CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DE REFRIGERAÇÃO DIDÁTICA PARA APLICAÇÃO NA EDUCAÇÃO

CONSTRUCTION OF A DIDACTIC REFRIGERATION BENCH FOR APPLICATION IN EDUCATION

Ana Paula Lizier Borges Mildemberger
Estudante de Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC) Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
Email: ana08990@unifatecpr.com.br

Lucas Mildemberger
Estudante de Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
Email: lucas91997@unifatecpr.com.br

Marcos José Meira da Silva
Estudante de Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: marcos82959@unifatecpr.com.br

Orientador(a) – Paulo Eduardo Sartori
Engenheiro Químico, Economista, Engenheiro de Segurança do Trabalho
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: paulo.sartori@unifatecpr.com.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de bancada didática voltado ao uso educacional, oferecendo uma ferramenta prática para o estudo do funcionamento de sistemas de refrigeração. A proposta é permitir que os alunos realizem experimentos que demonstrem, na prática, os princípios teóricos do ciclo de refrigeração, tornando o aprendizado mais acessível e dinâmico. A bancada será composta pelos principais componentes do sistema, como compressor, condensador, evaporador e filtro secador . Espera-se que a bancada atenda às metas pedagógicas estabelecidas, servindo como recurso complementar ao ensino teórico. A experiência prática reforça o entendimento dos conceitos e contribui para a formação acadêmica, auxiliando os estudantes a pôr em prática o estudo teórico.

Palavras-chave: bancada didática, refrigeração, formação acadêmica.

ABSTRACT

This work aims to develop a prototype of a teaching bench for educational use, offering a practical tool for studying the functioning of refrigeration systems. The proposal is to allow students to carry out experiments that demonstrate, in practice, the theoretical principles of the refrigeration cycle, making learning more accessible and dynamic. The bench will be composed of the main components of the system, such as compressor, condenser, evaporator and filter drier. It is expected that the bench will meet the established pedagogical goals, serving as a complementary resource to theoretical teaching. Practical experience reinforces the understanding of concepts and contributes to academic training, helping students to put theoretical studies into practice.

Keywords: teaching bench, refrigeration, academic background

1. INTRODUÇÃO

Desde as civilizações mais antigas, o ser humano já demonstrava conhecimento e interesse por técnicas de refrigeração. Muito antes da era cristã, por exemplo, os chineses utilizavam gelo natural como forma de conservar o chá, prolongando sua durabilidade. Civilizações como a grega e a romana também recorriam ao gelo extraído das regiões montanhosas para resfriar alimentos e bebidas. No entanto, durante séculos, a obtenção do gelo esteve condicionada às condições climáticas específicas, sendo possível apenas em locais de clima rigorosamente frio ou durante o inverno. Além disso, havia grande dificuldade em armazenar gelo por longos períodos (Souza, 2007).

O desenvolvimento das tecnologias de refrigeração transformou a forma como alimentos, medicamentos e outros produtos são conservados, tornando-se indispensável em residências, comércios e indústrias. Apesar da diversidade de equipamentos, a maioria funciona com base no ciclo de compressão de vapor, considerado o mais eficiente e amplamente adotado no mundo (Souza, 2007).

Embora seja conceitualmente simples, o ciclo de refrigeração pode gerar dúvidas em sua aplicação prática, principalmente quanto aos fenômenos físicos envolvidos. Sua função é remover calor de um ambiente, promovendo o resfriamento ou a manutenção da temperatura, o que o torna essencial em diversas aplicações cotidianas e industriais (Souza, 2007).

Para aprimorar o aprendizado sobre esse processo, é fundamental a integração entre teoria e prática. Pensando nisso, foi proposta a construção de uma bancada didática de refrigeração, que permita aos alunos da Unifatec/PR, observar e analisar o funcionamento real do sistema, tornando o ensino mais dinâmico e efetivo.

Segundo Rodrigues, Jurach e Giordani (2003), bancadas didáticas facilitam a compreensão técnica ao aproximar os alunos dos sistemas reais. No caso da bancada proposta, ela será composta por componentes como compressor, evaporador, condensador, dispositivos de expansão, filtro secador e fluido refrigerante entre outros componentes em circuito fechado. A seguir, serão apresentados os principais elementos que compõem esse sistema, com destaque para suas funções e características.

2. METODOLOGIA DA PROPOSTA DE PESQUISA

A metodologia apresentada se dará de forma descritiva, qualitativa e quantitativa, utilizando uma base de dados já existente sobre o tema. Inicialmente, será feita uma revisão de literatura para embasar nosso estudo, com isso, identificaremos e avaliaremos diferentes soluções, comparando-as para entender quais oferecem maior potencial de redução do problema apresentado.

As informações serão coletadas em fontes eletrônicas confiáveis, como artigos acadêmicos, teses e dissertações, consultando bases especializadas para garantir que os dados sejam relevantes e de alta qualidade.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Funcionamento do sistema da Bancada

Com a bancada montada, o primeiro procedimento consiste na realização do vácuo no sistema, com o objetivo de eliminar toda a umidade e possíveis gases não condensáveis. Essa etapa também permite verificar a estanqueidade do circuito, assegurando que não existam vazamentos (Monteiro, 2005).

Após confirmado o vácuo e a integridade do sistema, realiza-se a carga de fluido refrigerante. Em seguida, o sistema é colocado em operação com o acionamento do compressor. Com o compressor em funcionamento, o fluido refrigerante é

impulsionado pela linha de descarga até o condensador, onde ocorre a troca de calor e a mudança de fase do fluido, que passa do estado de vapor para o estado líquido (Monteiro, 2005).

O fluido, agora na forma líquida, segue pela linha de líquido, passando por um filtro secador. Esse componente tem a função de reter quaisquer vestígios de umidade ou impurezas que ainda possam estar presentes no sistema. A linha de líquido parte da saída do condensador e conduz o fluido até o dispositivo de expansão, que neste caso é um tubo capilar (Monteiro, 2005).

3.2 Componentes sistema refrigeração

3.2.1 Compressor Elgin TCM4021:

O compressor é o componente responsável por movimentar o fluido refrigerante no sistema, comprimindo-o após receber em forma de vapor com baixa pressão e temperatura. Por ser um dos principais consumidores de energia, sua escolha considerou rendimento e eficiência (Monteiro, 2005).

Para a bancada didática, foi selecionado o Compressor Elgin TCM4021, amplamente utilizado em aplicações comerciais. Trata-se de um modelo hermético alternativo de pistão, com potência de ¼ HP, compatível com o fluido R-404A, ideal para simulações de sistemas de baixa temperatura.



Figura 1- Compressor Elgin TCM4021.
Fonte:https://jetfrio.com.br/produtos/compressor-elgin-tcm4021-1-4hp-1f-r-404a-220v/?variant=689495752&pf=mc, 2024

3.2.2 Condensador Elgin CONDEN2776

O condensador é responsável por remover o calor do fluido refrigerante que chega do compressor em alta pressão e temperatura, promovendo sua mudança do estado gasoso para o líquido (Monteiro, 2005).

Na bancada didática, foi utilizado o Condensador Elgin CONDEN2776, modelo de resfriamento por ar forçado, com 16 tubos e conexões de 5/16", fabricado com tubos de cobre e aletas de alumínio, o que garante boa eficiência térmica. um modelo de resfriamento por ar forçado, ideal para aplicações em sistemas comerciais de congelamento e resfriamento. Ele é construído com tubos de cobre e aletas de alumínio, o que garante boa eficiência térmica na troca de calor.



Figura 2- Condensador Elgin CONDEN2776.
Fonte: Os autores, 2024

3.2.3 Evaporador Aletado de Cobre Horizontal 1/2 6 Tubos

O evaporador aletado horizontal, com seis tubos de cobre de 1/2", é um trocador de calor essencial nos sistemas de refrigeração e climatização. Sua função principal é absorver o calor do ambiente e transferi-lo ao fluido refrigerante, promovendo o resfriamento desejado. É amplamente utilizado em equipamentos para congelamento, refrigeração e armazenamento de alimentos, destacando-se pela eficiência térmica e versatilidade. Entre suas especificações, estão: capacidade térmica de 165 kcal/h a uma temperatura de evaporação de -10 °C e ausência de coifa.

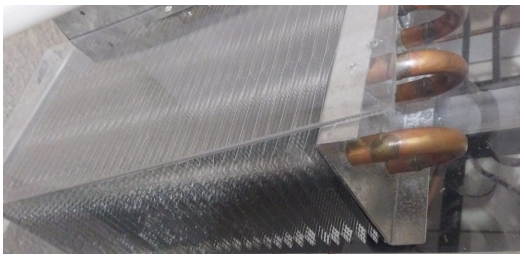


Figura 3- Evaporador Aletado de Cobre Horizontal 1/2 6 Tubos.
Fonte: Os autores, 2024

3.2.4 Filtro Secador Danfoss DML 032S

O filtro secador DML 032S é um componente essencial nos sistemas de refrigeração, atuando na remoção de impurezas e umidade da tubulação. Com núcleo de peneira molecular, oferece alta eficiência na secagem, prevenindo a formação de ácidos

e garantindo a proteção dos demais componentes. Pode ser instalado na linha de líquido ou de sucção, conforme a necessidade. Compatível com refrigerantes HFC e HCFC e óleos minerais, suporta até 46 bar de pressão e possui conexão de 1/4" ODF



Figura 4- Filtro Secador Danfoss DML
Fonte: www.eletrofrigor.com.br/produto/filtro-secador-032s-70-1-4-solda-danfoss-023z5048-1820, 2024.

3.2.5 Fluido Refrigerante R-404A

O R-404A é um fluido refrigerante amplamente utilizado em sistemas de refrigeração comercial de baixa e média temperatura, como freezers, balcões frigoríficos e câmaras frias. Trata-se de uma mistura zeotrópica composta por três hidrofluorcarbonetos (HFCs): R-125, R-143a e R-134a. Possui boas propriedades termodinâmicas, oferecendo alto desempenho e confiabilidade nos processos de troca térmica. Por não conter cloro em sua composição, o R-404A não agride a camada de ozônio, sendo uma alternativa mais segura do ponto de vista ambiental em comparação com refrigerantes CFCs e HCFCs. No entanto, apresenta potencial de aquecimento global (GWP) elevado, o que tem incentivado a busca por substitutos mais sustentáveis. Mesmo assim, ainda é amplamente utilizado devido à sua eficiência em aplicações comerciais e compatibilidade com óleos sintéticos como poliol éster (Monteiro, 2005).

3.3 Projeto Bancada

Com base nas premissas iniciais do projeto, optou-se por utilizar apenas os elementos essenciais ao funcionamento do ciclo de refrigeração, mantendo o foco didático e a simplicidade do sistema.

A Figura 05 ilustra o modelo tridimensional da bancada, destacando a disposição dos principais componentes: compressor, condensador, evaporador, termostato, estrutura da bancada, caixa de circulação de ar e o acrílico de proteção. Essa configuração permite visualizar claramente o funcionamento do ciclo de refrigeração, facilitando o processo de ensino-aprendizagem.

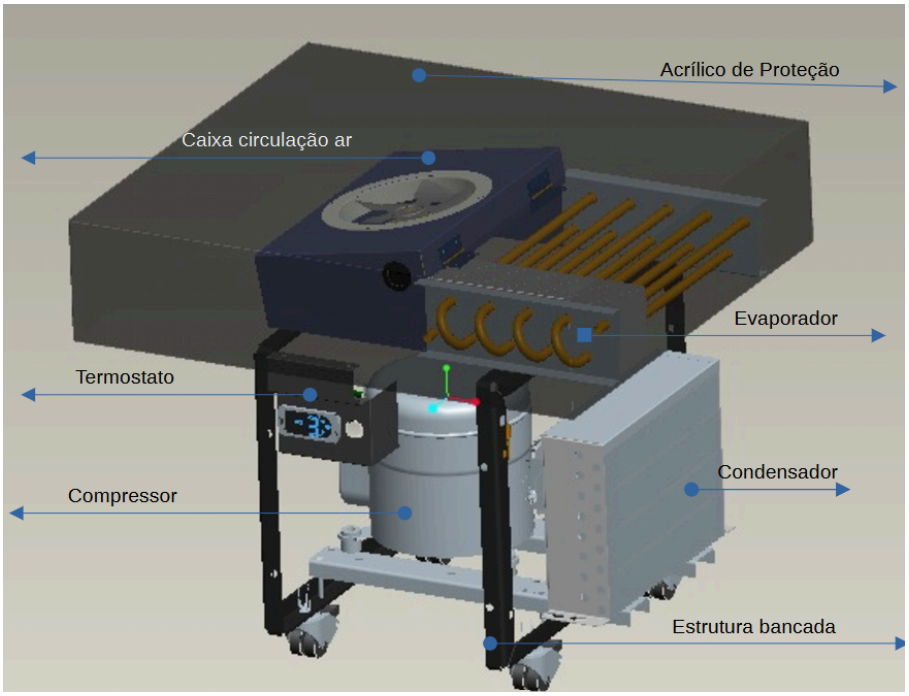


Figura 5- Modelo Tridimensional da bancada
Fonte: Os autores, 2024

3.4 Custos

Para viabilizar a construção da bancada didática de refrigeração, foi indispensável a aquisição dos componentes listados na tabela 1, que apresenta o levantamento detalhado dos custos envolvidos na elaboração do protótipo. Esse mapeamento foi fundamental para o controle orçamentário e para garantir a funcionalidade do sistema proposto.

Tabela 1: Custos. Fonte: Os Autores, 2024

Descrição	Quantidade	Valor Total
Compressor	1	R$ 865.30
Evaporador	1	R$ 153.40
Micro Motor	1	R$ 37.80
Caixa de Ar	1	R$ 32.50
Cabo de Forca	1	R$ 26.90
Serpentina	1	R$ 68.20
Filtro Secador	1	R$ 86.79
Capilar/ Expansor 2m	1	R$ 60.00
Controlador Carel	1	R$ 139.00
Sensor	1	R$ 5.00
Botão Liga/Desliga	1	R$ 2.00
Gás R-404A	1	R$ 32.50
Armacão Ferro 2.5m	1	R$ 60.00
Pta	1	R$ 55.30
Cantoneira	1	R$ 20.00
Tubo Cobre	1	R$ 62.40
Acumulador	1	R$ 60.00
Transformador	1	R$ 80.00
Acrilico	1	R$ 195.00
	Valor total:	**R$ 2.042,09**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Montagem Protótipo

A estrutura metálica foi montada para servir de suporte a todos os componentes, com verificação do nivelamento e da estabilidade para garantir a segurança durante a montagem.



Figura 6- Esrutura base.
Fonte: Os autores, 2024

4.2 Instalação do Compressor

O compressor foi posicionado na parte inferior central da estrutura e fixado utilizando suportes anti vibração, reduzindo ruídos e impactos, com as tubulações principais conectadas para garantir o funcionamento adequado do sistema.



Figura 7- Fixação do compressor
Fonte: Os autores, 2024

4.3 Instalação dos Componentes

O condensador foi fixado na lateral da estrutura, garantindo ventilação adequada, com a ligação ao compressor realizada por meio de tubulações de cobre. O evaporador foi instalado na parte superior da estrutura, permitindo a circulação adequada do fluido refrigerante, sendo fixado com suportes de metal para garantir estabilidade. Na sequência, o secador foi posicionado na linha de saída do condensador,

garantindo a remoção de umidade e partículas do fluido, enquanto a válvula de expansão foi instalada próxima ao evaporador para controlar o fluxo do fluido refrigerante.



Figura 8 -Fixação do condensador
Fonte: Os autores, 2024

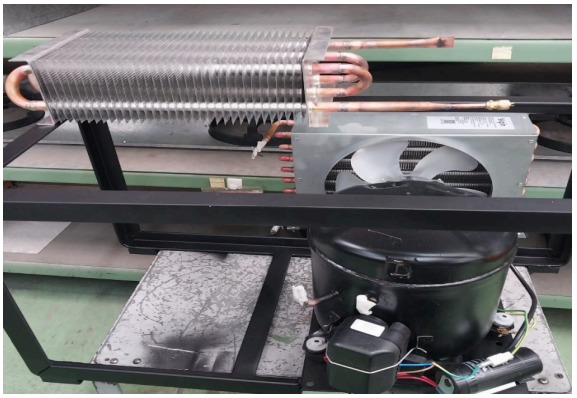


Figura 9- Fixação da caixa dcirculação
Fonte: Os autores, 2024



Figura 10-Instalação Painel
Fonte: Os autores, 2024

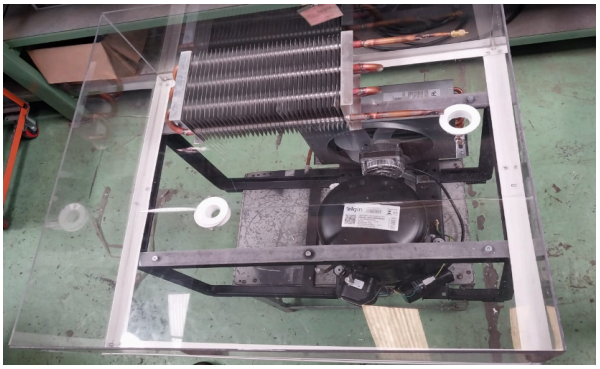


Figura 11- Instalação acrílico
Fonte: Os autores, 2024

4.4 Estrutura de Proteção

As placas de acrílico foram inseridas ao redor da estrutura para fornecer proteção e melhor visualização do sistema, sendo inseridas com parafusos e suportes metálicos. Em seguida, uma estrutura foi ajustada para facilitar o acesso aos componentes, permitindo manutenção ou instruções educacionais de forma prática e eficiente.

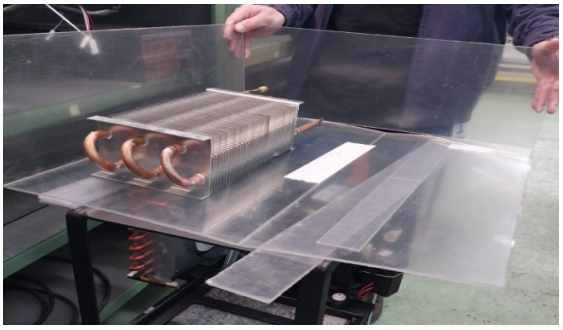


Figura 12- Instalação Evaporador
Fonte: Os autores, 2024

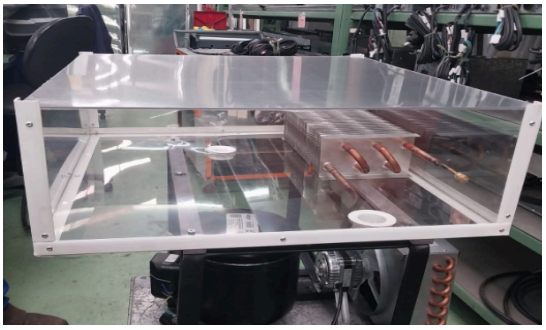


Figura 13- Estrutura acrilico finalizada
Fonte: Os autores, 2024

4.5 Conexões e Finalização

Foi realizada a instalação das placas de acrílico ao redor da estrutura, utilizando parafusos e suportes metálicos, com o objetivo de proteger e facilitar a visualização do sistema. Uma estrutura de acesso foi ajustada para permitir manutenção e uso educacional de forma prática. As tubulações de cobre foram conectadas entre os principais componentes: compressor, condensador, filtro secador, válvula de expansão e evaporador, com verificação de possíveis vazamentos. O painel de controle foi posicionado lateralmente, com botões de liga/desliga acessíveis. Após a energização, o sistema passou por testes de pressão e temperatura, seguidos de ajustes finais para garantir eficiência e segurança operacional.

4.6 Cálculo de Eficiência energética

Nesta seção, explicamos de forma simples como medimos a eficiência da bancada, usando dois conceitos básicos: o Coeficiente de Performance (COP) e a eficiência de Carnot.

4.6.1 Coeficiente de Performance (COP)

O Coeficiente de Performance (COP) de um sistema de refrigeração indica a razão entre o calor absorvido no evaporador e a energia elétrica consumida pelo compressor, sendo calculado pela relação COP = Q_{evap} / W_{in}. Por exemplo, se o compressor recebe 1 kW de potência elétrica e o sistema remove 5 kW de calor, o COP é igual a 5, o que significa que a cada unidade de energia elétrica consumida são geradas cinco unidades de refrigeração. Valores mais altos de COP representam maior eficiência energética, pois indicam maior capacidade de refrigeração por unidade de energia elétrica.

Para calcular o COP, medimos as temperaturas e pressões em dois pontos principais do ciclo:

- Temperatura do evaporador (Te): ponto frio, onde o gás absorve calor.
- Temperatura do condensador (Tc): ponto quente, onde o gás libera calor.

Os dados coletados da Tabela 2, temperatura do evaporador (T_e), temperatura do condensador (Tc), pressão de sucção (Pb) e pressão de descarga (Pa), serão utilizados para realizar os cálculos do Coeficiente de Performance e da eficiência de Carnot

Tabela 2: Dados obtidos. Fonte: Os autores, 2024

Teste	Pb (Psi)	Pa (Psi)	Te (°C)	Tc (°C)
1	23	100	1	25
2	20	98	-1	36
3	21	97	-2	33
4	22	99	1	26
5	24	98	-6	45

Primeiramente foi calculado o coeficiente de performance utilizando a equação 1, com as temperaturas obtidas e as transformando em Kelvin.

$$\beta_{máx} = \frac{T_f}{T_q - T_f} \quad (1)$$

$\beta m_1 = 298{,}15/(298{,}15-274{,}15)=12{,}42$

$\beta m_2 = 309{,}15/(309{,}15-272{,}15)=8{,}35$

$\beta m_3 = 306{,}15/(306{,}15-271{,}15)=8{,}74$

$\beta m_4 = 299{,}15/(299{,}15-274{,}15)=11{,}96$

$\beta m_5 = 318{,}15/(318{,}15-267{,}15)=6{,}38$

Em seguida para obtermos uma confirmação dos resultados realizamos novamente os cálculos do coeficiente de performance utilizando a equação 2, por meio das entalpias encontradas pela tabela de propriedades do gás R-404a.

$$Cop = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

onde:

- h_1: entalpia do vapor saturado na evaporação
- h_2: entalpia do vapor saturado na condensação
- h_4: entalpia do líquido saturado na condensação

$$Cop_1 = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{368{,}9 - 237{,}9}{380{,}4 - 368{,}9} = 11{,}17 \quad | \quad Cop_4 = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{368{,}9 - 239{,}5}{380{,}8 - 368{,}9} = 11{,}27$$

$$Cop_2 = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{367{,}7 - 256{,}5}{384{,}1 - 367{,}7} = 6{,}70 \quad | \quad Cop_5 = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{365{,}5 - 273{,}2}{385{,}8 - 365{,}5} = 4{,}57$$

$$Cop_3 = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{366{,}8 - 246{,}0}{382{,}2 - 366{,}8} = 7{,}73$$

Por último, na equação 3 calculamos a sua eficiência de Carnot, utilizando a equação:

$$N = 1 - \frac{T_f}{T_q} \qquad (3)$$

Ec_1 $N = 1 - \frac{274{,}15}{298{,}15} = 0{,}079 \approx 7{,}9\%$

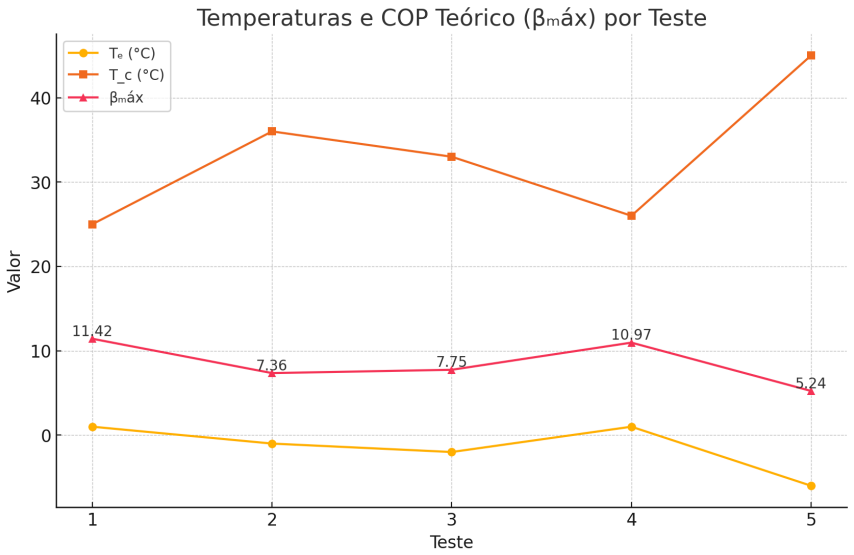
Ec_2 $N = 1 - \frac{272{,}15}{309{,}15} = 0{,}119 \approx 11{,}9\%$

Ec_3 $N = 1 - \frac{271{,}15}{306{,}15} = 0{,}114 \approx 11{,}4\%$

Ec_4 $N = 1 - \frac{274{,}15}{299{,}15} = 0{,}084 \approx 8{,}4\%$

Ec_5 $N = 1 - \frac{267{,}15}{318{,}15} = 0{,}160 \approx 16{,}0\%$

Tabela 3: Gráfico dos resultados obtidos. Fonte: Os autores, 2024



O gráfico mostra como a variação das temperaturas afeta o COP teórico (β□áx):

- **Temperatura de evaporação (T_e):** cai nos testes 2 e 3 (até –2 °C), volta a subir no teste 4 (1 °C) e atinge o valor mínimo no teste 5 (–6 °C).

- **Temperatura de condensação (T_c):** aumenta forte do teste 1 ao 2, mantém-se em patamar elevado no 3, cai no 4 e volta ao pico no 5 (45 °C).

Como resultado, o **COP teórico** (β□áx) — que é proporcional a Te/(Tc−Te)T_e/(T_c - T_e)Te/(Tc−Te) — tende a:

1. **Valores mais altos** (≈11–12) quando o **salto térmico** Tc−TeT_c - T_eTc−Te é menor (testes 1 e 4).
2. **Valores intermediários** (≈7–8) para diferenças moderadas (testes 2 e 3).
3. **Valor mínimo** (≈5) no teste 5, em que a diferença 45°C–(–6°C)45 °C – (–6 °C)45°C–(–6°C) é a maior.

7. CONCLUSÃO

Concluímos que a utilização dessa bancada como ferramenta de auxílio didática irá permitir que os acadêmicos compreendam melhor os conceitos fundamentais, como eficiência energética, pressão e temperatura ao longo do ciclo de refrigeração. Essa abordagem prática auxilia na fixação dos conteúdos teóricos, oferecendo uma visão mais clara do comportamento dos sistemas de refrigeração. Além disso, muitos acadêmicos enfrentam dificuldades nas disciplinas que envolvem sistema de refrigeração devido à complexidade dos conceitos envolvidos.

A bancada didática possibilita uma melhor assimilação desses conhecimentos, tornando o aprendizado mais acessível e estimulando o desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais para a atuação profissional no setor de engenharias, tecnólogos e áreas correlatas.Com base nos resultados obtidos, concluímos que a bancada didática de refrigeração mecânica é uma ferramenta eficaz para o ensino prático das matérias que envolvam o ciclo de refrigeração. A bancada pode ser aprimorada futuramente com a adição de sensores mais precisos e integração com softwares de monitoramento de dados.

8. REFERÊNCIAS

- SOUZA, J. A. História da Refrigeração. São Paulo: Editora Técnica, 2007.
- JABARDO, J.M. Refrigeração Industrial. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002. 2° Edição.
- DE CASTRO, José, Apostila de Refrigeração. Petrolina, 2008.
- MONTEIRO, M.A.G. et al. Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial. Rio de Janeiro, Eletrobrás; Procel, 2005.
- RODRIGUES, M. J; JURACH, P. J; GIORDANI, R. E. Bancada Didática de Pneumática. CEFET. Rio Grande do Sul, 2003.
- COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL. Laboratório de Refrigeração. Disponível em: https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/ctism/laboratorio-de-refrigeracao. Acesso em: 01 out. 2024.
- JETFRIO. Produtos. Compressor Elgin Tcm4021, 15 nov. 2024, Especiais. Online. Disponível em: https://jetfrio.com.br/produtos/compressor-elgin-tcm4021-1-4hp-1f-r-404a-220v/?variant=689495752&pf=mc. Acesso em: 01 nov. 2024.
- MULTIFRIO. Refrigeração. Serpentinas Aletadas, 15 nov. 2024. Disponível em: https://www.multifrioshop.com/refrigeracao/serpentinas-aletadas/serpentina-aletada-horizontal-12-6-tubos-90-cm. Acesso em: 01 nov. 2024.
- DANFOSS. Produtos. Filtros Secadores, 15 nov. 2024 Disponível em: https://www.danfoss.com/pt-br/products/dcs/filters-strainers-and-oil-management/filter-driers/dml-dcl-hermetic-filter-drier-hfc-optimized/ Acesso em: 01 nov. 2024.
- SOMERTON, C.W . Termodinâmica Para Engenheiros. São Paulo: Editora Bookman. 3° ed, 2017
- FREON. Thermodynamic. Properties, 18 Fev. 2025 Disponível em: https://www.freon.com/pt-br/-/media/files/freon/freon-404a--thermodynamic-properties-si.pdf?rev=77b635148012443791253ef7edba1e69