

PROTOTIPAGEM DE RECOLHIMENTO E ARMAZENAGEM DE FLUIDO REFRIGERANTE R-22 POR DIFERENÇA DE PRESSÃO

PROTOTYPING OF COLLECTION AND STORAGE OF R-22 REFRIGERANT FLUID BY PRESSURE DIFFERENCE

ABREU, Jônatas Tavares de¹
JORDÃO, Luiz Fernando Raimundo²
QUIRINO, Jonatas Motta³

Resumo: O presente artigo descreve um protótipo de recolhedora com o intuito de promover boas práticas de recolhimento e armazenagem de fluido refrigerante R-22 amplamente empregado por profissionais do ramo da refrigeração em rotinas de manutenção de ar condicionados comerciais e industriais. Apesar de já existir no mercado uma tecnologia desenvolvida para este fim, o seu uso é pouco difundido devido ao elevado custo. Assim, este trabalho apresenta a fabricação e montagem de um mecanismo com peças de baixo custo e recicláveis, que utiliza conceitos de transferência de calor por convecção, tornando-a acessível a população em função de suas vantagens operacionais. Adicionalmente, são analisados os benefícios ambientais do protótipo, prevenindo impactos ao ecossistema e atuando de acordo com a legislação vigente. Este estudo agregará: para a ciência, como parte integrante do acervo científico; a sociedade, para o aumento do bem-estar coletivo; a empresa, como ferramenta eficiente e de baixo custo; e ao conhecimento intelectual do autor, como desenvolvimento profissional e acadêmico.

Palavras-chave: Recolhedora, fluido refrigerante, refrigeração, transferência de calor, convecção.

Abstract: This article describes a prototype of a waste picker in order to promote good practices in the collection and storage of R-22 refrigerant widely used by refrigeration professionals in commercial and industrial air conditioning maintenance routines. Although a technology developed for this purpose already exists in the market, its use is little diffused due to the high cost. Thus, this work presents the manufacture and assembly of a mechanism with low cost and recyclable parts, which uses concepts of heat transfer by convection, making it accessible to the population due to its operational advantages. Additionally, the environmental benefits of the prototype are analyzed, preventing impacts to the ecosystem and acting in accordance with current legislation. This study will add: to science, as an integral part of the scientific archive; to society, for the increase of collective welfare; to the company, as an efficient and low cost tool; and to the author's intellectual knowledge, as professional and academic development.

Keywords: Collector, refrigerant fluid, refrigeration, heat transfer, convection.

¹Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – jonatas.abreu@souusu.com.br

²Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – luiz.fernando@souusu.com.br

³Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – jonatas.quirino@usu.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O emprego da refrigeração mecânica nas residências e o desenvolvimento de equipamentos pelas indústrias frigoríficas, levou à pesquisa de novos produtos - os fluidos refrigerantes - que combinados a diversas propriedades químicas formaram os clorofluorcarbonos (CFCs). Um trabalho publicado por Molina e Rowland (1974) apresentou as alterações que os CFCs proporcionavam à camada de ozônio, impulsionando desse modo a realização da Convenção de Viena e, adotado logo em seguida, um tratado internacional conhecido como Protocolo de Montreal, em combate às Substâncias Destruidoras do Ozônio (SDOs). (PROTOCOL, 1987).

Calm (2002) refere que os impactos da climatização na camada de ozônio, na estratosfera, se relacionam, primeiramente, à liberação de refrigerantes depredadores de ozônio, além da emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, pelo uso de energia de fontes poluentes. Cada molécula de CFC pode permanecer na atmosfera por mais de 120 anos, apresentando um notável efeito destrutivo sobre a camada de ozônio (EMBRACO, 2020).

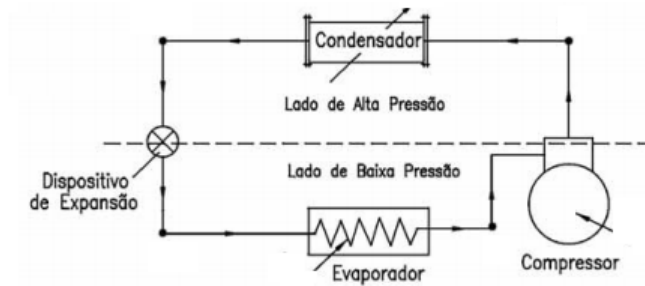
Embora sejam muito difundidas no mercado, as máquinas recolhedoras de fluido refrigerante, ainda se constituem uma ferramenta desafiadora aos profissionais da refrigeração que, por ser uma ferramenta de elevado custo e certa complexidade de operação, estes profissionais não dispõem de recursos para investimento e nem treinamento para manuseio como as empresas.

Diante da importância dos processos de recolhimento e reciclagem do fluido refrigerante R-22 para a eliminação das SDOs, o presente trabalho tem como por objetivo proporcionar uma ferramenta de baixo custo, de simples fabricação e manuseio cooperando – sobretudo - com o meio-ambiente. Este método trabalha de modo passivo, por meio de diferença de pressão entre o aparelho e o equipamento de armazenagem do fluido, que pode ser uma bolsa recolhedora ou um cilindro com vácuo.

1.1. Ciclo de compressão a vapor

Nos sistemas de refrigeração, o circuito de resfriamento mais utilizado é a compressão mecânica de vapor, que consiste em quatro componentes principais. O evaporador, o condensador, a válvula de expansão e o compressor que consistem em um circuito fechado no qual o resfriamento é realizado por um fluido.

Figura 1 – Ciclo de compressão a vapor



FONTE: Adaptado de VENTURINI (2005)

Segundo Gênier (2013) seu funcionamento é baseado na mudança de estado do fluido devido a flutuações de pressão e temperatura. O fluido entra no evaporador a baixa pressão e temperatura para absorver o calor e entrar no estado de vapor, o vapor é bombeado e comprimido pelo compressor, causando o superaquecimento do vapor e depois passa para o condensador, que libera e diminui o calor do fluido e o condensa devido à sua temperatura. O fluido líquido sai do condensador e passa pela válvula expansão onde a pressão é reduzida antes de entrar no evaporador e iniciar um novo ciclo.

1.2. Mecanismos de transferência de calor

De acordo com Stoecker (2018), em evaporadores, o calor é transferido do fluido quente para o fluido frio. Este processo pode ser associado a um circuito elétrico com resistências em série. Estas resistências estão relacionadas aos seguintes processos: convecção no lado do ar (ou do líquido que deve ser resfriado), condução através das aletas e da parede do tubo e convecção no lado do refrigerante.

As variáveis abaixo são relacionadas conforme ordem apresentada no texto, cada item designado por seu nome específico (LISTA DE SÍMBOLOS).

- Convecção no lado do ar (ou do líquido que deve ser resfriado);

$$q = \frac{T_a - T_e}{\frac{1}{h_a A_e}} \quad (1)$$

- Condução através das aletas e da parede do tubo;

$$q = \frac{T_e - T_i}{\frac{x}{KA_{média}}} \quad (2)$$

- Convecção no lado do refrigerante;

$$q = \frac{T_i - T_r}{\frac{1}{h_r A_i}} \quad (3)$$

Para condição de regime permanente, pode-se escrever as equações anteriores como:

$$q = \left[\frac{1}{\frac{1}{h_a A_e} + \frac{x}{k A_{média}} + \frac{1}{h_r A_i}} \right] (T_a - T_r) \quad (5)$$

O coeficiente global de transferência de calor, U, pode ser definido como:

$$q = UA(T_a - T_r) \quad (6)$$

Como diferentes áreas são incluídas na análise (A_e, A_i), o valor de U deve ser referido a cada uma delas:

$$q = U_e A_e (T_a - T_r) = U_i A_i (T_a - T_r) \quad (7)$$

Assim, para o caso da transferência de calor do ar para o refrigerante, a resistência total associada ao circuito elétrico análogo, é dada pela expressão:

$$R_{total} = R_{ar} + R_{tubo} + R_{refrig} \quad (9)$$

1.3. Escopo

Para o cumprimento das exigências do equipamento para ensaios, técnicas de amostragem e análise de desempenho para coleta e/ou recuperação de refrigerantes e misturas, dentre os quais está o R-22, estabelece-se a norma ANSI/ASHRAE 34-2019 “*Number Designation of Refrigerants*” e a norma AHRI 740-2016 “*Performance Rating of Refrigerant Recovery Equipment and Recovery/Recycling Equipment*”.

2. METODOLOGIA

O método de estudo propõe uma pesquisa experimental, cujo objetivo é desenvolver o modelo de uma recolhadora de fluido refrigerante R-22 por diferença de pressão que possua todas as qualidades técnicas e características de funcionamento de uma recolhadora convencional. Na construção desta máquina são dimensionados para o correto funcionamento do sistema, todos os componentes do ciclo de compressão abordados no trabalho.

Para atingir o objetivo proposto foram realizadas as seguintes etapas:

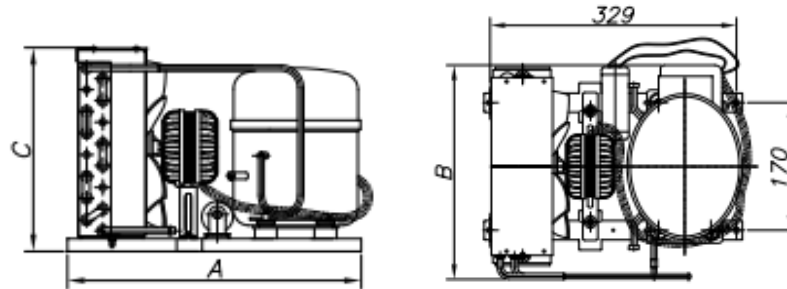
2.1. Especificação Geral do Equipamento:

Recolhedora compacta contendo uma unidade condensadora do fabricante Embraco modelo FFUS 70HAK (Fig. 2):

- Compressor: 1/4 hp, tensão 220V, frequência 60 Hz
- Capacidade Frigorífica: -30°C a +5°C
- Corrente/consumo: 1,5 ampères (A) e 1,7 watts (W)

- Fixação: trilho
- Conexões: Linha de sucção (5/16") e linha de líquido (1/4")
- Micromotor: modelo EL-11, Ø hélice 8" e vazão de ar 570 m³/h

Figura 2 – Unidade condensadora compacta Embraco modelo FFUS 70HAK



FONTE: Adaptado de EMBRACO (2018)

Quadro 1 – Dimensões da Unidade condensadora Embraco FFUS 70HAK

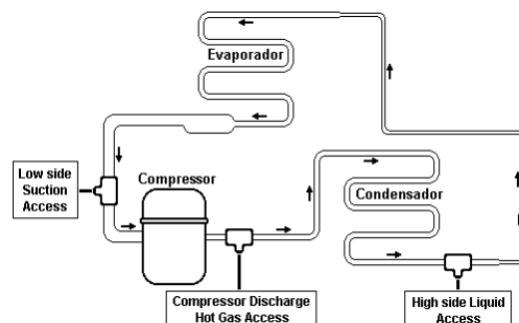
Modelo	A [mm]	B [mm]	C [mm]	Óleo [ml]	Peso [kg]
FFUS 70HAK	345	285	240	280,0	12,0

FONTE: Autores

2.2. Aparelho de Ensaio

A recolhedora é constituída de um circuito frigorífico completo (Fig. 3). Uma linha de equilíbrio de 1/4" (6,3mm) é instalada no aparelho de ensaio, entre os lados de alta e baixa pressão com uma válvula de isolamento na conexão no lado de alta pressão, próximo à descarga do compressor. Deverá ser instalada uma conexão de 1/4" (6,3mm) com uma válvula na linha de equilíbrio, com o objetivo de medir o vácuo atingido no final do ensaio de coleta.

Figura 3 – Aparelho de ensaio para equipamento dependente do sistema



FONTE: AIR-CONDITIONING, HEATING E REFRIGERATION INSTITUTE – AHRI 740

3. ASPECTOS TEÓRICOS

Para a montagem da recolhadora de fluido refrigerante R-22, foram utilizados peças e dispositivos que são essenciais para a correta operação do circuito frigorífico o qual explica-se suas funções abaixo:

- Compressor: É o equipamento que funciona como uma bomba de sucção que retira o fluido do ramo da tubulação que o antecede (reduzindo a pressão) e injeta este fluido no ramo da tubulação que o sucede (aumentando a pressão).

Figura 4 – Compressor hermético FFUS 70HAK 220V 60Hz R-134A



FONTE: Autores

- Condensador: É o componente responsável pela transferência de calor do fluido Refrigerante para o meio de resfriamento, ele deve absorver o vapor superaquecido do compressor, resfriar até a temperatura de condensação e depois condensar.

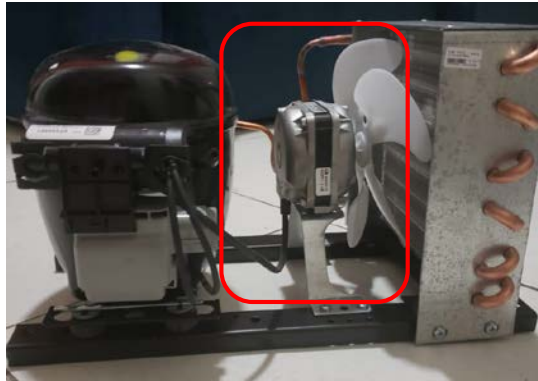
Figura 5 – Condensador 1/4 hp tubo de cobre e aleta de alumínio



FONTE: Autores

- Ventilador: Ventoinha que é usada para arrefecer o refrigerante mais rapidamente que é irradiado pelo condensador.

Figura 6 – Micro motor ventilador 1/4 hp



FONTE: Autores

- Filtro secador: Tem a função de desidratar o sistema para que a pequena quantidade de água que pode permanecer no sistema durante a montagem, não oxide o compressor ou obstrua o tubo capilar e retenha algumas partículas sólidas que circulam pelo sistema.

Figura 7 – Filtro secador 90 mm sílica e rabicho



FONTE: Autores

- Evaporador: É a unidade interna que recebe o fluido refrigerante pressurizado, que vem da condensadora em forma líquida.

Figura 8 – Unidade de resfriamento evaporativo de material reciclável



FONTE: Autores

- Tubo Capilar ou Válvula de Expansão: controla a quantidade de líquido refrigerante que entra no evaporador, onde essa substância passa pelo processo que diminui a temperatura do sistema, no caso da recolhedora é simplesmente um tubo superfino (tubo capilar).

Figura 9 – Tubo capilar de cobre 3m x 0,031mm



FONTE: Autores

4. ETAPAS DE CONSTRUÇÃO

O projeto se inicia com a definição dos materiais necessários para montagem do protótipo e as ferramentas empregadas para a sua construção. No artigo é incluído metodologias práticas que são importantes para que o protótipo atinja o resultado proposto.

É importante ressaltar que após a construção da recolhedora R-22, recomenda-se a realização de ensaios técnicos para certificação do equipamento. Deficiências de operação em sistemas de refrigeração existentes têm origem na falta de cuidado ou procedimentos de instalações não adequados. Deve-se ter extremo cuidado na limpeza e desidratação das linhas de refrigerante antes da operação do equipamento.

Deverá ser observado o procedimento a seguir:

- ☒ Após a conexão de todas as linhas, o sistema deverá ser testado contra vazamentos. Todo o sistema deverá ser pressurizado com pressão máxima de 300psig, com recomendação do uso com nitrogênio seco e refrigerante.
- ☒ Como verificação complementar contra vazamentos, recomenda-se que antes de proceder à carga de refrigerante, o sistema seja evacuado até uma pressão de 500 μ m (mícrons) de Hg ou menos e permanecer fechado hermeticamente por no mínimo 12 horas. Qualquer entrada de ar no sistema será evidenciada por uma diminuição na leitura do vácuo – ou aumento da pressão efetiva negativa. Se evidenciada uma perda, o sistema deverá ser testado novamente e o vazamento eliminado. Somente um sistema absolutamente estanque pode ser considerado aceitável.

Certificando-se que o sistema está estanque, então o equipamento está preparado para o processo de carga de gás, a exemplo do protótipo a uma pressão de 29 PSI para o rendimento térmico desejado.

Quadro 2 – Lista de materiais necessários para montagem do protótipo

Descrição	
Unidade condensadora compacta	Tubo flexível de alumínio
Controlador <i>full gauge</i>	Tubo retangular industrial
Válvula de serviço <i>shrad</i>	Fita adesiva de vedação elastomérica
Filtro secador	Isolamento térmico
Tubo capilar de cobre	Tinta
Porcas flange	Pés de apoio
Cilindro de gás refrigerante reutilizado	Dobradiça de porta

FONTE: Autores

Quadro 3 – Lista de ferramentas empregadas para a construção do protótipo

Descrição	
Maçarico portátil	Refil turbo torch
Vareta de solda foscooper	Fluido refrigerante R-134A
Bomba de vácuo 12CFM	Máquina de solda a arco elétrico
Furadeira de bancada	Solda fria
Esmerilhadeira	Curvador de tubo mola

FONTE: Autores

4.1. Etapa 1 – Confeção da base metálica

Esta etapa se inicia com a montagem da estrutura que será a base da recolhedora, confeccionada com tubo retangular e revestida com solda elétrica.

Figura 10 – Base estrutural do protótipo 810 x 420 (c x l) mm



FONTE: Autores

4.2. Etapa 2 – Unidade condensadora

Nesta próxima etapa, é confeccionado um “sifão” para interligação do compressor (lado de sucção) à unidade evaporadora. Adicionalmente, no tubo de serviço do compressor é soldado uma válvula de serviço “*shradar*”.

Figura 11 – Unidade condensadora. a) Confeção de sifão. b) Soldagem de válvula *shradar*



FONTE: Autores

A união por solda *foscoper* interliga o filtro secador à linha de líquido do condensador, e do tubo capilar ao filtro propriamente dito.

Figura 12 – Soldagem do filtro secador e tubo capilar



FONTE: Autores

4.3. Etapa 3 – Unidade evaporadora

A unidade evaporadora é composta de um cilindro refrigerante comercial de 13,6 kg (quilogramas) que funcionará como um reservatório. No cilindro reciclado é feito um corte na parte inferior no qual servirá como tampa. O cilindro é virado aproveitando-se as suas alças e soldado na base metálica. A válvula do cilindro voltada para baixo servirá como um dreno para escoar a água do processo final de recolhimento. Em seguida é feito o isolamento térmico da unidade.

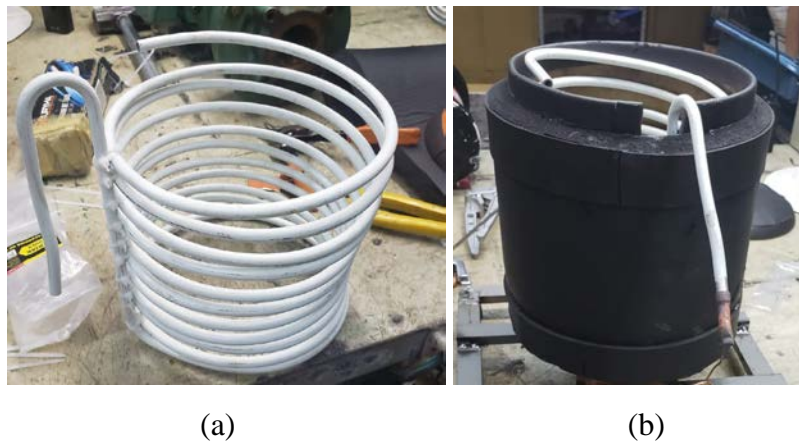
Figura 13 – Corte da tampa, soldagem do cilindro na base metálica e isolamento térmico



FONTE: Autores

Para confecção da serpentina do evaporador é utilizado um tubo de alumínio flexível de Ø3/8”, e a sua curvatura em forma de bobina é feita manualmente com auxílio de um curvador de tubo mola para chegar ao resultado abaixo. Logo após, a bobina é introduzida no interior do cilindro.

Figura 14 – Unidade evaporadora. a) confecção da serpentina de alumínio. b) fixação do espiral no cilindro

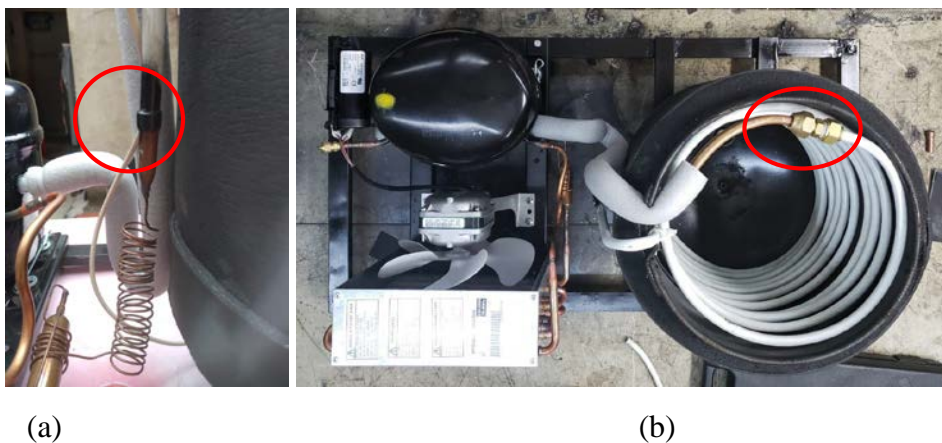


FONTE: Autores

4.4. Etapa 4 – Interligação entre as unidades

Após as etapas anteriores, o próximo passo é agregar as unidades para montagem do circuito térmico. É a partir da soldagem por brasagem a frio que o filtro capilar, em cobre, é interligado à entrada do tubo do evaporador, em alumínio.; na extremidade dos tubos flexíveis realiza-se o flangeamento e a união entre porcas flanges, interligando a saída do evaporador à linha de sucção do compressor.

Figura 15 – Interligação entre as unidades. a) soldagem do tubo capilar ao tubo do evaporador. b) união dos tubos flexíveis por porca flange



FONTE: Autores

4.5. Etapa 5 – Automatização do sistema

Para automatização do protótipo foi utilizado um controlador *Full gauge* MT512, fixado à base metálica e instalado ao compressor conforme instrução contida em seu manual (FULL GAUGE). Este controlador possui um sensor termistor NTC (-50 a 105°C) com sistema inteligente que monitora as variações de temperatura da água no interior do cilindro. Após configurada a temperatura que se deseja atingir, efetuado o recolhimento, o dispositivo desligará automaticamente o processo através do seu temporizador (*timer*) cíclico.

Figura 16 – Automatização do sistema. a) fixação do controlador *full gauge*. b) imagem ampliada do dispositivo durante realização de teste



(a)

(b)

FONTE: Autores

5. CUSTO DE FABRICAÇÃO

Para a fabricação do protótipo recolhadora de gás R-22 foi necessário a aquisição de diversos materiais sendo alguns de baixo custo e outros mais elevados. A tabela abaixo (Tab.1) mostra a relação de materiais com os seus respectivos valores, cujo custo total para a produção da recolhadora é estimado em R\$ 621,61, visto que alguns itens são provenientes de reciclagem e doação.

Tabela 1 – Custo de investimento da recolhedora R-22

CUSTO PARA FABRICAÇÃO	
Material	Valor
Unidade condensadora Embraco FFUS 70HAK 220V/1F 60Hz R-134A	R\$422,00
Controlador <i>full gauge</i> MT512E 2HP – 115 a 230Vac / -50°C a 105°C	R\$ 140,00
Válvula de serviço <i>shradet</i> Ø1/4” x Ø1/4” solda 10cm	R\$ 2,50
Filtro secador 90mm sílica e rabicho	R\$ 6,47
Tubo capilar de cobre 3m x 0,031mm	R\$ 6,65
Porcas flange para tubo de cobre SAE Ø3/8”	R\$ 4,99
Tubo flexível de alumínio Ø3/8” com 4m	R\$ 15,00
Fita adesiva de vedação elastomérica 45mm x 3mm (A x L)	R\$ 24,00
Valor Total	R\$ 621,61

FONTE: Autores

6. RECOLHIMENTO DE FLUIDO REFRIGERANTE R-22

O refrigerante poderá ser recolhido de um sistema devido a vários motivos, incluindo a necessidade de acesso a partes do sistema que requeiram reparo ou troca de componentes. Troca de refrigerante que tenha sido contaminado após o ingresso de outros fluidos devido à queima do motor, reparo de vazamentos, ou se o sistema tiver que ser levado para manutenção.

Antes de iniciar o procedimento de recolhimento, descrito no Apêndice A, é necessário tomar conhecimento da identidade do refrigerante. Algumas vezes, os sistemas frigoríficos são carregados com refrigerantes diferentes dos pretendidos, o que pode trazer riscos adicionais. É apropriado checar as pressões/temperaturas operacionais em comparação com as operações do refrigerante anterior.

A máquina recolhedora de refrigerante remove o fluido do sistema frigorífico e o transfere para os cilindros de maneira segura. O equipamento de recolhimento e seus aparatos relacionados como filtros secadores devem ser operados e mantidos de acordo com as especificações do fabricante da máquina recolhedora.

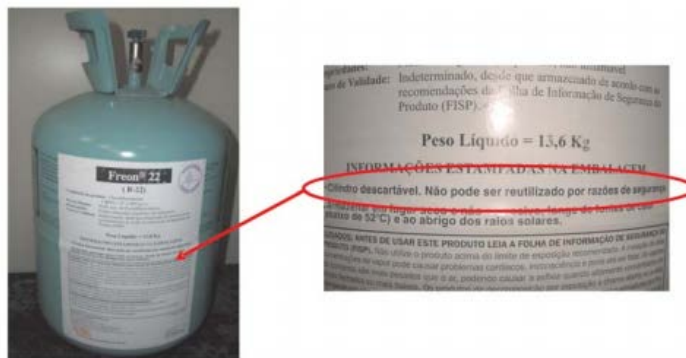
Qualquer máquina recolhedora de refrigerante deve estar em conformidade com as normas padrão específicas. Ela deve ser operada de forma a minimizar o risco de emissão de refrigerantes ou óleo para o meio ambiente.

6.1. O cilindro de armazenamento

De acordo com a regulamentação das Nações Unidas para o Transporte de Bens Perigosos (*UN Regulations on Transportation of Dangerous Goods*), a capacidade máxima de preenchimento de cilindros contendo gases liquefeitos está estabelecida em 95% de seu volume líquido a uma temperatura de +50°C.

Qualquer cilindro de recolhimento deve ser checado de forma a assegurar que o seu teste de pressão esteja compatível com o refrigerante. O teste de pressão tem pelo menos a pressão manométrica do vapor a 70°C, mas sempre abaixo de um mínimo de 10 bar.

Figura 17 – Cilindro apropriado somente para carga de refrigerante



FONTE: USINGER (2007)

Figura 18 – Cilindro de serviço apropriado para manuseio de refrigerantes



FONTE: GOOGLE IMAGENS

Antes de iniciar o processo de recolhimento do gás refrigerante é necessário realizar a pesagem do cilindro para certificação de possíveis misturas em seu interior, decorrentes de processos anteriores. O cilindro deve estar vazio e limpo e após a recolha do fluido, o mesmo deve ser novamente pesado para conclusão de quantos quilos de gás pôde ser recuperado.

Cilindros de recolhimento têm tamanhos variados, pois depende do país de origem, bem como possuem diferentes arranjos de válvulas e códigos de cores.

O refrigerante deve ser transferido somente para cilindros destinados aos específicos fluidos. O cilindro deve ser identificado facilmente e assinalado com o código de cores respectivo do refrigerante, ou como se estivesse reservado para uso de tal refrigerante.

6.2. Sistema de recolhimento passivo por diferença de pressão

O protótipo da recolhedora de gás R-22 é um estudo de engenharia que funciona por transferência de vapor. O compressor é o agente responsável por gerar trabalho que fará com que o gás R-134A do sistema sofra as transformações termodinâmicas. Ao reduzir a pressão, este gás resfria drasticamente e circula pela serpentina dentro da câmara de refrigeração. Com isso, o fluido R-22 presente no sistema de refrigeração (ou ar condicionado) adentra espontaneamente no interior do cilindro reciclável concluindo assim o processo de recolhimento.

Figura 19 – Recolhedora de gás R-22 por diferença de pressão



FONTE: Autores

7. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados de acordo com os dados apresentados anteriormente para fabricação do protótipo de recolhedora do gás refrigerante R-22. São abordados, especificamente, quatro aspectos fundamentais para o alcance dos objetivos e dos seus benefícios contribuindo para análise da eficácia e da aplicação do protótipo nos processos de recolhimento e armazenagem de fluidos contaminantes.

7.1. Ferramenta ecologicamente correta

A introdução desta ferramenta como uma solução para a eliminação progressiva dos CFCs e HCFCs, sendo o principal o R-22, é um fator importante na prevenção de emissões de gases com alto poder de contribuição para o efeito estufa, que com os anos aumentam progressivamente. A necessidade em gerenciar, conservar e recolher fluidos contaminantes visa auxiliar na prevenção das catástrofes climáticas, atendendo às exigências do Protocolo de Montreal. É, portanto, responsabilidade das gerações futuras facilitar essa transição e torná-la possível. Os benefícios dessa tecnologia são fundamentais e podem ajudar a tornar um mundo melhor.

7.2. Considerável redução de manutenções

Equipamentos mais complexos com sistema de auto expurgo e que operam com líquido/vapor, devem reter umidade, ácidos e materiais sólidos, através de dispositivos filtrantes tais como filtros secadores com núcleo descartável e separadores de óleo. A prática do expurgo deve ser realizada a cada utilização, pois falhas na remoção de resíduos de refrigerante da unidade podem resultar na contaminação cruzada nos próximos recolhimentos, além da degradação dos componentes internos e desgaste prematuro de peças, como por exemplo o rolamento do cárter.

Em contrapartida, o método de recolhimento com o uso do protótipo opera por diferença de pressão e por meio de convecção natural, impossibilitando a contaminação por óleo ou outros resíduos, já que apenas o refrigerante na forma de vapor é recolhido. Com isso, a integridade das peças é preservada sendo possível efetuar o processo consecutivamente para diferentes fluidos, destinando-os cada um aos seus respectivos cilindros de transporte.

7.3. Permite o uso de peças recicláveis

O protótipo da recolhedora R-22 é uma ferramenta que utiliza o ciclo básico de compressão a vapor, presente em qualquer sistema de refrigeração, com a simplicidade de arranjo de peças usadas ou recicláveis. Para a montagem do circuito térmico, por exemplo, podem ser reaproveitadas peças de sistemas de refrigeração doméstica, comercial ou automotiva cujos equipamentos perderam sua vida útil ou tornaram-se obsoletos. Para a criação da unidade evaporadora, um cilindro de gás comercial de capacidade 13,6 kg após o seu descarte torna-se uma excelente sugestão. Para a serpentina do evaporador, tubos flexíveis de

alumínio ou cobre, podem ser modelados em formato de bobina para encaixe no interior da unidade evaporativa.

Estes são exemplos de soluções encontradas de forma a baratear o custo final de fabricação, principalmente a quem não dispõe de grandes recursos financeiros.

7.4. Economia de fabricação

O valor total de fabricação do protótipo é de R\$ 621,21, no qual grande parte foi empregado no condensador compacto da marca Embraco e no controlador *full gauge* (Tab. 1). Ao compará-la com uma recolhadora comercial semelhante em pesquisa na internet, modelo Coletora de Gases Refrigerantes Gallant (Fig. 20) no valor de R\$ 2.969,10, avalia-se a obtenção de uma economia de 79% garantindo a esta ferramenta uma ótima solução e opção de negócio.

Figura 20 – Coletora de gases refrigerantes Gallant Bivolt Manual 60Hz 1HP



FONTE: GOOGLE SHOPPING

8. CONCLUSÃO

É visto que atualmente há uma busca contínua para obter novos fluidos refrigerantes que apresentem características bem mais ecologicamente corretas. Apesar de já existirem os fluidos naturais e alguns sintéticos que não apresentam potencial de degradação da camada de ozônio e com potencial insignificante de aquecimento global, as práticas de recolhimento, reciclagem e regeneração ainda são válidas em razão da ampla utilização dos HFCs, que estão sendo aplicados como substitutos dos HCFCs.

Como solução para a eminente eliminação do fluido R-22, espera-se que esta ferramenta auxilie no gerenciamento, conservação e recolhimento das SDO's. O circuito frigorífico da recolhadora projetado não sofre o risco de contaminação oriundo de misturas óleo-refrigerantes antigos, diminuindo consideravelmente a necessidade de manutenção com purgas e drenagem de óleo, e conseqüentemente, aumentando a vida útil das peças mecânicas.

Adicionalmente, a proposta da recolhadora tem por objetivo ser uma ferramenta de baixo custo e fácil operação, possibilitando a fabricação e a montagem do equipamento com peças reaproveitáveis de equipamentos de refrigeração.

A implementação desta ideia visa tornar satisfatória a experimentação e a oportunidade de agregar um projeto criativo de engenharia, na área de refrigeração e suas tecnologias, a partir de sua concepção teórica e com seus reais desafios práticos, aprimorando a capacidade intelectual, desenvolvendo a consciência ambiental e aplicando aspectos interdisciplinares.

REFERÊNCIAS

AIR-CONDITIONING, HEATING E REFRIGERATION INSTITUTE. **AHRI Standard 740: Performance Rating of Refrigerant Recovery Equipment and Recovery/Recycling Equipment.** Arlington, p. 23. 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 34: Designation and Safety Classification of Refrigerants.** Atlanta, p. 18. 2019.

CALM, James M. **Emissions and environmental impacts from air-conditioning and refrigeration systems.** International Journal of Refrigeration; vol. 25; Elsevier; 2002.

ELGIN. **Catálogo Geral de Refrigeração, 2018.** São Paulo: Elgin, 2018. 134 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMPRESSORES, S.A. – EMBRACO. **Manual de Aplicação de Compressores.** S.d. Disponível em: <<https://www.embraco.com.br/portugue/produtos/00004.pdf>>; Acesso em: 12 mai. 2020.

FULL GAUGE. **Manual do produto.** Disponível em: <<https://www.fullgauge.com.br/manual-de-produto-126>>. Acesso em: 27. out de 2020.

GENIÊR, F. S. **Ciclos de refrigeração: conceitos e estudos de eficiência.** Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

GOOGLE IMAGENS. **Cilindro garrafa para transporte de gás refrigerante 1kg.** Disponível em: <https://www.google.com/search?q=cilindro+de+transporte+de+gas&rlz=1C1PDZP_pt-BRBR787BR787&hl=pt-BR&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjJh8HUnc7sAhUVHrkGHQjCDAgQ_AUIiwUoAQ&biw=1366&bih=657>. Acesso em: 24. out de 2020.

GOOGLE SHOPPING. **Coletora de Gases Refrigerantes Gallant Bivolt 60hz 1hp.** Disponível em: <https://www.google.com/search?rlz=1C1PDZP_pt-BRBR787BR787&tbm=shop&q=recolhedora+mastercool&tbas=0&tbs=vw:g,mr:1,p_ord:p&>

sa=X&ved=0ahUKEwiP1_nLkM7sAhUWGLkGHUknCIAQvSsIbCgA&biw=1366&bih=657>. Acesso em: 24.out de 2020

MOLINA, Mario J.; ROWLAND, F. Sherwood. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, v. 249, n. 5460, p. 810-812, 1974.

NAÇÕES UNIDAS. COMISSÃO DE ESPECIALISTAS NO TRANSPORTE DE MERCADORIAS PERIGOSAS (. **Recomendações sobre o Transporte de Mercadorias Perigosas: Manual de testes e critérios** . ONU, 2009.

PROTOCOL, Montreal. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Washington, DC: US Government Printing Office, v. 26, p. 128-136, 1987.

STOECKER, Wilbert F; JABARDO, José Maria Sáiz. **Refrigeração industrial**. Editora Blucher, 2018.

USINGER, J. et al. **Manual de Segurança Recolhimento e Reciclagem de Fluidos Refrigerantes**. 84 p. 2007.

VENTURINI, O. José; PIRANI, M. José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

LISTA DE SÍMBOLOS:

q :	Taxa de transferência de calor [W];
A :	Área de troca térmica [m ²];
A_e :	Área da superfície exterior do tubo [m ²];
$A_{média}$:	Área média entre a exterior e a interior da parede do tubo [m ²];
A_i :	Área da superfície interior do tubo [m ²];
h_a :	Coeficiente de transferência de calor por convecção no lado do ar, [W/m ² K];
h_r :	Coeficiente de transferência de calor por convecção no lado do refrigerante, [W/m ² K];
k :	Condutividade térmica do material do tubo [W/mK];
t_a :	Temperatura do ar [K];
t_e :	Temperatura da superfície exterior do tubo [K];
t_i :	Temperatura da superfície interior do tubo [K];
t_r :	Temperatura do refrigerante [K];
x :	Espessura da parede do tubo [m];
U :	Coeficiente global de transferência de calor [W/m ² ·K];
UA :	Condutância térmica [W/K];
U_i :	Coeficiente da área da superfície interior [W/m ² ·K];
U_e :	Coeficiente da área da superfície exterior [W/m ² ·K];
R :	Resistência térmica [K/W].

APÊNDICE A:

Instruções de operação

Passo 1: Preencha com água a unidade evaporativa de acordo com as capacidades, em litros;

Passo 2: Com o auxílio de um *manifold* instale a via de baixa pressão (cor azul) na garrafa de transporte;

Passo 3: Coloque a garrafa de transporte no interior da unidade evaporativa e feche o sistema para melhor eficiência;

Passo 4: Instale a outra via de serviço (cor amarela) do *manifold* na válvula onde se deseja transferir o fluido refrigerante (no exemplo abaixo, é instalado num cilindro de gás R-22);

Passo 5. Deixe ambos os registros do *manifold* abertos para o recolhimento do fluido refrigerante.

Passo 6: Ligue a recolhadora à uma tomada 220V;

Passo 7: Programe o controlador *Full Gauge* para atingir a temperatura desejada (no exemplo abaixo foi estipulado 1°C);

Passo 8: Aguarde alguns minutos até o acionamento automático do sistema;

Passo 9: Com o *manifold* em mãos, acompanhe e faça a leitura da temperatura x pressão que ocorre durante a transferência do fluido refrigerante;

Passo 10. Quando for atingida a temperatura programada no controlador *Full Gauge*, o sistema desarmará. Aguarde a equalização do processo e anote as medidas de pressão e temperatura atingidas;

Diagrama do protótipo no processo de recolhimento por diferença de pressão

