimentais de diferentes autores para tubos capilares adiabáticos, que pode ser aplicada para o R290. A correlação foi implementada numa rotina no

programa EES (*Engineering Equation Solver*) para determinar a vazão mássica, variando o diâmetro e o comprimento do tubo capilar. Os diâmetros padrão de tubos capilares estão definidos pela Norma ASTM B360. Os comprimentos comerciais encontrados no mercado são 1; 1,2; 2 e 3 metros.

Para o dimensionamento do tubo capilar utiliza-se o valor médio das capacidades fornecidas pelos compressores listados na Tabela 3.2, sendo igual a 875 W. Para essa capacidade frigorífica, a vazão mássica de fluido refrigerante é determinada pela aplicação da primeira lei da termodinâmica no evaporador (Eq. 3.1)

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\dot{Q}_{ev}}{h_1 - h_6} = \frac{0.875 \text{ kW}}{(581,2 - 293,3) \text{ kJ/kg}} = 0,003039 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 10,94 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (3.1)$$

Em que \dot{m}_{ref} é a vazão de fluido refrigerante, \dot{Q}_{ev} a capacidade de refrigeração requerida e h_1 e h_6 são, respectivamente, as entalpias de saída e de entrada do fluido refrigerante no evaporador. A Fig. 3.5 apresenta a vazão mássica do tubo capilar como uma função do comprimento e do diâmetro interno para as condições de projeto utilizadas. Os diâmetros e comprimentos padrão que mais se ajustaram foram:

- Diâmetro externo: 0,087 polegadas (2,21 mm);
Diâmetro interno: 0,039 polegadas (0,991 mm);
Comprimento: 1,2 m;
Vazão: 10,13 kg/h.
- Diâmetro externo: 0,093 polegadas (2,36 mm);
Diâmetro interno: 0,042 polegadas (1,07 mm);
Comprimento: 2,0 m
Vazão: 9,73 kg/h.

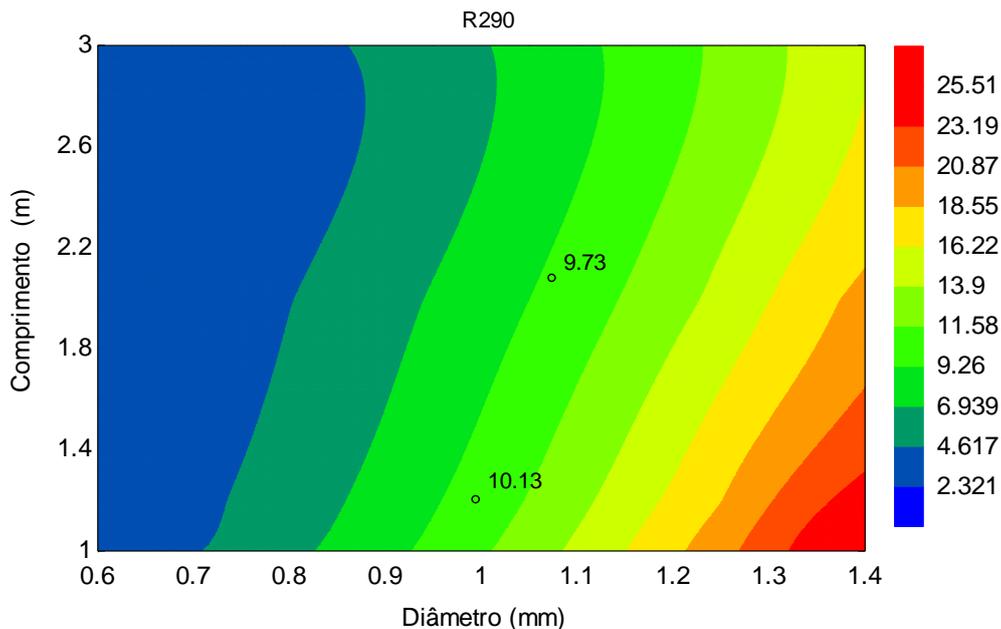


Figura 0.5 - Vazão mássica de R290 como uma função do comprimento e do diâmetro do tubo capilar, utilizando a correlação de Yang e Wang (2008).

Conforme solicitado pelo fabricante, será utilizado o mesmo conceito do evaporador produzido pela empresa, entretanto com sua dimensão reduzida visando a redução significativa da carga de fluido refrigerante. Seu dimensionamento será apresentado no relatório 3, conforme previsão.

Como segunda alternativa, foi escolhido um evaporador do tipo placas brasadas na tentativa de contribuir com a redução da massa de refrigerante contida no sistema. Estima-se que será possível uma redução de 60% da massa de fluido no evaporador.

O dimensionamento do evaporador de placas brasadas foi realizado pelo fabricante BRAHEX para as condições de projeto do resfriador, o qual recomendou a utilização do trocador de calor modelo P1, que possui as seguintes especificações:

- capacidade nominal de 2TR;
- Área de troca: 0,46 m²;
- 20 placas para troca;
- Pressão máxima operação de 30 bar;
- Temperatura máxima de operação de 225 °C;
- Material: AISI 316.

Na fig. 3.6 (a) e (b) são apresentados o trocador de calor de placas brasadas e a distribuição do escoamento dentro do trocador, apresentando o seu funcionamento.

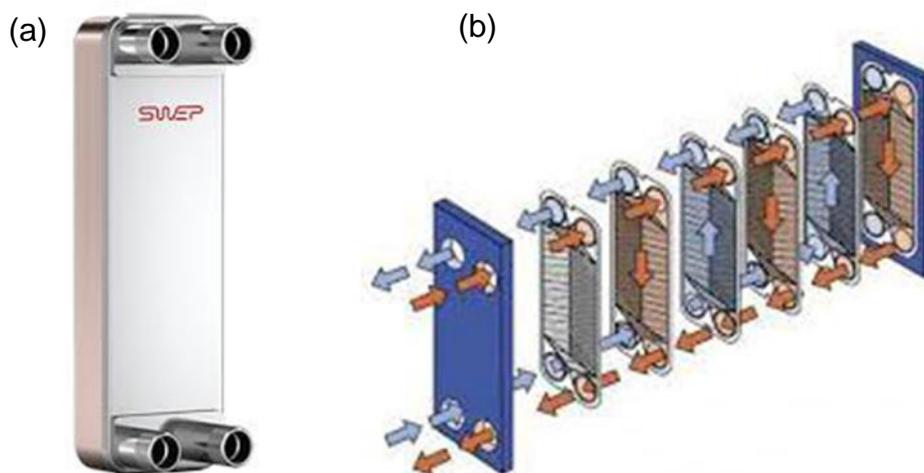


Figura 0.6 – (a) Trocador de calor de placas brasadas e (b) funcionamento do trocador. Fonte: (SWEP, 2018).

Atualmente, o controle da temperatura de evaporação do resfriador de chope é realizado por meio de um pressostato automático do fabricante Danfoss, modelo KP1-060-11. Esse componente opera utilizando um diafragma que aciona um relé e, durante a abertura ou o fechamento do circuito elétrico, há geração de faíscas entre os contatos. Por se tratar de um equipamento de controle, o pressostato opera constantemente e acaba sendo uma fonte potencial de ignição dentro do resfriador, caso exista um vazamento ou uma falha do diafragma (pior cenário).

Caso o fabricante deseje manter esse sistema de controle atual no equipamento, torna-se necessária a utilização de pressostatos liberados para operação com fluidos inflamáveis, e que cumpram com todas as regulamentações aprovadas para zonas ATEX.

A Tabela 3.3 apresenta algumas opções de pressostatos para controle da temperatura de baixa, aprovados para operar com R290, e que cumprem com as regulamentações ATEX. No entanto, devido à baixa disponibilidade atual desse componente no Brasil e ao elevado custo que possui, recomenda-se trabalhar por meio de controle de temperatura utilizando controladores

eletromecânicos ou eletrônicos com relés selados, evitando assim uma fonte de potencial de ignição. A utilização de termostato pode influenciar no tempo de resposta do resfriador, sendo mais lento em relação ao controle por pressão. Em termos econômicos, os termostatos possuem um custo inferior com relação aos pressostatos, cerca de 40% para os eletromecânicos e 10% para os eletrônicos.

Tabela 0.3 - Pressostatos aprovados para ambientes explosivos (ATEX).

Fabricante	Modelo
Danfoss	KP 1E
Emerson	PS4... ATEX

Como o pressostato de alta é um dispositivo de segurança e encarregado de limitar a pressão de condensação do sistema, recomenda-se utilizar um pressostato convencional com conexão ao processo por brasagem. Uma vez que esse componente somente é acionado em situações de mal funcionamento do equipamento, só se tornaria uma fonte de ignição em caso de falha do pressostato e do sistema. Para reduzir ainda mais o risco de utilizar tal equipamento, recomenda-se utilizar um circuito de baixa potência para desligar o compressor, com objetivo de reduzir a probabilidade de geração de faíscas durante o acionamento.

O ventilador do resfriador de chope realiza duas funções de forma simultânea: a circulação de ar para a condensação do fluido refrigerante e o arrefecimento do compressor hermético. Em relação ao motor do ventilador, é possível ser utilizado o mesmo atualmente utilizado pelo fabricante, já que o nível de proteção não precisa ser muito elevado quando a finalidade é unicamente a circulação de ar (MMA, 2015). Caso um maior nível de segurança seja desejado pelo fabricante, recomenda-se a utilização de motores de corrente contínua (C.C.) sem escovas (MMA, 2015), uma vez que, por utilizar um rotor (pás) de plástico, é reduzida a probabilidade de formação de faíscas, caso exista contato com a carcaça.

Além disso, recomenda-se à empresa melhorar o suporte do ventilador com objetivo de reduzir a probabilidade de travamento do rotor. Uma alternativa para melhorar esse inconveniente é a utilização de uma chapa metálica da mesma

espessura que a do chassi do resfriador para o suporte do ventilador, melhorando assim a rigidez desse componente. Outra alternativa seria a alteração da orientação do conjunto ventilador-condensador, passando de horizontal para vertical que, simultaneamente, pode influenciar de forma positiva o desempenho desse componente (Adler, 2015).

Recomenda-se que os empalmes elétricos sejam realizados dentro de um invólucro selado (ABNT, 2006), substituindo os empalmes de torsão por componentes elétricos que cumpram com o requerimento mínimo de força (ABNT, 2006; True, 2016). Isto para minimizar o risco de criar uma fonte de ignição por mau contato ou perda do ajuste no empalme.

3.3. Avaliação do impacto ambiental do resfriador a ser convertido

A avaliação do impacto ambiental do resfriador de chope será realizada utilizando a metodologia TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*). Essa metodologia relaciona os impactos gerados pelo sistema de refrigeração em kg de CO₂ equivalente. O TEWI está dividido em duas parcelas: a primeira, relacionada às emissões diretas, que são causadas pelo vazamento do fluido refrigerante à atmosfera; a segunda, relacionada com as emissões indiretas devido à geração de CO₂ durante a operação e o final da vida útil do equipamento. O TEWI de um equipamento é calculado por meio da Eq. 3.2.

$$TEWI = GWP m L_{anual} n + GWP m (1 - \alpha_{rec}) + E_{anual} \beta n \quad (3.2)$$

Onde:

GWP: Potencial de aquecimento global do fluido refrigerante relativo ao CO₂ a 100 anos;

m: Carga de fluido refrigerante no sistema (kg);

L_{anual}: Taxa de vazamentos anual (%/100);

n: Vida útil do sistema (anos);

α_{rec}: Fator de recuperação, reciclagem do fluido (0 - 1);

E_{anual}: Consumo de energia anual (kWh);

β: Fator de emissões indiretas

Para realizar uma análise justa do TEWI de cada um dos resfriadores foram realizadas as seguintes considerações:

- Para o valor do GWP₁₀₀ toma-se o valor da quinta avaliação (AR5);
- Por possuírem capacidades em condições de operação similares, os sistemas operam a mesma quantidade de horas por dia, igual a 8 horas;
- O fator de recuperação para o propano é zero, pois durante manutenções feitas em sistemas que operam com HCs, convencionalmente não é realizado o recolhimento (AHAM, 2017);
- Considera-se que os sistemas possuem vida útil similares, igual a 7 anos.

Os dados de GWP para o cálculo do TEWI dos fluidos em análise é listado na Tabela 3.4.

Tabela 0.4 - Valor de GWP dos fluidos refrigerantes. Fonte: (MMA, 2017)

Fluido refrigerante	GWP ₁₀₀ (kgC02)
R22	1760
R290	3

Sabe-se, por conhecimento técnico da empresa, que o resfriador que opera com R22 utiliza uma carga de fluido refrigerante de 1.200 g. A massa do resfriador de R290 foi estimada utilizando um fator de ajuste que relaciona a carga de R290 com a de R22, para uma dada aplicação, de 0,41 (GTZ/Proklima), 2007; (MMA),2015). Assim, a massa equivalente de R290 para essa aplicação é 492 g.

A taxa de vazamento anual para diferentes tipos de sistemas foi classificada pela AIRAH (2012). O resfriador de chope em análise é um sistema de refrigeração do tipo *self-contained*, para o qual a taxa de vazamento corresponde a um valor de 2%. Foi utilizado como fator de recolhimento do sistema de R22 o valor 70% (MMA, 2015) e 0% para o sistema com R290.

Em relação ao fator de emissões indiretas, que se encontra diretamente relacionado à matriz energética brasileira, foi o correspondente a 0,065

kWh/kgCO₂ (MMA, 2017). A energia consumida pelo resfriador foi calculada a partir da potência líquida, compressor mais ventilador, para o qual foi assumido um tempo de operação de 8 horas por dia.

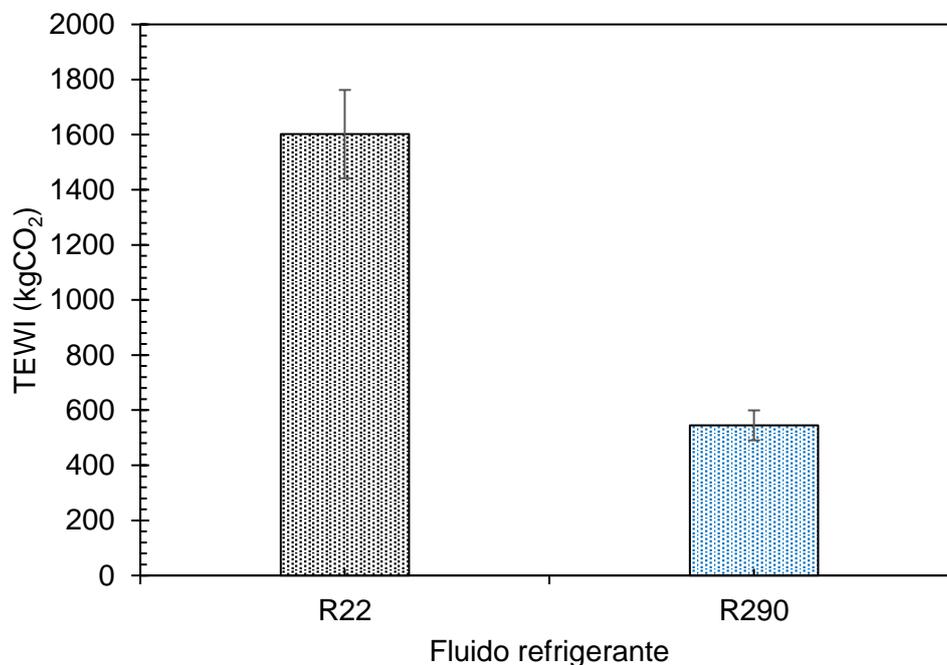


Figura 0.7 - Valores calculados de TEWI para o resfriador de R22 e de R290.

A Fig. 3.7 apresenta o valor obtido no cálculo do TEWI dos sistemas em análise. Assim, se a conversão de R22 para R290 é realizada, o impacto ambiental do equipamento é significativamente reduzido. Isto é possível de ser afirmado uma vez que a diferença entre o TEWI do R22 e do R290 está acima do 10% de incerteza, conforme recomendado pela AIRAH (2012) para análises comparativas.

3.4. Local de carga de fluido frigorífico

Na Fig. 3.8 é apresentado o layout que descreve a distribuição de todas as áreas da empresa. As linhas amarelas representam os limites não físicos de cada uma das áreas. Além disso, pode ser observado que a área de refrigeração, local de montagem e carga dos sistemas frigoríficos, é o único meio de passagem entre o lado direito e esquerdo da empresa. Isto faz com que todos

os trabalhadores da empresa, qualificados ou não, passem por essa área para se deslocar de um setor a outro. Nesse sentido, recomenda-se a implementação de uma divisão física adequada, que permita isolar e restringir o acesso de pessoal não qualificado de forma eficiente.

Todas as pessoas que têm acesso à zona de carga devem possuir treinamento necessário e conhecimento dos procedimentos que ali se desenvolvem.

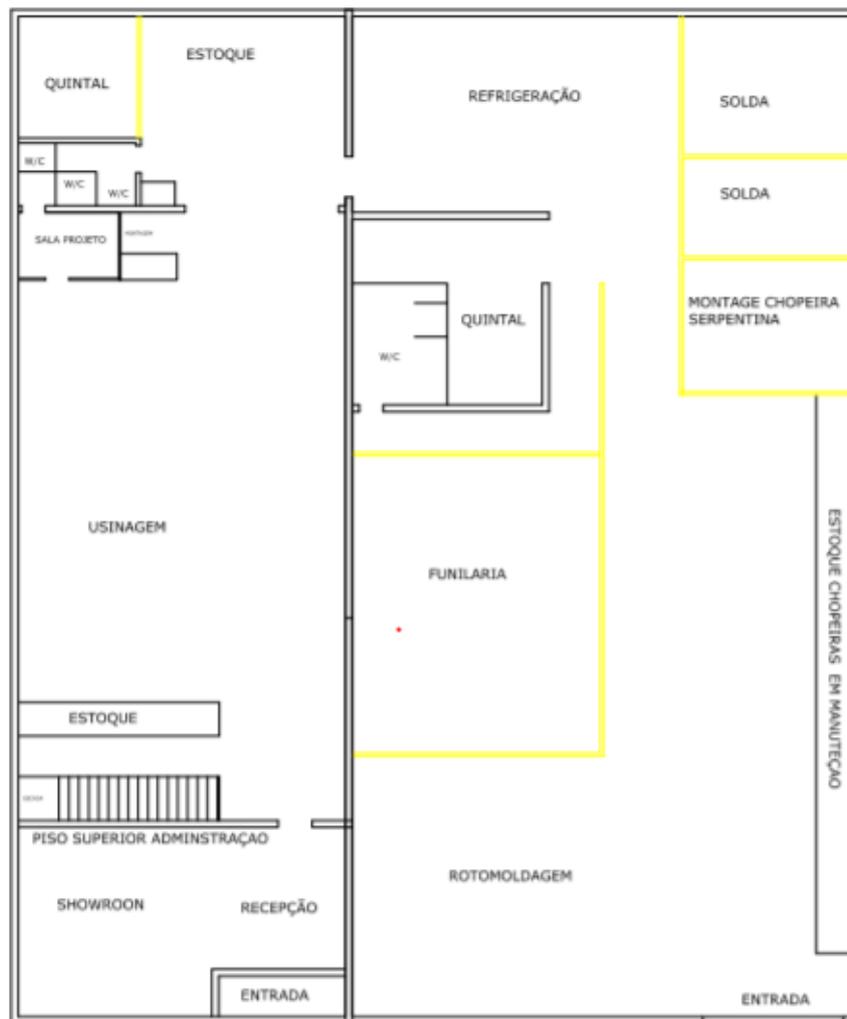


Figura 0.8 - Layout da empresa Ccitti. Fonte: Ccitti.

A área de soldagem utiliza o processo MIG/MAG, que, em operação convencional, produz faíscas que podem ser entendidas como fontes constantes de ignição em caso de vazamentos de grande escala. Nesse caso, recomenda-

se a separação física das duas áreas utilizando uma divisória. Adicionalmente, para maior segurança, as duas áreas de soldagem poderiam ser afastadas.

A área de trabalho destinada para refrigeração possui ventilação natural e um telhado relativamente baixo, com aberturas para a entrada do ar. Apesar disso, após a modificação das divisões mencionadas anteriormente, recomenda-se a utilização de um sistema de ventilação. Esse deve garantir que, caso exista um vazamento, ou uma mistura potencialmente inflamável (que esteja a uma concentração dentro dos limites superior e inferior de inflamabilidade), esta seja dispersada em segundos.

O MMA (2015) descreve o layout da área de serviços/repares para áreas de produção de baixa escala e departamentos de serviço/manutenção, para os quais menciona algumas considerações de segurança, de modo que um ambiente de trabalho seguro seja garantido. O layout da área de serviços/repares é apresentado na Fig. 3.9 e, dado que a empresa Ccitti se encaixa no perfil de baixa produção, recomenda-se a adoção desse layout para a área de trabalho. É importante destacar que deve ser realizada uma análise de risco do projeto da área e que todas as normas de segurança devem ser aplicadas antes de a área ser implementada. Se aplicável, a área deve ser avaliada e aprovada pelo corpo de bombeiros da cidade ou autoridade responsável.

O layout apresenta duas áreas, uma destinada à montagem dos equipamentos e outra para a carga do sistema (classificada como área perigosa). Todas as áreas devem estar corretamente limitadas por meio de linhas amarelas visíveis e com a sinalização necessária (normas pertinentes), por exemplo: adesivos de gás inflamável, área restrita, proibido fumar etc.

Dentro das áreas devem ser instalados sensores detectores gás, de preferência do tipo infravermelho (uma vez que outros fluidos além dos HC são utilizados no mesmo local). Os sensores devem ser instalados em locais estratégicos, em que haja maior probabilidade de vazamento e concentração de gás. Alguns lugares para a localização dos detectores são, por exemplo, as partes baixas da área de carga e serviço (uma vez que o propano possui menor massa específica em relação ao ar), as coifas de exaustão, e outras. Se utilizada uma máquina de carga de fluido, esta deve possuir um detector acoplado a um

sistema de segurança, de forma que seja cortada a alimentação de fluido inflamável em caso de vazamento.

Ambas as oficinas de trabalho devem possuir um sistema de exaustão que garanta uma ventilação adequada e uma coifa invertida (especializada para a aplicação), por cada bancada de trabalho. Essas ajudarão a evitar a formação de uma atmosfera explosiva localizada. Cada coifa deve possuir um detector de gás, que aumente a vazão de ar do sistema de ventilação no caso de um vazamento que leve à formação de uma mistura inflamável. Pelo menos 50% da vazão de entrada de ventilação deve ser tomado no nível do piso e pontos inferiores ao redor das áreas com maior potencial de vazamento (MMA, 2015).

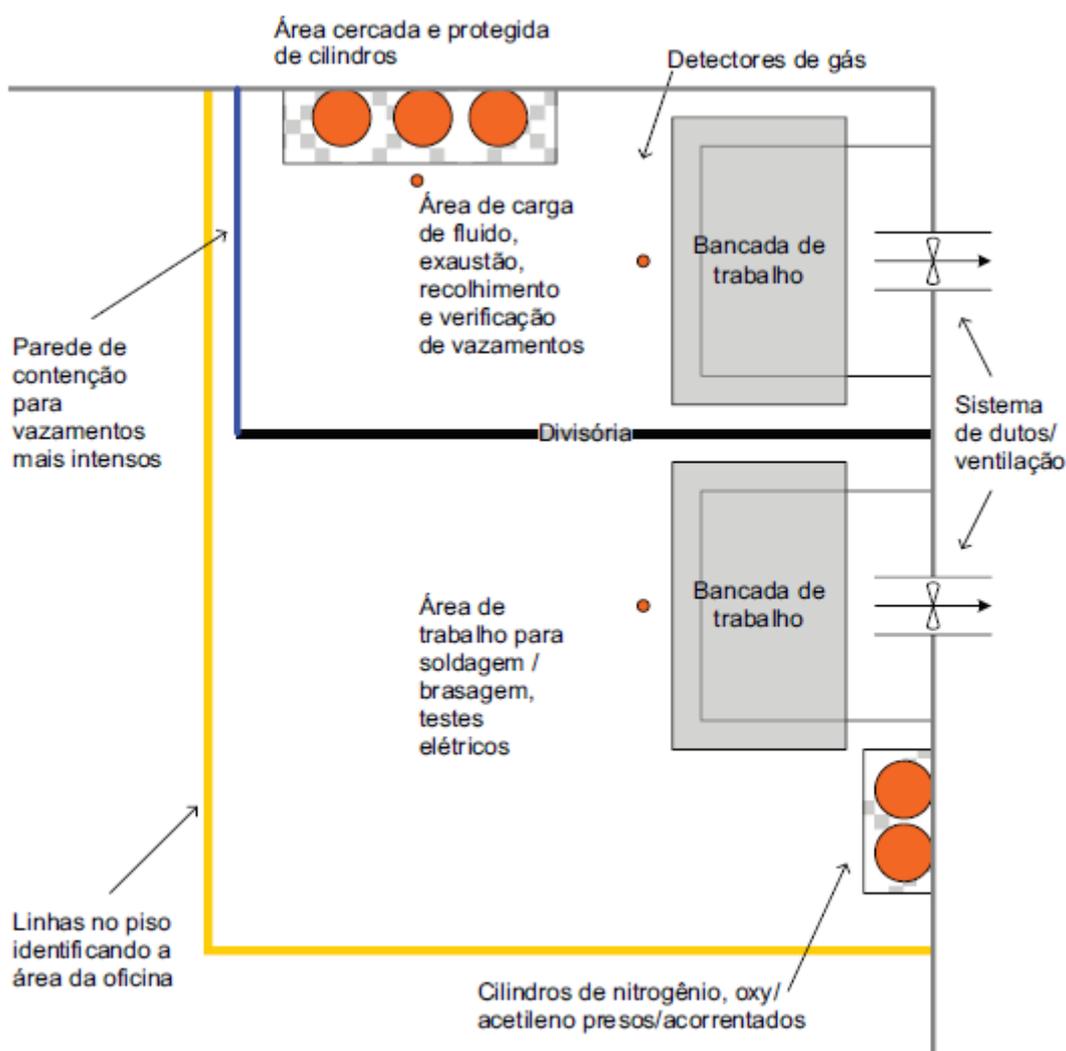


Figura 0.9 -Layout para uma área de serviço/reparo. Fonte: (MMA, 2015).

Os cilindros pressurizados contendo fluido inflamável utilizados na área de carga devem estar corretamente localizados e ancorados ou cercados, seguindo estritamente as normas de segurança. No local de carga, somente os cilindros que estejam em uso podem ser armazenados. Sob nenhuma circunstância podem estar presentes cilindros completamente vazios (em espera de reposição) ou cheios (de reserva). Esses devem ser armazenados em um local destinado e projetado para essa aplicação. Isso também se aplica para o sistema de oxi-acetileno. Algumas indicações referentes ao local, o projeto e o armazenamento de cilindros pressurizados contendo fluido inflamável podem ser encontradas em: (MMA, 2015), (Narayan, 2011), e normas nacionais como a NBR 15514 (ABNT, 2008).

MMA (2015) recomenda a construção de uma parede de contenção com portão ao redor da área de carga, de 0,5 a 1,0 m de altura, para o caso de vazamentos intensos. Levando em consideração essa medida de precaução, recomenda-se que as tomadas elétricas e interruptores estejam localizadas acima dessa altura, ou seja, entre 1,20 e 1,30 m do piso acabado (valores adotados de forma convencional para tomadas com altura média). Recomenda-se ainda que todos os componentes elétricos a serem instalados sejam no mínimo aprovados para zonas tipo 2.

Com o objetivo de reduzir o risco existente dentro da área de carga de fluido, deve-se desenvolver um estudo em relação às cargas eletrostáticas, que, quando acumuladas, podem gerar faíscas e se tornarem uma fonte potencial de ignição. Para isso, deve ser realizado um projeto elétrico no qual seja estudado o aterramento de todos os componentes e equipamentos presentes na área. Os componentes com materiais condutores de eletricidade que estejam aterrados por meio de estruturas, uniões não permanentes e soldas devem apresentar uma resistência menor do que 10 Ohm, de acordo com a NBR 14639:2001.

3.5. Conformidade do resfriador com a Norma EN-378

Os itens 1, 2, 3 e 4 da Norma EN-378-1:2017-03 (DIN, 2017) compreendem o escopo das Normas de referência, os termos e definições para o entendimento da Norma e os símbolos e abreviaturas utilizadas.

O item 5 concerne à classificação dos sistemas de refrigeração.

Concernente à acessibilidade (subitem 5.1) do sistema de refrigeração de acordo com a ocupação do local, o resfriador de chope é classificado na categoria de “**a - Acesso geral**”. Uma vez que deve ser possível utilizá-lo em qualquer localidade, com acesso a pessoas que não possuam treinamento algum em relação à segurança.

Em relação à designação e classificação de segurança do fluido refrigerante utilizado no sistema (subitem 5.2), o fluido R290 é classificado como “**A3**” (Não tóxico e altamente inflamável) conforme indicado pelo ANEXO E, Tabela E.1 da Norma.

Quanto à localização do sistema de refrigeração (subitem 5.3), o resfriador de chope é um sistema em que todas as suas partes mecânicas e a totalidade da carga de fluido refrigerante estão localizadas dentro de um espaço ocupado. Nesse sentido, a Norma classifica esse tipo de sistemas como “**Classe I**”.

O subitem 5.4 classifica os sistemas de refrigeração de acordo com o método de extração ou adição de calor, sendo diretos ou indiretos. O resfriador em análise, por possuir os trocadores de calor em contato direto com o objeto a ser resfriado, é classificado como “**Sistema direto**”.

O tipo de sistema que pode ser utilizado, e a quantidade máxima de carga de fluido refrigerante (item 6), está definida conforme o ANEXO C da Norma, em função da inflamabilidade e da toxicidade do fluido refrigerante.

De acordo com a Tabela C.1 da Norma, para um fluido da classe “**A3**”, com categoria de acesso “**a**” e classificação quanto à localização “**I**”, a área mínima para o resfriador operar, baseada na toxicidade do fluido refrigerante, deve ser 2,73 m².

E, de acordo com a Tabela C.2 da Norma, para um fluido da classe “**A3**”, com categoria de acesso “**a**” e classificação quanto à localização “**I**”, são permitidos apenas sistemas de refrigeração selados, com limitação de área mínima de aplicação de 32,37 m² (assumindo o valor estimado de carga de fluido refrigerante do sistema sem modificações operando com propano, de 0,492 kg, e uma altura média do local de 2 m).

Espera-se que, com as medidas tomadas na fase de redimensionamento do resfriador (item 3.1.2 do presente relatório) para a redução da carga de fluido refrigerante, a carga do sistema esteja abaixo do valor encontrado e, assim não possua restrição alguma em relação ao local de operação.

O valor definitivo da carga de fluido só poderá ser definido após a realização da fase de teste do protótipo (etapa futura deste projeto).

Os itens 1, 2, 3 e 4 da Norma EN 378-2:2017-03 (DIN, 2017) refere-se ao escopo, normas de referências, termos, definições e abreviações para o entendimento da Norma e perigos significativos relacionados à maquinaria. O item 5 refere-se aos requerimentos de segurança especificados para os componentes e tubulação do sistema.

O subitem 5.1.2 define que o sistema e os seus componentes devem ser projetados a fim de eliminar possíveis danos a pessoas, propriedade e meio ambiente. Do item 5.1.2, destaca-se que *“deliberate discharge of refrigerants shall only be permitted in a manner which is not harmful to persons, property and the environment and in accordance with national laws”* (DIN, 2017). Isto faz com que o resfriador em análise, convertido para operar com propano em ambientes ocupados, não deve permitir a descarga do fluido refrigerante de forma intencional, devido à possível formação de ambientes explosivos.

Sendo assim, a utilização de dispositivos de segurança contra sobrepressão, tais como discos de rotura ou válvulas de segurança, não é permitida.

O item 5.2 se refere aos requerimentos de segurança para componentes e tubulações. No subitem 5.2.1, são listadas as normas relacionadas aos componentes atuais do sistema (ver tabela 3.5).

Tabela 0.5 - Normas relacionadas aos componentes utilizados no resfriador de chope.

Componente	Normas relacionada e requerimentos
Trocador de placas	EN 14276-1 ou EN 134545, se aplicável, combinado com o item 5.2.2.
Coletores e serpentinas com ar como fluido secundário	EN 14276-2 combinado com o item 5.2.2.

Filtro secador	EN 14276-1 ou EN 13445, se aplicável, combinado com o item 5.2.2.
Compressor hermético	EN 60335-3-34, EN 60235-2-34 ou EN 12693.
Tubulação	EN 14276-2 ou EN 13480
União permanentes	EN 14276-2
Dispositivos interruptores de segurança para limitação da pressão	EN 12263 combinada com o item 5.2.2.2.
Válvula de seccionamento	EN 12284
Materiais de solda e de brasagem	Item 5.3.1.3 e), f).

Com relação à estanqueidade do sistema, no item 5.2.2.1, a empresa não realiza testes de vazamento sobre cada componente individual.

O item 5.2.2.3 refere-se às uniões da tubulação do sistema, que são permanentes e são realizadas para suportar as condições de trabalho do sistema.

O item 6 concerne aos requerimentos para montagens. O subitem 6.1 apresenta as indicações gerais, e o subitem 6.2 dá as indicações para o projeto e construção do equipamento.

A determinação da pressão máxima permissível do sistema está dada no item 6.2.2. De acordo com a Norma, para sistemas com carga de fluido limitada deve ser seguida a condição de comportamento isocórico, no entanto, como a carga do sistema não é conhecida, nem o volume interno líquido do resfriador é conhecido, optou-se por utilizar a temperatura saturada fornecida pela Tabela 2 da Norma, para uma condição extrema de operação. A máxima temperatura de saturação admissível para a linha de alta do sistema é de 59°C (20,72 bar manométrico para o R290 ou 2072 kPa), e foi determinada por meio da tabela 2

da Norma, para uma condição ambiental de 38°C e um equipamento com condensação a ar.

O item 6.2.2.2 especifica todos os componentes selecionados para operar a uma pressão admissível maior que à acima definida para o sistema de refrigeração. Nesse sentido, na tabela 3.6 é apresentada uma lista com os componentes e a pressão admissível, conforme definida pelo fabricante. Na tabela 3.7 é apresentada uma lista da tubulação de cobre utilizada, comparando com a pressão permissível. Conforme apresentado pelas tabelas, o único componente para o qual não é conhecida a pressão máxima permissível é o *cooler* ou evaporador, fabricado pela Ccitti.

Sendo assim, recomenda-se ao fabricante a determinação desse parâmetro a fim de garantir uma operação segura do sistema. Para a determinação da pressão máxima permissível recomenda-se seguir a Norma NBR 13598 de vasos de pressão para refrigeração em vigor.

Tabela 0.6 - Verificação de cumprimento da pressão máxima permissível de cada componente do sistema.

Componente	Fabricante/ Modelo	PS componente (bar)*	PS sistema de refrigeração (item 6.2.2)	Concordância
Compressor	EMBRACO/ NEU6181U	20,8	20,72	Ok
Filtro secador de líquido	Danfoss/ DML032	30	20,72	Ok
Trocador de calor de microcanal	BRAHEX/ B1	30	20,72	Ok
Trocador de placas	BRAHEX/ PHE-P1	30	20,72	Ok
Cooler	Ccitti/ -	Não conhecida	20,72	Não testado.
Pressostato de alta	Danfoss/	45	20,72	Ok

*Valores fornecidos nos catálogos dos fabricantes.

Tabela 0.7 - Verificação de cumprimento da pressão permissível para a tubulação do sistema.

Tubulação	Diâmetro nominal Polegadas (mm) ^a	Temperatura de operação (°C)	Pressão permissível (bar) ^{b, c}	Concordância
Descarga	1/4"	Max 100	77,56b	Ok
Líquido	1/4"	~59	77,15	Ok
Sucção	3/8"	<59	67,84	Ok

^a Tubulação de 1/4" recozida com espessura de 0,030 pol (0,8 mm). Tubulação de 3/8" com espessura de 0,032 pol (0,812 mm).

^b Pressão permissível à temperatura de operação para tubos de cobre recozidos, tomado para levar em conta a utilização de brasagem método de união permanente.

^c Fonte: Tabela 14.3e (CDA, 2016).

Por ser um sistema de refrigeração de pequeno porte, além de possuir um fluido que não pode ser drenado fora do sistema em caso de incêndio, de acordo com o item 6.2.2.3, a única alternativa é minimizar a carga de fluido no sistema.

O item 6.2.3 refere-se à tubulação do sistema. O resfriador de choque encontra-se em concordância com o item 6.2.3.1, por possuir toda tubulação de forma inacessível dentro de uma carenagem.

O item 6.2.3.2 refere-se às uniões e acoplamentos entre as tubulações. O subitem 6.2.3.2.2, concerne às uniões permanentes e é aplicado, já que são utilizados no processo os materiais e as ferramentas adequadas.

O subitem 6.2.3.2.3, concernente a uniões não permanentes, não se aplica por se tratar de um sistema selado que não permite esse tipo de componente.

O item 6.2.3.3 que indica os requerimentos para tubulação montada diretamente no local não se aplica, pois, toda a tubulação do sistema é montada dentro da fábrica.

O item 6.2.3.5 referente à drenagem do sistema não se aplica por se tratar de um sistema selado, como indicado pela Norma em *"refrigerating systems other than sealed systems shall have the necessary shut-off devices and/or connection facilities in order to enable the compressor of the system or external evacuation devices to transfer refrigerant and oil from the system to internal or*

external receivers.” (DIN, 2017). No entanto, o resfriador não deve possuir dispositivos de dreno nem portas de acesso ao sistema.

O item 6.2.4 relacionado a dispositivos de corte não se aplica, pelo item 6.2.3.3, que afirma que um sistema selado não necessita possuir o tipo de dispositivos mencionados pelos subitens 6.2.4.1, 6.2.4.2, 6.2.4.3, 6.2.4.4 e 6.2.4.5.

O item 6.2.5 relaciona-se com os dispositivos de proteção do sistema.

Para estar em concordância com o item 6.2.5.2.1 da Norma, o sistema em análise deve possuir um pressostato eletromecânico de alta, configurado para aliviar a pressão desligando o compressor a uma pressão levemente abaixo do limite definido no item 6.2.2 (utilizado unicamente para proteção).

O item 6.2.6 trata sobre a aplicação dos dispositivos de proteção. O subitem 6.2.6.2 define a proteção contra sobrepressão do sistema, com exceção em caso de incêndio, conforme indicado pelas Figuras 3.10, 3.11, e 3.12. A parte C da figura da Norma não se aplica por tratar-se de bombas de calor. Assim, a utilização do pressostato de segurança utilizado na Norma encontra-se em concordância com o presente item.

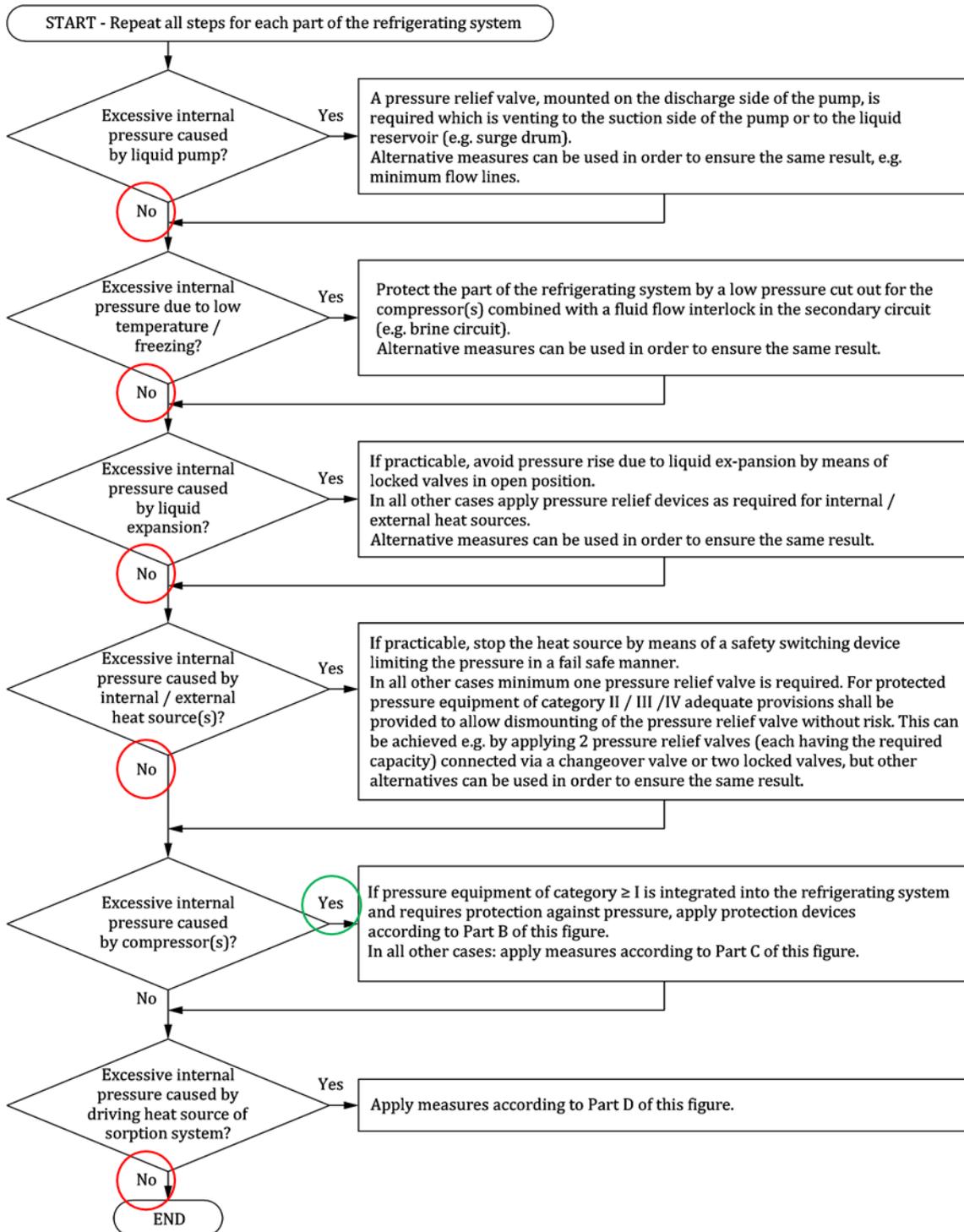
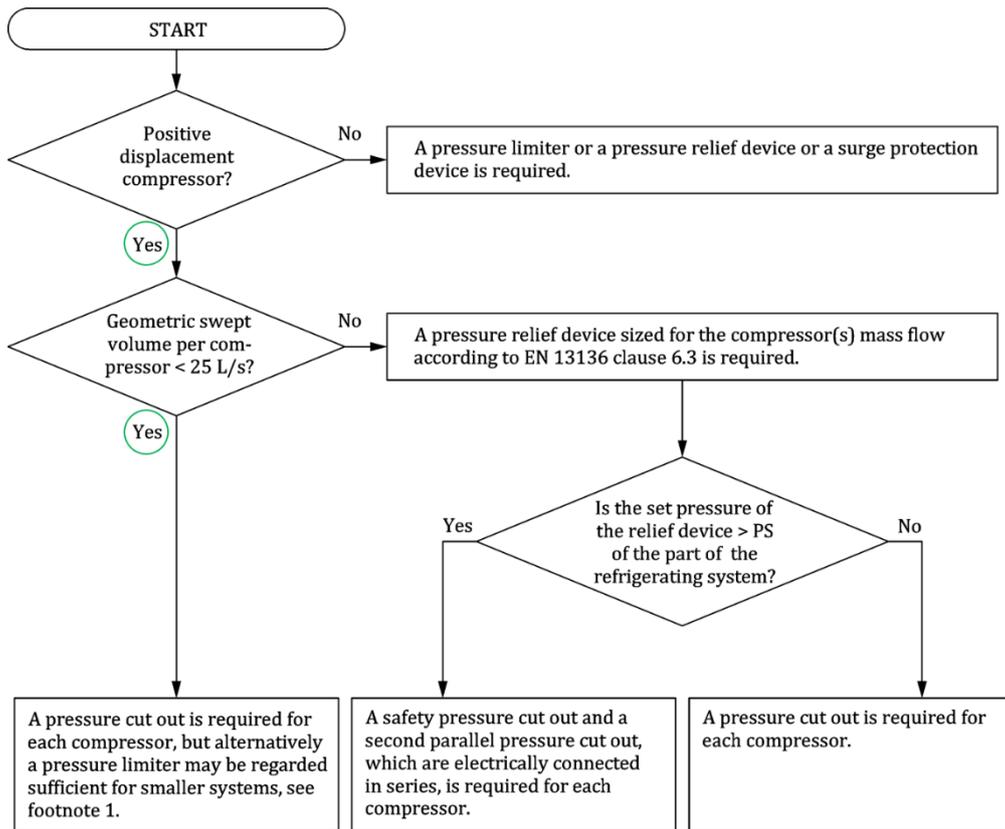


Figura 0.10 - Proteção do sistema contra pressão excessiva: Parte A.
Fonte: (DIN, 2017).



FOOTNOTE 1 for smaller systems with refrigerant charge less than 100 kg safety class A1 or 30 kg safety class A2L or 5 kg safety class A2 / A3, a pressure limiter is regarded sufficient provided the automatic reset does not lead to an increased safety risk. (OK)

Figura 0.11 - Proteção do sistema contrapressão excessiva, parte: B. Fonte: (DIN, 2017).

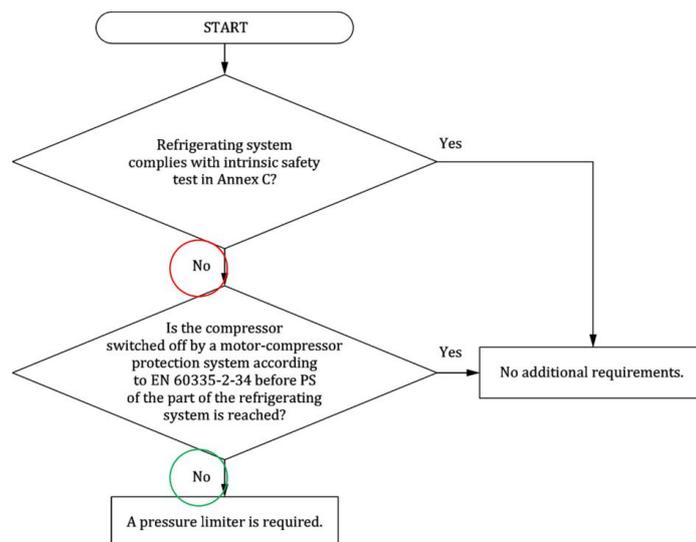


Figura 0.12 - Proteção do sistema contrapressão excessiva, parte C. Fonte: (DIN, 2017).

O item 6.2.6.3 não se aplica para o resfriador pois o sistema não utiliza sistemas de alívio de pressão entre as linhas de alta e baixa. De forma similar o item 6.2.6.4. que não se aplica, pois, o sistema em análise é selado e não utiliza dispositivos de alívio de pressão. Idem para os itens 6.2.6.5 e 6.2.6.6.

O item 6.2.7, referente ao monitoramento e instrumentos de medição, não se aplica, uma vez que não são necessários sensores de pressão para sistemas contendo uma carga de fluido abaixo de 10 kg (item 6.2.7.2), indicadores de nível em sistemas com carga menor que 2,5 kg de fluido refrigerante A3 (item 6.2.7.3).

O item 6.2.8 refere-se ao projeto do sistema contra o retorno de líquido no compressor. Esse item encontra-se em concordância, pois o evaporador do resfriador, simultaneamente, funciona como acumulador de sucção.

O item 6.2.9 impõe os requerimentos elétricos de projeto do sistema, e recomenda-se ao fabricante avaliar o cumprimento de cada um dos componentes assim como a parte elétrica realizada no sistema com a Norma EN 60335. A tabela 3.8 apresenta os componentes elétricos do resfriador, e a sua conformidade com a Norma relacionada (a conformidade ou não, é dada no catálogo do fabricante).

Tabela 0.8 - Conformidade dos componentes elétrico e eletromecânicos com o item 6.2.9.

Componente	Fabricante/Modelo	Conformidade
Compressor	EMBRACO/ NEU6181U	Ok ^a
Pressostato de alta	Danfoss/	Ok ^b
Ventilador de circulação	ELGIN	A ser verificado pela empresa.

^a Fonte: Catálogo do fabricante;

^b Fonte: Catálogo do fabricante.

O item 6.2.10, proteção contra superfícies, só é aceito desde que o resfriador cumpra com o item 6.2.14, devido ao tipo de fluido refrigerante A3 com que opera.

O item 6.2.11, proteção em relação a partes móveis, encontra-se em concordância com a Norma, pois, a única parte móvel do resfriador, o ventilador, encontra-se contido dentro da carenagem.

Os itens 6.2.12 e 6.2.13 referentes aos testes de vibração e de queda, não se encontram em concordância, uma vez que a empresa não realiza esse tipo de ensaios.

O item 6.2.14 determina os requerimentos quanto à proteção ou ao risco de chama ou explosão. Em concordância com o primeiro parágrafo da Norma, todos os componentes que contêm fluido refrigerante estão contidos dentro da carenagem, que se encontra ventilada. Isto reduz o risco da formação de uma atmosfera explosiva dentro do sistema.

Além disso, o sistema é completamente hermético e, para maior segurança do equipamento, recomenda-se que o ventilador seja do tipo CC sem escovas, e que o pressostato (componente que em caso de falha pode funcionar como fonte de ignição) de alta cumpra com os requerimentos para zonas ATEX classe 2.

A tabela K.1 da presente Norma apresenta os tipos de fontes de ignição mais relevantes para a avaliação de um sistema de refrigeração e são descritos a continuação:

- Superfícies quentes: de acordo com a tabela E.1 da primeira parte da Norma (DIN, 2017), o propano possui uma temperatura de autoignição de 470 °C, nesse sentido, nenhum dos componentes contidos dentro da carenagem do resfriador está exposta a superfícies com esse nível de temperatura. No entanto, a verificação quanto a superfícies quentes dentro do equipamento pode ser testada no protótipo a ser estudado;
- Chamas e gases quentes: não se apresentam como fontes de ignição pois o sistema não opera nem é exposto a ambientes contendo esse tipo de fontes de ignição;
- Faíscas geradas por componentes mecânicos durante operação: são evitadas por meio de um correto alinhamento das pás do ventilador e pela utilização de pás de plásticos (sendo as únicas partes móveis);

- Aparelhos elétricos: se removido, o pressostato de controle de baixa que abre e fecha o circuito constantemente, o resfriador não possuirá aparelhos que se apresentem como fonte potencial de ignição, uma vez que o pressostato de alta não opera nas condições normais de operação. Outra opção é a utilização de um controlador de temperatura eletrônico como alternativa para o pressostato de baixa;
- Proteção catódica e correntes parasitas: a Norma não considera como relevantes durante operação nas condições normais;
- Iluminação: Caso o fabricante deseje utilizar algum tipo de iluminação na carenagem do resfriador, recomenda-se utilizar iluminação LED, alimentada com fontes DC completamente seladas.

Além do que foi mencionado, recomenda-se ao fabricante realizar testes de simulação de vazamento de acordo com o anexo I da presente Norma, para assim verificar que a localização dos componentes, que se apresentem como fonte de ignição, seja a mais favorável.

O item 6.3 concerne aos testes a serem realizados no sistema, que são: resistência a pressão, estanqueidade, funcionamento de dispositivos de segurança e de conformidade. Recomenda-se estritamente à empresa realizar os testes mencionados em cada equipamento produzido.

O item 6.4, marcação e documentação do sistema, deve ser seguido estritamente pelo fabricante para a comercialização do equipamento.

Destaca-se que o resfriador deve possuir o símbolo que indique que o sistema trabalha com fluido altamente inflamável e deve ser localizado tanto pela parte exterior (Operador) como no interior (Manutenção). Algumas referências da marcação em relação a utilização de propano podem ser encontradas em (MMA, 2015; Narayan, 2011; AHAM, 2017; True, 2016).

Quanto à marcação do resfriador de chope, deve ser acrescentada uma placa de identificação do sistema contendo as seguintes informações (Fonte: DIN, 2017 p51):

- Nome e endereço do fabricante e, quando aplicável, o nome e o endereço do representante autorizado;

- Modelo, número de série e referência;
- Ano de fabricação;
- Número e designação do fluido refrigerante contido no equipamento;
- Carga de fluido;
- Pressão máxima e operação;
- Sinal de aviso de substância inflamável, conforme mencionado anteriormente;

De acordo com o item 6.4.3, deve ser desenvolvida a documentação necessária quanto à instalação (item 6.4.3.1) e ao manual de instruções (item 6.4.3.2).

3.6. Avaliação de risco de vazamento do resfriador de chope

A avaliação de risco, identificando as possíveis falhas que possam levar ao vazamento de fluido frigorífico durante as condições de operação normal, desligado e em serviço/manutenção, são apresentados nas Tabelas 3.9 a 3.13.

Tabela 0.9 - Análise de falhas do compressor.

Componente	Compressor			
Condição	Modo	Causa	Medidas de controle do risco	Consequência
Operação	Quebra das uniões permanentes (sucção e descarga)	Vibração excessiva	Utilizar coxins amortecedores	Vazamento de fluido inflamável
			Utilizar estrutura rígida	
		Pressão elevada de descarga	Limpar o condensador (evitar incrustações)	
			Utilizar pressostato de segurança na linha de alta	
Obstrução do tubo capilar	Checar se a linha de alta possui volume para armazenar a totalidade do fluido refrigerante			
Desligado	Incremento da pressão interna	Incêndio	(-)	Vazamento de fluido inflamável

	causa de fonte externa			
Serviço/ Manutenção	Quebra do vidro de isolamento dos pinos elétricos	Teste de vazamento com pressão acima de 16 bar	Realizar teste de vazamento a menores pressões	Vazamento de fluido inflamável Probabilidade de curto elétrico por perda do isolamento entre os pinos
	Vazamento entre a carcaça e a tubulação de descarga	Calor excessivo na sucção e descarga durante a instalação	Realizar boas práticas de refrigeração	Debilitação da junta e possível vazamento de fluido durante a operação

Tabela 0.10 - Análise de falhas do pressostato de segurança.

Componente	Pressostato de segurança			
Condição	Modo	Causa	Medidas de controle do risco	Consequência
Operação	Defeito no diafragma do dispositivo	Fadiga	Evitar o acionamento cíclico do dispositivo	Vazamento de fluido com possível fonte de ignição próxima (no relé elétrico do circuito)
			Utilizar dispositivos aprovados para operar em atmosferas explosivas	
			Limpar preventivamente o condensador	
Desligado	(-)	(-)	(-)	(-)
Serviço/ Manutenção	Vazamento na união com o processo	União não permanente; Brasagem incorreta	Realizar teste de vazamento; Usar componentes com união permanente	Vazamento de fluido inflamável
	Vazamento nas uniões realizadas pelo fabricante	Calor excessivo na instalação (brasagem)	Realizar boas práticas de refrigeração	Debilitação da junta e possível vazamento de fluido inflamável durante operação

	Defeito de fábrica	(-)	Realizar teste de operação	Possível vazamento em operação
--	--------------------	-----	----------------------------	--------------------------------

Tabela 0.11 - Análise de falhas do condensador.

Componente	Condensador microcanal			
Condição	Modo	Causa	Medidas de controle do risco	Consequência
Operação	Falha nas uniões ao processo e no trocador	Fadiga térmica	Realizar teste de pressão;	Vazamento de fluido
		Pressão acima da pressão máxima admissível do sistema	Utilizar pressostato de segurança	Vazamento imediato
	Em caso de falha do pressostato, utilizar linha de alta com volume para armazenar a totalidade do fluido refrigerante;			
	Processo	Obstrução do dispositivo capilar	Realizar boas práticas de refrigeração (brasagem com nitrogênio) Realizar correta desidratação do sistema;	Possível vazamento por pressão excessiva.

			Utilizar pressostato de segurança e, em caso de falha, a linha de alta possui volume para armazenar a totalidade do fluido refrigerante	
	Corrosão	Corrosão galvânica	Realizar isolamento elétrico do condensador	Vazamento com desenvolvimento no longo prazo
Desligado	(-)	(-)	(-)	(-)
Serviço/ Manutenção	Vazamento na união com o processo	União não permanente ou Brasagem incorreta	Realizar testes de vazamento e de pressão	Vazamento de fluido inflamável durante a operação
	Vazamento nas uniões realizadas pelo fabricante	Calor excessivo na instalação (brasagem)	Realizar boas práticas de refrigeração	Debilitação da junta e possível vazamento de fluido inflamável durante a operação

Tabela 0.12 - Análise de falhas do tubo capilar.

Componente	Tubo capilar				
Condição	Modo	Causa	Medidas de controle do risco	Consequência	
Operação	Falha nas uniões do tubo com a tubulação	Fadiga térmica	Realizar teste de pressão	Vazamento de fluido	
		Pressão acima da pressão máxima admissível do sistema	Utilizar pressostato de segurança		
			Em caso de falha do pressostato, a linha de alta possui volume para armazenar a totalidade do fluido refrigerante		
	Obstrução	Umidade dentro do sistema		Realizar correta desidratação do sistema durante a montagem ou manutenção	Vazamento de fluido por pressão excessiva dentro do sistema
				Utilizar filtro secador	
				Realizar testes de desempenho	
Particulado		Realizar boas práticas de refrigeração			
	Realizar testes de desempenho				
			Realizar testes de desempenho		

Desligado	(-)	(-)	(-)	(-)
Serviço/ Manutenção	(-)	(-)	(-)	(-)

Tabela 0.13 - Análise de falhas do evaporador.

Componente	Evaporador (Cooler)			
Condição	Modo	Causa	Medidas de controle do risco	Consequência
Operação	Falha nas uniões permanentes e no evaporador	Pressão excessiva pelo lado do chope	Realizar teste de pressão em ambos os lados do trocador	Vazamento de fluido refrigerante
				Entrada de cerveja ao sistema frigorífico (Quebra total do sistema)
	Corrosão induzida micro-biologicamente	Presença de certos micro-organismos	Realizar o correto isolamento do resfriador e realizar prevenção de umidade estagnada	Vazamento com desenvolvimento no longo prazo
Desligado	(-)	(-)	(-)	(-)
Serviço/ Manutenção	Vazamento na união com o processo	União não permanente ou Brasagem incorreta	Realizar testes de vazamento e de pressão	Vazamento de fluido inflamável durante a operação

Destaca-se que o pressostato de controle de baixa pressão não foi analisado pois, conforme mencionado no item 3.2 (redimensionamento dos componentes do sistema), esse componente representa uma fonte potencial de risco para o resfriador, a não ser que seja substituído por um aprovado para ambientes ATEX. Nesse sentido, torna-se necessário substituir o controle da temperatura, que é realizado pelo pressostato de baixa de pressão, por um termostato.

Adicionalmente, para a versão final do equipamento convertido, esse não deve possuir portas de acesso (válvulas de serviço), conforme indicado pela Norma EN-378 para sistemas selados.

3.7. Processo de manufatura do novo resfriador de chope (Protótipo)

O processo de montagem e instalação dos componentes do primeiro protótipo do resfriador de chope operando com R290 será realizado da mesma forma com que a empresa vem desenvolvendo as suas atividades.

Alguns componentes, em especial o compressor, ainda se encontra em processo de busca dentro do mercado brasileiro por parte da empresa. Os modelos compatíveis, mencionados na Tabela 3.2, já foram repassados para a empresa no dia 30/10/2018.

Outros componentes, como os trocadores de calor de microcanal e o trocador de placas, já foram encontrados e estão sendo providenciados pela empresa para a realização do primeiro protótipo. O processo de montagem é descrito abaixo (alguns passos já foram mencionados no primeiro relatório):

- Instalação dos suportes de borracha na parte inferior da estrutura;
- Instalação do condensador de forma horizontal na parte superior da estrutura;
- Montagem do evaporador na parte frontal do resfriador (a pedido da empresa, o mesmo tipo de evaporador há de ser utilizado);
- Instalação do ventilador circulador de ar, garantindo que esse não possua interferências entre a carenagem e o rotor;
- Instalação do compressor escolhido pela empresa na parte posterior da estrutura;

- Instalação da linha de descarga do compressor, utilizando uma tubulação de cobre de 1/4" e, na sequência, deve ser instalado o pressostato de cartucho (para a instalação desse componente, deve ser evitado o calor excessivo utilizando um pano completamente umedecido);
- Instalação da linha de líquido;
- Utilizando uma tubulação de cobre de 1/4", monta-se a linha de líquido do condensador até o filtro secador de óleo (para a instalação desse componente, deve ser evitado o calor excessivo utilizando um pano completamente umedecido). E, de forma similar, do filtro até o tubo capilar;
- O extremo oposto do tubo capilar deve ser brasado diretamente ao evaporador;
- Construção da linha de sucção, do evaporador até o compressor, com tubulação de cobre de 3/8";
- Instalação do termostato, de preferência, na parte superior do resfriador (o local de instalação da ponta sensível do termostato ainda não foi determinado);
- Após finalizada a montagem dos componentes mencionados, procede-se com a fiação elétrica. Todas as emendas dos fios devem ser realizadas utilizando conectores do tipo alavanca com o número de entradas necessárias para cada empalme e localizados dentro de um invólucro selado.

Após finalizado esse procedimento, o sistema deve ser testado para verificação de vazamentos a uma pressão de 0,25 x PS (pressão máxima permissível do sistema), com a ajuda de um detector de vazamentos com capacidade de pelo menos 3 g/ano (DIN, 2017).

Após o teste de vazamento, será feita a carga de fluido refrigerante, cuja quantidade somente será definida após a realização dos testes. Da mesma forma, o procedimento de carga ainda não foi definido. Até o momento, esse procedimento deve ser realizado exclusivamente na zona de carga (já com a aplicação de segurança mencionada anteriormente) ou, se for em outro local, esse deve ser altamente ventilado e livre de fonte de ignição, utilizando um detector de vazamentos para garantir a segurança.

Adicionalmente, no local em que este procedimento estiver sendo realizado, devem ser colocadas sinalizações referentes ao manuseio de fluidos inflamáveis. Para finalizar, será realizada a montagem da carenagem do resfriador e serão colocadas as sinalizações pertinentes (mencionadas anteriormente).

Após realizada a carga do sistema, esse deve ser testado, em termos de performance e segurança dos equipamentos. E, dessa forma, finaliza-se o processo de manufatura do resfriador de chope.

Cabe destacar que este procedimento mencionado é de ordem geral e não definitivo, pois está sujeito a mudanças por disponibilidade de componentes e melhorias que, por ventura, sejam identificadas no ao longo da implementação do projeto.

4. CONCLUSÕES

No presente relatório, foi apresentada a seleção do fluido refrigerante R290 como fluido alternativo para a conversão do resfriador de chope. Baseado na escolha do fluido refrigerante foi realizado o redimensionamento e seleção dos componentes, compressor, condensador, tubo capilar e evaporador, visando reduzir a carga de fluido e aumentar o desempenho do sistema. Foi realizada uma pesquisa de compressores equivalentes projetados e otimizados para operar com R290. Uma lista com os compressores equivalentes foi repassada para a empresa, para que a mesma iniciasse a verificação de disponibilidade no mercado brasileiro e a viabilidade econômica dos componentes.

Foi desenvolvida uma análise do impacto ambiental da conversão do resfriador em termos do TEWI. A análise mostrou que a conversão do resfriador para operar com R290, no cenário brasileiro, leva a uma redução de pelo menos 65% no impacto ambiental quando comparado com o resfriador atual.

A área de carga de fluido e montagem da empresa pode ser mantida no local atual, desde que as modificações mencionadas sejam aplicadas. Foi recomendada uma distribuição das áreas de carga e de montagem baseada em experiências encontradas na literatura. Simultaneamente, foram dadas as indicações e procedimentos para a adequação do local.

Foi realizada uma análise de conformidade do resfriador com a Norma EN 378. Da análise foi possível definir que, sem a aplicação das medidas de redução de carga no sistema, o resfriador de chope possui limitação em relação à área de aplicação. Em seguida, foi verificada a concepção do equipamento quanto à segurança, tendo sido identificada a falta de documentação em relação ao evaporador que é construído pela empresa. No caso de utilizar a opção proposta, o evaporador de placas, essa estaria em concordância, pois o equipamento vem testado de fábrica. Para atingir alguns objetivos da Norma, foram acrescentados alguns procedimentos ao processo de fabricação do resfriador: o teste de vazamentos e o teste de pressão. E para finalizar esse item, foram dadas as indicações para o design da sinalização quanto à segurança do resfriador e sua placa de características.

Com base nas decisões tomadas durante o redimensionamento e a avaliação de segurança do sistema, foi desenvolvida uma análise de risco de vazamento do equipamento. Por meio dessa análise, foi possível identificar alguns pontos do sistema que podem estar sujeitos a vazamento para os quais foram propostas algumas alternativas para reduzir o risco. Além disso, determinou-se que a utilização de um pressostato para controlar a temperatura de evaporação, metodologia atual da empresa, apresenta-se como uma fonte potencial de risco. Nesse caso, foi proposta a utilização de um controle por temperatura.

Para finalizar, foi apresentado o procedimento de fabricação do primeiro protótipo do resfriador convertido; no entanto, os componentes no procedimento não foram definidos por estarem sujeitos à decisão final da empresa.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. 2008. *Área de armazenamento de recipientes transportáveis de gás de petróleo (GLP), destinados ou não à comercialização — Critérios de segurança.* s.l. : ABNT, 2008. NBR 15514.

— **2006.** *NBR IEC 60079-14:2006 Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas Parte 14: Instalação elétrica em áreas classificadas (exceo minas).* Rio de Janeiro - Rj : ABNT, 2006. IEC 60079-14.

—, 2011. *NBR Vasos de pressão para refrigeração*. Rio de Janeiro : ABNT, 2011.

Adler, Walter Dirk. 2015. *Survey about CFC-free refrigerator production - Part 4: Designing and prototyping of refrigerator and freezer cooling circuits*. Düsseldorf : Transfair GmbH, 2015.

AHAM. 2017. *Safe Servicing of Household Appliances with Flammable Refrigerants: Recommended Practices*. [Online] Setembro de 2017. <http://www.aham.org/DownloadableFiles/AHAM%20Guidance%20for%20Safe%20Servicing%20Appliances%20with%20Flammable%20Refrigerants.pdf>.

AIRAH. 2012. *Methods for calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI)*. s.l. : The Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating, 2012.

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

BRAHEX. 2018. *Trocadores de Calor de Microcanal*. [Online] 20 de 09 de 2018. <http://brahex.com.br/produtos/trocadores-de-calor-de-microcanais>.

CDA. 2016. *Copper Tube Handbook: Industry Standard Guide for the Design and Installation of Copper Piping Systems*. New York, NY : Copper Development Association Inc. , 2016. A4015-14/17.

Croiset, Igor C., Christian, Lecthenbomer e Nassano, Paulo. 2012. *Guidelines for the safe use of flammable refrigerants in the production of room air-conditioner*. Eschborn : Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2012. AC-S01-2012-en-01.

DIN. 2017. *Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation*. Berlin : DIN, 2017.

—, 2017. *Refrigerating systems and heat pump - Safety and environmental requirements- Part 1: Basic requirements , definitios, classification and selection criteria*. Berlin : DIN, 2017.

EMBRACO. 2018. *COMPRESSORS HANDBOOK FOR EMBRACO EUROPEAN ON-OFF COMPRESSORS*. Italy : EMBRACO, 2018. MP02EN.

—, 2018. *Dados técnicos do compressor NE 6211E*. *Embraco*. [Online] 20 de 09 de 2018. <http://www.embraco.com/catalog/Compressors.aspx?idProduto=458400&idCap>

acidade=1997083&idOleo=133&tipoTeste=ASHRAE46&aplicacao=3&frequencia=50&capacidadeFuncionamento=&paginaAnterior=Results-Compressors.aspx?m=Model|qtdregistrospagina=20|p=|s=C|model=NE|re.

GTZ/Proklima. 2007. *Manual de Segurança, Recolhimento e Reciclagem de Fluidos Refrigerantes.* Latin América & Caribbean : União do Protocolo de Montreal, 2007.

MMA. 2017. *Ar condicionado: Manual sobre sistemas de água gelada: Conceitos sobre chiller e sistemas de água gelada.* Brasília, DF : Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2017. 978-85-7738-337-5.

—. **2015.** *Orientações para uso seguro de fluidos frigorigênicos hidrocarbonetos: um manual para engenheiros, técnicos, instrutores e formuladores de políticas – para uma refrigeração e climatização mais sustentável.* Brasília : Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2015. p. 344p. 978-85-7738-250-7.

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

Park, Ki-Jung e Jung, Dongsoo. 2008. Performance of R290 and R1270 for R22 applications with evaporator and condenser temperature variation. *Journal of Mechanical Science and Technology.* 22, 2008, 532-537.

True. 2016. Service Manual R-290. [Online] Novembro de 2016. [Citado em: 10 de 10 de 2018.] https://dc2kentprodcontent.blob.core.windows.net/technicalservicemanuals/R290/R-290_Service_ManualFinal_11-16_EN.pdf.

Yang, Li e Wang, Wen. 2008. A generalized correlation for the characteristics of adiabatic capillary tubes. *International Journal of Refrigeration.* 2008, Vol. 31, 197-203.