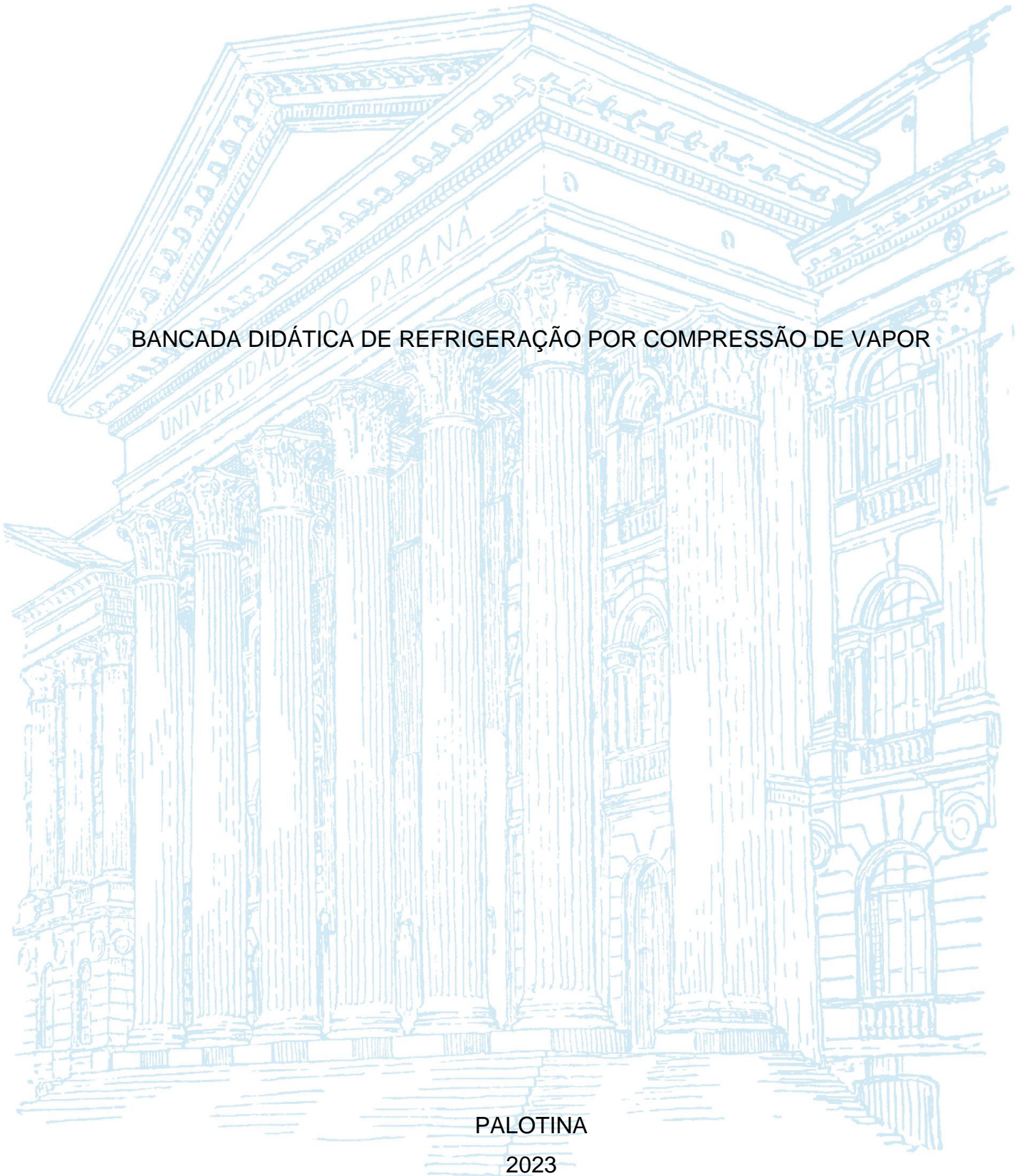


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR AUGUSTO PANSANATO VILLAS BÔAS

BANCADA DIDÁTICA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR



PALOTINA

2023

VICTOR AUGUSTO PANSANATO VILLAS BÔAS

BANCADA DIÁTICA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia de Energia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Wilson de Aguiar Beninca

PALOTINA

2023

TERMO DE APROVAÇÃO

VICTOR AUGUSTO PANSANATO VILLAS BÔAS

BANCADA DIDÁTICA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Graduação em Engenharia de Energia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Energia

Prof. Dr. Wilson de Aguiar Beninca

Orientador – Departamento Engenharia e Exatas, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin

Departamento Engenharia e Exatas, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto

Departamento de Engenharia Mecânica, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Palotina, 30 de Junho de 2023.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos trinta dias do mês de junho do ano de 2023, no horário das 13h30min às horas, na plataforma virtual *meet* link: <https://meet.google.com/tgw-ucaw-tkz>, compareceram para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Engenheiro de Energia o aluno Victor Augusto Pansanato Villas Bôas, tendo como Título do Trabalho de Conclusão de Curso "*Bancada didática de refrigeração por compressão de vapor*". Constituíram a Banca Examinadora os professores: Prof. Dr. Wilson de Aguiar Beninca (Orientador e Presidente da Banca), Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin e Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto. O orientador e Presidente da Banca concedeu a palavra ao discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir o discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído ao discente as seguintes notas: **Prof. Dr. Wilson de Aguiar Beninca, nota: 85 (Oitenta e cinco)**, **Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin, nota: 80 (Oitenta)**, e **Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto, nota: 75 (Setentae cinco)**. A nota final do discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi **80 (Oitenta)** considerando o discente **APROVADO**. As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelo discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **WILSON DE AGUIAR BENINCA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2023, às 17:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO LUCAS KONRAD BURIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2023, às 14:42, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Ismael de Marchi Neto, Usuário Externo**, em 02/08/2023, às 17:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5418785** e o código CRC **AF780E3F**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão, que me ajudaram e incentivaram durante este percurso.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Wilson de Aguiar Beninca, pela minha orientação, formação e conselhos ao longo dos anos.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina e todos os docentes que contribuíram com a minha formação acadêmica.

Agradeço por todos os amigos que fiz durante a trajetória acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma bancada didática para o ensino e pesquisa em refrigeração por compressão de vapor. Essa bancada proporciona aos alunos uma experiência prática e aprofunda seus conhecimentos teóricos nessa área. A bancada foi cuidadosamente projetada para simular um sistema de refrigeração real. Ela integra componentes essenciais, tais como compressor, condensador, evaporador, válvula de expansão e instrumentação para medição de variáveis como temperatura e pressão. O desenvolvimento do projeto foi realizado em três etapas principais: projeto, construção e testes. Na etapa de projeto, foram estabelecidos os requisitos e especificações da bancada. Selecionaram-se os componentes ideais e elaboraram-se os desenhos técnicos e diagrama elétrico necessários. Todos esses detalhes foram minuciosamente planejados para garantir o pleno funcionamento e eficiência do sistema projetado. Na etapa de construção, os processos de montagem, soldagem, pintura, instalação dos componentes e conexões elétricas foram executados com precisão e cuidado, visando a máxima qualidade e segurança da bancada. Na etapa de testes, foram realizados os cálculos de superaquecimento, subresfriamento e o cálculo do COP (coeficiente de desempenho) da bancada, obtendo um valor de eficiência da segunda lei da termodinâmica de 5,33%. De forma geral, a bancada mostrou-se útil e adequada para demonstrar, de forma didática, o funcionamento do ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

Palavras-chave: Refrigeração por compressão de vapor. Bancada didática, ensino e pesquisa, experiência prática.

ABSTRACT

The objective of the present work was to develop a didactic bench for teaching and research in vapor compression refrigeration. This bench provides students with a practical experience and deepens their theoretical knowledge in this area. The bench was carefully designed to simulate a real refrigeration system. It integrates essential components such as compressor, condenser, evaporator, expansion valve, and instrumentation for measuring variables like temperature and pressure. The project development was carried out in three main stages: design, construction, and testing. In the design stage, the requirements and specifications of the bench were established. The ideal components were selected, and the necessary technical drawings and electrical diagrams were elaborated. All these details were meticulously planned to ensure the proper functioning and efficiency of the designed system. In the construction stage, assembly processes, welding, painting, installation of components, and electrical connections were executed with precision and care, aiming for maximum quality and safety of the bench. In the testing stage, calculations for superheating, subcooling, and the calculation of the COP (Coefficient of Performance) of the bench were performed, obtaining an efficiency value of 5.33% according to the second law of thermodynamics. Overall, the bench proved to be useful and suitable for demonstrating, in a didactic manner, the operation of the vapor compression refrigeration cycle.

Keywords: Vapor compression refrigeration. Didactic platform, teaching and research, practical experience.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO DE CARNOT	19
FIGURA 2 – CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR.....	19
FIGURA 3 – DIFERENÇAS ENTRE O CICLO IDEAL E O CICLO REAL	21
FIGURA 4 – ESQUEMA MONTAGEM BANCADA.....	28
FIGURA 5 - BANCADA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR...31	

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO	26
TABELA 2 – FUNÇÃO DOS COMPONENTES.....	27
TABELA 3 – INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA.....	27
TABELA 4 - DADOS COLETADOS DA BANCADA	32
TABELA 5 - ÁREA DO TROCADOR DE CALOR	32

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

COP - Coeficiente de performance

CFM – *Cubic feet (per) minute*

CLP – Controlador lógico programável

HP – *Horse power*

ISO – *International Organization for Standardization*

NBR – Norma brasileira

MAP – *Modified atmosphere packaging*

Sae – *Society of automotive engineers*

LISTA DE SÍMBOLOS

- ® - Marca registrada
- % - Porcentagem
- A – Ampere
- kg – Quilograma
- kg/m³ - Quilograma por metro cúbico
- kg/s – Quilograma por segundo
- kJ/kgK – Quilojoule por quilograma kelvin
- kPa – Quilopascal
- kW – Quilowatts
- m/s – Metro por segundo
- m³/s – Metro cúbico por segundo
- m² - metro quadrado
- m – Metro
- mA – Miliampere mm – Milímetros
- η_2 – Eficiência da 2ª Lei
- Pç – Peça
- Q_C – Calor absorvido no evaporador
- Q_H – Calor rejeitado no condensador
- S_A – Superaquecimento
- S_R – Subresfriamento
- T_C – Temperatura fonte fria
- T_E – Temperatura de evaporação saturada
- T_S – Temperatura de sucção
- T_L – Temperatura de líquido
- T_H – Temperatura fonte quente
- T_{cond} – Temperatura de condensação saturação
- V – Volt
- W_C – Trabalho realizado pelo sistema

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	CICLO DE CARNOT.....	18
2.2	CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR.....	20
2.2.1	Superaquecimento e sub-resfriamento.....	22
2.2.2	Coeficiente de Performance (COP)	23
2.2.3	Fluidos Refrigerantes.....	24
2.2.4	Bancada de refrigeração	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	PREPARAÇÃO DA BANCADA	29
3.2	PROCEDIMENTOS DOS TESTES NA BANCADA	29
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	35
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE 1 – DIAGRAMA ELÉTRICO DA BANCADA	38

1 INTRODUÇÃO

Os progressos alcançados no setor da refrigeração possibilitaram à humanidade estabelecer as condições de conforto térmico essenciais para a eficácia na execução de suas atividades e para a sobrevivência em regiões com climas desafiadores. Desse modo, com a incessante busca por conforto e praticidade ao longo do tempo pela população mundial fez com que os engenheiros e pesquisadores estudassem alternativas para trazer estes benefícios para a sociedade. Uma destas alternativas são conhecidos como ciclos de refrigeração. Com a crescente preocupação com o consumo de energia e o aumento significativo da população previsto nos próximos anos, conforme indicado pela perspectiva de crescimento populacional das Nações Unidas (*United Nations*, 2023), o cenário está propício para pesquisas sobre os temas de eficiência energética e uso racional de energia. Isso se deve ao fato de que o aumento na produção de bens de consumo está impulsionando a demanda por energia, tornando essas pesquisas ainda mais relevantes. Neste contexto, o estudo de sistemas térmicos tornou relevante para o cenário atual, sendo necessário analisar o funcionamento do sistema e particularidades em sua operação.

A pesquisa para melhorar a eficiência dos ciclos termodinâmicos, vem entusiasmando os engenheiros a estudar os principais componentes presentes neste ciclo. Um dos ciclos analisados é o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, composto por componentes fundamentais, que incluem um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão e um evaporador. O desempenho destes ciclos termodinâmicos está diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica.

Diversas tecnologias estão sendo estudadas e implementadas na área de refrigeração nas últimas décadas, principalmente após a criação da NBR ISO 50001:2018, com o intuito de conseguir a certificação de Gestão de Energia, ocasionando que os futuros engenheiros habilitados para trabalhar na área de refrigeração, possuíssem pleno domínio nas operações, características deste sistema, funcionamento do ciclo e parâmetros que afetam o desempenho. Neste contexto, o desenvolvimento de sistemas didáticos e ensinamentos experimentais, torna-se cada vez mais viável na formação destes profissionais.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização mais eficiente da energia elétrica é um assunto que demonstra a importância e a viabilidade econômica de melhoria em todos os setores da economia (ANEEL, 2022), juntamente com a NBR ISO 50001:2018. Portanto, as pesquisas realizadas nas universidades despertam um grande interesse devido à busca por uma utilização mais consciente dos recursos naturais disponíveis e aos benefícios financeiros resultantes dessa abordagem.

Considerando a grande importância da aplicação dos ciclos de refrigeração nos ambientes, ocasionando o maior índice de gastos energéticos, neste contexto, estes ciclos são ótimas fontes de estudos e pesquisas, quando em conjunto com o cenário de frequente aumento no custo da energia elétrica, estes estudos previamente se tornam necessários para buscar uma maior compreensão sobre o tema, com o intuito de aperfeiçoar os conhecimentos e inibir a complexidade dos ciclos termodinâmico no âmbito universitário.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Com a complexidade no entendimento dos ciclos termodinâmico de maneira prática, o presente trabalho tem como objetivo construir uma bancada contendo um ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

1.2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos destacam-se a construção de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor, com a identificação das regiões de alta e baixa pressão, além de desenvolver um diagrama elétrico que auxilie no entendimento do circuito. A bancada desenvolvida terá a capacidade de obter dados e visualizar diversos fenômenos relacionados ao sub-resfriamento, superaquecimento e quedas de pressão do fluido ao passar pelo condensador, evaporador e tubulações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

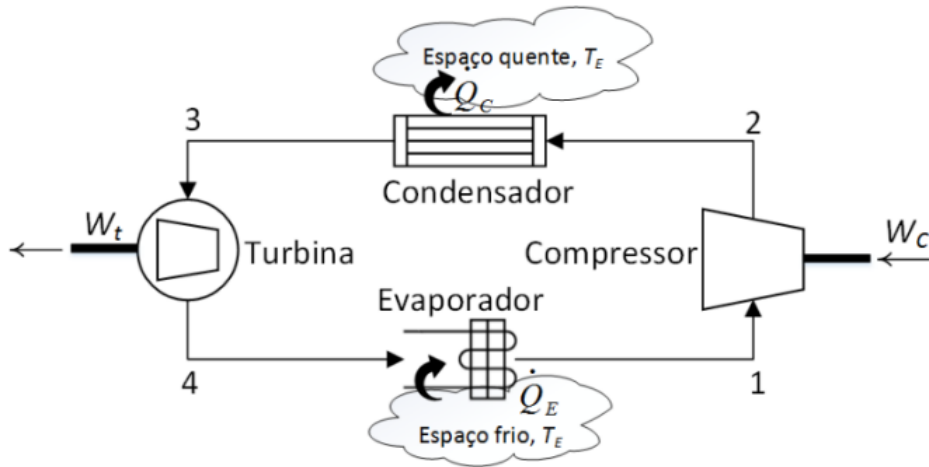
A refrigeração consiste em retirar o calor de um determinado ambiente e manter essa condição por meio de processos naturais ou mecânicos. A refrigeração tem diversas aplicações, sendo a conservação de alimentos e o conforto térmico (SILVA, 2004). Segundo Hermes (2006), é possível aproveitar qualquer fenômeno físico ou químico de natureza endotérmica, ou seja, que absorve calor, para gerar resfriamento. No entanto, para que esse fenômeno seja aplicado de maneira útil e prática na refrigeração, é necessário que ocorra de forma cíclica e contínua. Isso significa que o refrigerante passa por uma série de transformações, incluindo uma etapa em que absorve calor, e retorna ao seu estado inicial para reiniciar o ciclo novamente. Essa sequência de transformações é essencial para o funcionamento adequado do sistema de refrigeração.

Uma unidade de refrigeração é um dispositivo que operando segundo um ciclo termodinâmico, necessita de trabalho para que se obtenha a transferência de calor de uma região com temperatura mais baixa para outra com temperatura mais alta (CAVALCANTI *et al*, 2005). O ciclo de compressão a vapor é o mais usado nos sistemas de refrigeração, no qual o refrigerante é vaporizado e condensado alternadamente e é comprimido na fase de vapor. Outros quatro ciclos de refrigeração também são utilizados, como o ciclo de refrigeração a gás, refrigeração em cascata, refrigeração por absorção e a refrigeração termoelétrica (ÇENGEL; BOLES, 2013). O sistema de refrigeração à compressão de vapor se origina a partir do ciclo de refrigeração de Carnot.

2.1 CICLO DE CARNOT

Na termodinâmica, o ciclo de Carnot é representado por um processo cíclico reversível que se divide em quatro processos, sendo que dois processos são isotérmicos e dois adiabáticos (TOIGO, 2013). O ciclo opera entre dois limites de temperatura especificados que não alteram suas propriedades com o processo, um em alta temperatura e outro em baixa temperatura. É considerado ideal porque opera de forma reversível (FIGURA 1), e essa reversibilidade permite obter o maior coeficiente de desempenho sob os níveis estabelecidos de temperatura.

FIGURA 1 - CICLO DE CARNOT

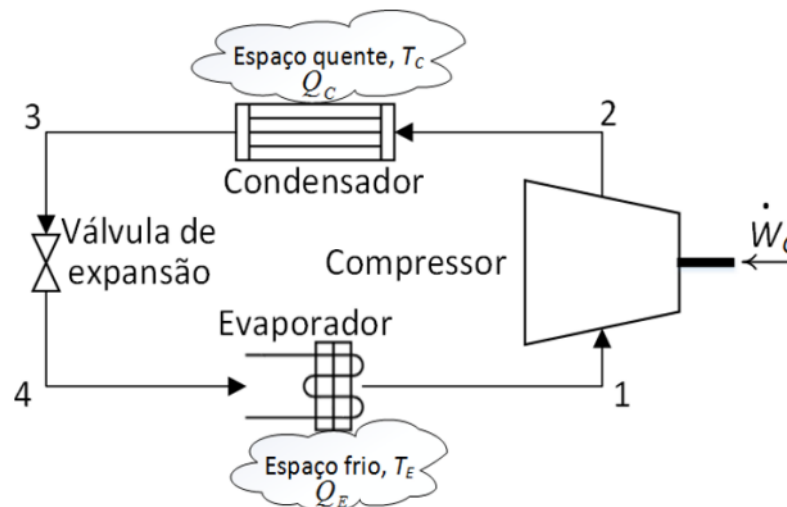


FONTE: Alvarez (2019)

O ciclo de Carnot pode atuar como um motor térmico, utilizando o calor do reservatório de alta temperatura e rejeitando o excedente num reservatório de baixa temperatura. Se operado de forma inversa e reversível, o ciclo passa a se comportar como um refrigerador, que desloca calor do reservatório de baixa temperatura para o de alta temperatura, à custa de um trabalho (TOIGO, 2013; ELETROBRÁS, 2005).

Se forem feitas algumas modificações no ciclo de Carnot reverso, como a inclusão de uma válvula de expansão ou um tubo capilar, o ciclo se transformaria em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor teórico (FIGURA 2), tornando-o semelhante ao princípio de funcionamento do ciclo de refrigeração mais amplamente utilizado atualmente. (ELETROBRÁS, 2005; ALVAREZ, 2019).

FIGURA 2 - CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR



FONTE: Adaptado de Alvarez (2019)

A compressão adiabática e reversível ocorre entre os estados 1 e 2. A rejeição de calor a temperatura constante ocorre entre os estados 2 e 3. A expansão adiabática ocorre entre os estados 3 e 4. Por fim, a remoção isotérmica de calor de um ambiente a baixa temperatura acontece entre os estados 4 e 1 (TOIGO, 2013; ÇENGEL; BOLES, 2013; ELETROBRÁS, 2005; ALVAREZ, 2019). Conforme Alvarez (2019), os sistemas de refrigeração baseados no ciclo de Carnot não levam em conta as variações dos ciclos reais de refrigeração devido a fatores como a transferência de calor entre o refrigerante e o ambiente circundante, bem como o atrito do fluido, que resulta em perdas de pressão. Além disso, em um sistema real, as transferências de calor ocorrem de forma irreversível, o que significa que cada irreversibilidade no sistema exige trabalho adicional no compressor, resultando em uma redução na eficiência do ciclo. No entanto, o ciclo reverso de Carnot, ou ciclo teórico, pode servir como um padrão de comparação para os ciclos de refrigeração reais por compressão de vapor (ÇENGEL; BOLES, 2013; CARLESSO *et al.*, 2020; MACHADO, 2006).

2.2 CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR

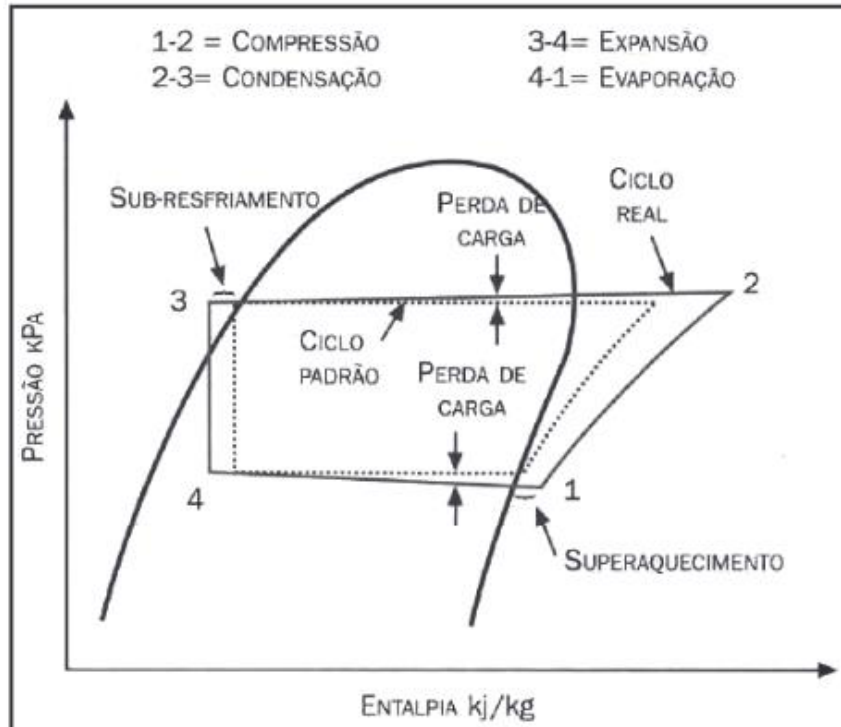
No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, a energia proveniente do trabalho realizado pelo compressor é empregada para elevar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante, que ingressa no compressor no estado gasoso. O vapor resultante, sob alta pressão e temperatura, é encaminhado para o condensador, onde libera calor para o ambiente, ocasionando a condensação do fluido refrigerante. O líquido condensado é então direcionado ao dispositivo de expansão, onde ocorre uma transformação de estado do líquido de alta pressão (em um processo isoentálpico), convertendo-se em uma mistura de líquido e vapor de baixa pressão e temperatura. O fluido refrigerante, em seguida, absorve calor do ambiente ou do sistema a ser refrigerado, utilizando essa energia para vaporizar-se, e continua seu percurso em direção ao compressor, completando assim o ciclo (TOIGO, 2013; ÇENGEL; BOLES, 2013; ELETROBRÁS, 2005; ALVAREZ, 2019).

De acordo com Santos (2020), os ciclos de refrigeração são processos termodinâmicos que operam através da utilização de aparelhos de refrigeração - dispositivos repetitivos que utilizam um fluido de trabalho, conhecido como gás refrigerante. Esse gás passa por processos de alterações de fase, como condensação e evaporação, até retornar ao seu estado inicial. Essas mudanças de

fase são responsáveis pelo resultado termodinâmico da refrigeração (ELEKTRO, 2012; SANTOS, 2020).

O ciclo de refrigeração real difere do ciclo ideal devido à presença de fenômenos irreversíveis nos componentes. O atrito durante o fluxo do refrigerante e a transferência de calor entre o refrigerante e o ambiente são duas formas comuns de irreversibilidade. O processo de compressão no sistema real difere significativamente da compressão isentrópica assumida no ciclo ideal. Cada irreversibilidade no sistema requer trabalho adicional no compressor, o que resulta em uma redução do COP (ALVAREZ, 2019; ELETROBRÁS, 2005; ELEKTRO, 2012; CARLESSO, 2020). Na FIGURA 3, o diagrama de pressão e entalpia ilustra um ciclo de refrigeração por compressão de vapor. O ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor, que é uma variante específica do ciclo de Carnot, é ilustrado por linhas tracejadas. Em contraste, o ciclo real de refrigeração por compressão de vapor é representado por linhas contínuas em preto. As divergências entre eles são resultado das irreversibilidades mencionadas anteriormente.

FIGURA 3 - DIFERENÇAS ENTRE O CICLO IDEAL E O CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO



FONTE: Adaptado de Machado (2006).

Existem algumas discrepâncias principais entre o ciclo real e o ciclo ideal, que são as seguintes: ocorre uma queda de pressão nas tubulações, tanto no condensador quanto no evaporador, devido às perdas de carga. Além disso, no ciclo

real, o processo de compressão não é isentrópico, ou seja, não ocorre de maneira adiabática e reversível, como acontece no ciclo ideal (ALVAREZ, 2019; ELETROBRÁS, 2005; ELEKTRO, 2012; CARLESSO, 2020).

2.2.1 Superaquecimento e sub-resfriamento

De acordo com Dossat (2004), o superaquecimento está relacionado à queda de pressão nas tubulações, condensador e evaporador devido ao fluxo do refrigerante. Ele representa a diferença entre a temperatura de sucção (T_S) e a temperatura de evaporação saturada (T_E). A equação (1) apresenta a maneira de calcular o valor do superaquecimento.

$$S_A = T_S - T_E \quad (1)$$

Segundo Bitzer (2005a), os valores recomendados para o superaquecimento em sistemas de refrigeração que utilizam fluidos refrigerantes estão entre 8 e 20 °C. Com base no resultado obtido pela equação (1), é possível avaliar o desempenho do sistema de refrigeração.

Um superaquecimento muito baixo pode levar ao retorno de líquido para o compressor, resultando em falhas mecânicas prematuras, como diluição do óleo no fluido, falhas nos mancais, travamento das bielas no virabrequim, travamento dos anéis nos pistões, travamento dos pistões nos cilindros, quebra de bielas e pistões, entre outras anomalias. Por outro lado, um superaquecimento muito alto resultará em altas temperaturas de descarga, o que pode causar carbonização do óleo, danos aos anéis dos pistões, às paredes dos cilindros e às camisas. Portanto, na sucção do compressor, é recomendado que o superaquecimento total esteja no mínimo de 8 °C para evitar o retorno de líquido, o que poderia resultar em falhas mecânicas do compressor, e no máximo de 20 °C para evitar uma redução na eficiência frigorífica devido ao aumento da potência consumida pelo compressor, temperaturas de descarga elevadas e carbonização do óleo (Bitzer, 2005b).

De acordo com Matos (2009), no ciclo saturado simples, presume-se que o refrigerante líquido chegue ao dispositivo de expansão no estado de líquido saturado. No entanto, na prática, isso raramente ocorre, pois, o líquido "quente" que sai do condensador tende a perder calor e se sub-resfriar. A equação (2) representa esse processo.

$$S_R = T_{cond} - T_L \quad (2)$$

O subresfriamento (S_R) é a diferença entre a temperatura de saturação (T_{cond}) e a temperatura na linha de líquido (T_L) (Matos, 2009). De acordo com as melhores práticas de refrigeração, é geralmente desejável que o sub-resfriamento natural do líquido proveniente do condensador varie entre 3 °C e 5 °C (Bitzer, 2005b).

O sub-resfriamento é necessário para evitar que o refrigerante chegue ao evaporador já no estado gasoso, o que reduziria sua capacidade de absorver calor. Com um sub-resfriamento inadequado, a válvula de expansão pode ter dificuldade em regular o fluxo de refrigerante, resultando em um desempenho insatisfatório do sistema.

2.2.2 Coeficiente de Performance

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, é necessário fornecer uma quantidade específica de energia sob a forma de trabalho para operar o ciclo, atuando sobre o compressor. Como resultado, o gasto necessário para alcançar o objetivo desejado, que é o efeito frigorífico, pode ser medido e referenciado pelo Coeficiente de Performance ou Desempenho (COP). O COP é uma medida utilizada para avaliar a eficiência de um ciclo de refrigeração, indicando a relação entre a quantidade de calor removido do ambiente refrigerado e a quantidade de trabalho necessário para realizá-lo. (OLIVEIRA, 2019; ALVAREZ, 2019).

Deste modo, o COP é um indicativo utilizado para demonstrar a eficiência do ciclo de refrigeração. É determinado pela razão entre a quantidade retirada do ambiente através do evaporador (Q_C) e o trabalho realizado por esse sistema (W_C), conforme equação (3).

$$COP_{REAL} = \frac{Q_C}{W_C} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \quad (3)$$

Para o ciclo de refrigeração de Carnot, o COP é dado em função das temperaturas extremas do ciclo (fonte quente e fonte fria), de acordo com a equação (4).

$$COP_{CARNOT} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (4)$$

Ao examinar as equações, fica claro que quanto menor for a diferença entre as temperaturas de evaporação e condensação, maior será o Coeficiente de Performance (COP). Essas temperaturas são estabelecidas com base no local de instalação e nas condições de operação do equipamento. Para a obtenção de um COP elevado, está relacionado com uma redução na temperatura de condensação T_H , por outro lado, se houver uma redução na temperatura de evaporação T_C resulta em um COP menor. Entretanto, o COP acaba sendo mais afetado pela elevação de temperatura de evaporação do que por uma redução correspondente da temperatura de condensação (OLIVEIRA, 2019; GERONIMO, 2017; PIMENTA, 2015; ÇENGEL, 2013).

Para um ciclo de refrigeração de Carnot, o COP_{CARNOT} é calculado usando a equação (4), enquanto o COP_{REAL} é calculado usando a equação (3). Com base nesses dois valores distintos, é possível determinar a eficiência de 2ª Lei, conforme mostrado na equação (5), que relaciona o COP real com o COP de Carnot. Isso é válido para um refrigerador específico que opera entre duas fontes de temperatura fixas (ÇENGEL; BOLES, 2013).

$$\eta_2 = \frac{COP_{REAL}}{COP_{CARNOT}} \quad (5)$$

Mesmo sendo o COP de um sistema real sempre menor que do teórico, para as mesmas condições de operação, com o ciclo teórico é possível verificar que alguns parâmetros influenciam no desempenho do sistema, como: a temperatura de evaporação e condensação, o subresfriamento e o superaquecimento (GERONIMO, 2017; TOIGO, 2013).

2.2.3 Fluidos Refrigerantes

O refrigerante desempenha o papel de fluido de trabalho no ciclo de refrigeração, passando por fases alternadas de vaporização e condensação enquanto absorve e libera energia térmica. Em outras palavras, um fluido refrigerante é utilizado para absorver o calor do ambiente a ser resfriado por meio de sua vaporização. Para cada sistema de refrigeração deve-se escolher o fluido

refrigerante que atenda melhor as necessidades do sistema (GERONIMO, 2017; GENIÉR et al., 2013).

Um refrigerante adequado deve apresentar determinadas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas que garantam sua segurança. No entanto, não existe um fluido refrigerante que reúna todas as propriedades desejáveis em uma única substância. Sendo assim, um refrigerante só se aproxima das condições ideais somente quando suas propriedades satisfazem as condições e exigências de uma determinada aplicação (MATOS, 2010; GENIÉR et al., 2013).

2.2.4 Bancada de refrigeração

Perrenoud (2000) propõe que os professores não devem apenas possuir conhecimento e domínio sobre as matérias que ensinam, mas também dominar as competências que anteriormente eram exclusivas dos inovadores. Atualmente, muitos métodos de ensino se tornaram obsoletos, o que ressalta a importância de os educadores inovarem e criarem novas formas de lecionar, com o objetivo de tornar o conteúdo mais interessante, envolvente e estimulante para os alunos. Dessa forma, os alunos são incentivados a buscar e pensar em soluções para as atividades propostas.

Segundo Carlesso *et al* (2020), consideram-se que o ensino de refrigeração é essencial e indispensável para a sociedade devido à ampla aplicação desse processo, tanto na conservação de produtos e alimentos quanto no controle de temperatura em ambientes. Em sistemas de refrigeração comerciais e industriais, é crucial acompanhar e corrigir adequadamente possíveis erros.

De acordo com a pesquisa conduzida por Toigo (2013), é ressaltado que adquirir uma compreensão dos mecanismos e fenômenos termodinâmicos envolvidos em um sistema de refrigeração por compressão de vapor pode representar um desafio de natureza complexa. Isso ocorre devido à ampla gama de parâmetros envolvidos e à influência que exercem nas condições de operação e eficiência do sistema. O trabalho descreve os conceitos e a metodologia empregada para criar uma bancada didática que viabiliza a análise experimental desse tipo de sistema. Sendo o objetivo da bancada é criar um ambiente propício para a realização de estudos práticos do sistema de refrigeração por compressão de vapor, com o intuito de aprofundar a compreensão do seu funcionamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema didático que auxilie na compreensão do funcionamento de diversos componentes e no desenvolvimento de habilidades para identificar defeitos e suas causas simuladas no equipamento.

A bancada utilizada contém um sistema de refrigeração completo que irá simular condições reais de operação. O sistema opera com uma câmara fria, uma válvula de expansão termostática ajustável e utiliza o ambiente da sala onde está localizada como câmara quente. A construção da bancada didática de refrigeração foi planejada de forma compacta, a fim de acomodar todos os componentes do sistema de refrigeração, assim como os componentes elétricos e eletrônicos responsáveis pelo acionamento e medição das condições do sistema. O projeto visa permitir que os alunos operem e observem o comportamento do ciclo por meio da instrumentação instalada na bancada. Além disso, os dados que serão coletados experimentalmente na bancada possibilitarão uma análise comparativa entre modelos teóricos de coeficiente de desempenho de Carnot e o desempenho real do sistema. A bancada didática, necessitou dos equipamentos apresentados na TABELA 1 para a sua montagem, e a função de cada componente está descrito na TABELA 2.

TABELA 1 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO

Item	Material	Quantidade	Unidade
01	Compressor Hermético 1/3 (R134A)	01	Pç.
02	Condensador de cobre com coifa 1/3 HP	01	Pç.
03	Evaporador 1/3 HP	01	Pç.
04	Válvula de Expansão Termostática Externa RFKH04E R134A Rosca	01	Pç.
05	Fluido R134A	01	kg
06	Tubulações de Cobre 3/8"	04	m
07	Tubulações de Cobre 1/4"	06	m
08	Micro ventilador 127/220 V	02	Pç.
09	Filtro secador de linha 1/4"	01	Pç.
10	Manômetro de baixa pressão R134A	01	Pç.
11	Manômetro de alta pressão R134A	01	Pç.
12	Visor de líquido 1/4 "	01	Pç.
13	Visor de líquido 3/8 "	01	Pç.
14	Conexões de cobre Tee 1/4"	03	Pç.
15	Conexões de cobre Tee 3/8"	01	Pç.
16	Porca curta latão 1/4" Sae	06	Pç.
17	Porca redução 1/2 x 3/8 Sae	01	Pç.
18	Luva 1/4"	05	Pç.
19	Adaptador luva 1/4"	05	Pç.
20	Registro válvula de esfera mini macho e fêmea 1/4	02	Pç.

FONTE: O autor (2023)

TABELA 2 – FUNÇÃO DOS COMPONENTES

COMPONENTE	FUNÇÃO	LOCAL DE INSTALAÇÃO
Compressor Hermético (R134a)	Responsável por facilitar a circulação do fluido refrigerante pelo sistema	Geralmente localizado próximo ao condensador
Condensador	Dissipa o calor que foi absorvido pelo evaporador e o calor gerado durante o processo de compressão realizado pelo compressor	Após a linha de descarga do compressor
Evaporador	Extrair calor do ambiente interno	Antes da linha de sucção do compressor
Válvula de Expansão	Responsável por controlar o fluxo de fluido refrigerante, limitando a passagem do estado líquido do condensador para o evaporador, o que resulta na redução de pressão. Demonstra a existência de vapor não condensado anteriormente ao dispositivo de expansão	Próximo ao evaporador
Visor de líquido	Elimina umidade e partículas de material do sistema	Linha de líquido
Filtro secador	Fornecer as pressões de alta de trabalho do sistema	Linha de líquido e descarga do compressor
Manômetro de alta pressão	Fornecer as pressões de baixa de trabalho do sistema	Linha de sucção do compressor
Manômetro de baixa pressão		

FONTE: O autor (2023)

Com a montagem da bancada, foi necessário a instrumentação da mesma, sendo utilizados materiais apresentados na TABELA 3.

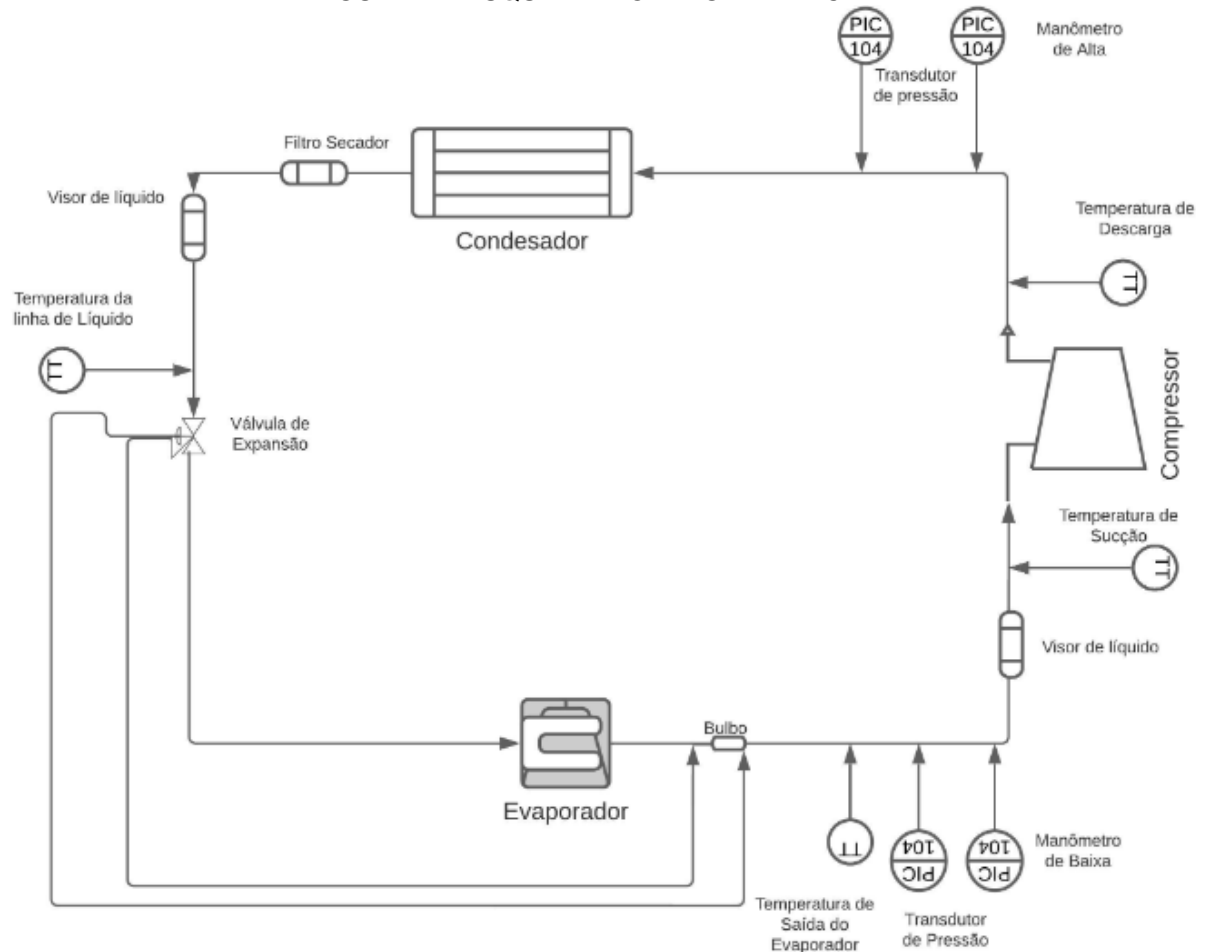
TABELA 3 – INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA

Item	Material	Quantidade	Unidade
01	Quadro Elétrico	02	Pç.
02	Transdutor de pressão 0-10 bar 4 a 20 mA MC1®	02	Pç.
03	Sensor de temperatura Pt100 6x50mm	05	Pç.
04	Transmissor de temperatura – Pt100 (0 a 100 °C)	5	Pç.
05	Módulo conversor corrente (mA) para tensão (V)	10	Pç.
06	Cabo Flexível 0,75mm , cores cinza, marrom e amarelo	50	m
07	CLP SR3B262BD Schneider	01	Pç.
08	Fonte 127V para 24V Schneider	01	Pç.
09	Cabo de conexão SR2USB01 Schneider	01	Pç.
10	Fusível	10	Pç.
11	Anemômetro PM6252B	01	Pç.

FONTE: O autor (2023)

Após a compra dos materiais, foi iniciado a montagem da bancada e instrumentado conforme a FIGURA 4.

FIGURA 4 – ESQUEMA MONTAGEM BANCADA



FONTE: O autor (2023)

Para a medição das pressões e temperaturas nos lados de alta e baixa pressão do sistema, foram empregados manômetros analógicos e transdutores de pressão, fixados diretamente nas tubulações por meio de conexões padronizadas para sistemas de refrigeração. Já para a medição da temperatura de retorno e insuflamento do condensador e evaporador, bem como das temperaturas da linha de líquido e sucção do circuito, foram utilizados sensores de temperatura PT-100, juntamente transmissores de temperatura e conversores de sinal. Esses sensores transmitiram os dados para um CLP responsável pelo controle e operação do sistema.

O diagrama elétrico, que auxilia na compreensão das conexões do circuito, foi elaborado utilizando o software EPLAN Electric P8® e está disponível no apêndice 1.

3.1 PREPARAÇÃO DA BANCADA

A bancada foi construída utilizando os materiais da TABELA 1. Para realizar a brasagem, utilizou-se um maçarico contendo gás MAP, vareta de foscooper e fluxo de prata para soldar as tubulações.

Após finalizar o processo de brasagem, procedeu-se ao vácuo na tubulação e instrumentação da bancada, conforme FIGURA 4, para carregar o sistema com o fluido refrigerante R134a. Para esse propósito, primeiramente realizou-se a desidratação do circuito através do processo de vácuo, a fim de remover gases não condensáveis e a umidade que poderiam estar presentes nas tubulações e componentes do sistema. Utilizou-se uma bomba de vácuo modelo VP260 Nd com capacidade volumétrica de 6 cfm, deixando-a em funcionamento por quarenta minutos.

Após a realização do vácuo, o carregamento do fluido R134a foi feito utilizando um kit manifold analógico. Como não havia uma quantidade padrão de fluido para adicionar ao sistema, optou-se por um mecanismo visual. O compressor foi ligado e a tubulação do evaporador foi verificada. Quando a tubulação começou a formar cristais de gelo, finalizou-se o processo de carregamento do fluido no sistema.

Durante o processo de instrumentação da bancada, foram realizados ajustes de zero nos transmissores de temperatura e conversores de sinal. Para efetuar essa calibração, utilizou-se um balde contendo gelo, uma vez que o gelo possui uma temperatura de fusão de 0°C. O sensor de temperatura foi inserido no balde, onde havia gelo, permitindo assim o ajuste do ponto zero tanto nos transmissores quanto nos conversores.

3.2 PROCEDIMENTOS DOS TESTES NA BANCADA

A utilização da instrumentação permitiu o acesso a informações das variáveis de processo, como pressão e temperatura, que são essenciais para a análise da operação. A partir desses dados, foram calculados o superaquecimento útil, o subresfriamento e o COP, levando em consideração tanto o COP de Carnot quanto o COP real.

Para determinar o superaquecimento útil na saída do evaporador, foram realizadas as seguintes etapas:

- **1° passo:** medição da temperatura de sucção na entrada do compressor.
- **2° passo:** medição da pressão na saída do evaporador (pressão de baixa).
- **3° passo:** verificação da temperatura de saturação correspondente à pressão de baixa.
- **4° passo:** subtração da temperatura de saturação da temperatura medida na linha de sucção. Essa diferença indica o valor do superaquecimento do evaporador.

Para o subresfriamento útil na saída do condensador, os seguintes passos foram seguidos:

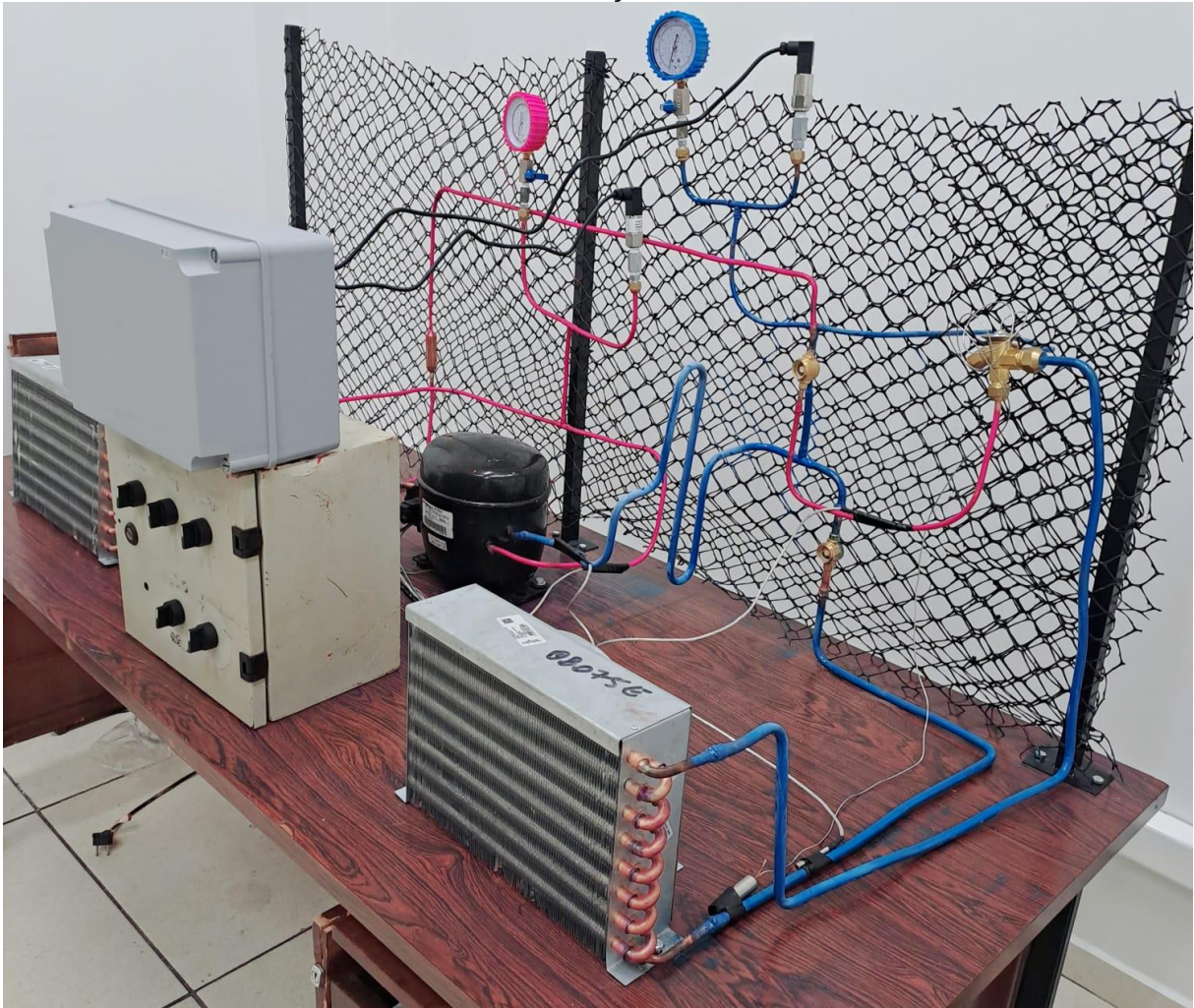
- **1° passo:** medição da temperatura na linha de líquido antes da válvula de expansão.
- **2° passo:** verificação da pressão de saída do condensador (pressão de alta).
- **3° passo:** verificação da temperatura de saturação correspondente à pressão de alta.
- **4° passo:** subtração da temperatura de saturação da temperatura medida na linha de líquido. Essa diferença representa o subresfriamento do condensador.

Para a análise do COP do sistema, foram inicialmente calculados o calor absorvido no evaporador (Q_C), o calor rejeitado no condensador (Q_H) e o trabalho consumido pelo compressor (W_C). Com base nos dados fornecidos, foram realizados os cálculos do coeficiente de performance máximo e do coeficiente de performance real da bancada de refrigeração por compressão a vapor.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos materiais de construção, instrumentação e do esquema de montagem, foi construída a bancada didática de refrigeração, conforme ilustrado na FIGURA 5.

FIGURA 5 – BANCADA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR



FONTE: O Autor (2023)

Na bancada em questão, foi realizado a identificação da tubulação por cores, em que a cor vermelha indica a região de alta pressão e a azul indica a região de baixa pressão.

A região de alta temperatura é composta pela linha de descarga do compressor até a entrada do condensador. Nesse caminho, há um transdutor de pressão e um manômetro analógico para verificar a pressão de alta na linha. A partir da saída do condensador, o fluido passa pelo filtro secador de linha e pelo visor de

líquido até chegar na válvula de expansão. Nesse ponto, ocorre a queda de pressão para a evaporação do fluido e a mudança para a região de baixa pressão.

A válvula de expansão direciona o fluido até o evaporador, onde ocorre a absorção da energia térmica do ambiente. Na saída do evaporador, é colocado o bulbo da válvula em contato próximo com a tubulação. Em seguida, há outro visor de líquido e uma interligação com a válvula de expansão. Além disso, existem transdutores e manômetros analógicos para verificar a pressão de baixa do sistema até a sucção do compressor.

Após a finalização da bancada, foi possível coletar os dados do sistema, conforme identificados na TABELA 4.

TABELA 4 – DADOS COLETADOS DA BANCADA

	Evaporador	Condensador	Unidade
Temperatura de Entrada	23	23	°C
Temperatura de Saída	20 (T _C)	26(T _H)	°C
Temperatura na Sucção	22	-	°C
Temperatura de evaporação saturada	18	-	°C
Temperatura na linha de líquido	-	24	°C
Temperatura de condensação saturada	-	34	°C
Velocidade do ar	2,5	2,5	m/s
Vazão Volumétrica	0,0775	0,0775	m ³ /s
Massa específica	4,31	5,74	kg/m ³
Vazão mássica	0,33	0,44	kg/s
Área do trocador de calor		0,031	m ²
Tensão no compressor		115	V
Corrente no compressor		2,6	A
Calor específico à pressão constante do ar		1,0045	kJ/kgK
Pressão atmosférica		100	kPa

FONTE: O autor (2023)

Também foram medidas as áreas dos trocadores de calor, com o objetivo de identificar a área efetiva por onde o fluxo de ar passa, conforme mostrado na TABELA 5

TABELA 5 – ÁREA DO TROCADOR DE CALOR

Área do trocador de calor		
Total	58000	mm ²
Tubos	23200	mm ²
Aletas	4000	mm ²
Passagem	30800	mm ²

FONTE: O autor (2023)

O objetivo da coleta de dados foi analisar o comportamento do superaquecimento, subresfriamento, coeficiente de performance do sistema e as quantidades de calor absorvidas no evaporador e rejeitadas no condensador. Além disso, foi realizado um comparativo entre o COP_{CARNOT} e o COP_{REAL}. A partir dos valores coletados nas TABELA 4 e TABELA 5, é possível calcular o calor absorvido

na fonte fria (Q_C) usando a equação (6) e o calor liberado na fonte quente (Q_H) com a equação (7).

$$Q_C = m \cdot cp \cdot (T_{Entrada} - T_{Saída}) = 0,33 \cdot 1,0045 \cdot (23 - 20) = 0,99 \text{ kW} \quad (6)$$

$$Q_H = m \cdot cp \cdot (T_{Saída} - T_{Entrada}) = 0,44 \cdot 1,0045 \cdot (26 - 23) = 1,37 \text{ kW} \quad (7)$$

O COP_{REAL} pode ser determinado através das relações entre o calor absorvido na fonte fria, o calor liberado na fonte quente e o trabalho realizado pelo compressor, conforme indicado na equação (3). Esse cálculo é demonstrado na equação (8).

$$COP_{REAL} = \frac{Q_C}{W_C} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} = \frac{0,99}{1,37 - 0,99} = 2,60 \quad (8)$$

O cálculo do COP da máquina de Carnot é mostrado na equação (9), baseado na equação (4).

$$COP_{carnot} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{273 + 20}{(273 + 26) - (273 + 20)} = 48,83 \quad (9)$$

O coeficiente de performance de Carnot é um valor ideal que desconsidera as irreversibilidades do sistema, sendo impossível de ser alcançado em um ciclo real. Observa-se que o valor obtido para o COP_{REAL} é significativamente inferior ao valor do COP_{CARNOT} , devido às diferenças entre os ciclos reais e ideais. Para comparar a eficiência com base na segunda lei da termodinâmica, calculou-se a razão entre o COP_{REAL} e o COP_{CARNOT} , como demonstrado na equação (10).

$$\eta_2 = \frac{COP_{REAL}}{COP_{CARNOT}} \cdot 100 = \frac{2,60}{48,83} \cdot 100 = 5,33\% \quad (10)$$

Também foi calculado superaquecimento do sistema, como mostra a equação (11), com base na equação (1).

$$S_A = T_S - T_E = 22 - 18 = 4^\circ\text{C} \quad (11)$$

O resultado obtido foi inferior ao valor recomendado de 8 a 20°C , o que indica que a válvula de expansão não estava ajustada corretamente.

Além disso, o subresfriamento também foi calculado. Após a condensação, o líquido resultante é resfriado de forma a reduzir sua temperatura abaixo da temperatura de saturação, o que chamamos de subresfriamento. O cálculo do subresfriamento, realizado de acordo com a equação (2), é apresentado na equação (12).

$$S_R = T_{Cond} - T_L = 34 - 24 = 10^\circ C \quad (12)$$

O resultado obtido excedeu o valor desejável para o subresfriamento natural do líquido proveniente do condensador, que varia de 3 a 6°C, a fim de evitar perdas de eficiência no sistema devido à presença indesejável de flash gás (evaporação instantânea do líquido) na linha de líquido. Isso compromete a capacidade de modulação da válvula devido à presença de vapor refrigerante. A explicação para esse resultado é que a câmara da fonte fria estava aberta, o que impedia o ar resfriado de retornar ao evaporador para um novo processo de resfriamento. Como consequência, o evaporador acabava absorvendo calor a uma temperatura elevada, resultando em um aumento tanto do trabalho quanto da rejeição de calor no condensador.

O diagrama elétrico foi elaborado levando em consideração a funcionalidade da bancada de teste. A bancada tem a capacidade de operar tanto no modo automático, em que o compressor é controlado pela temperatura do evaporador, respondendo às temperaturas e pressões fornecidas pela instrumentação, quanto no modo manual, permitindo ligar e desligar individualmente o compressor, os ventiladores do condensador e do evaporador. Essa flexibilidade possibilita simular o comportamento do sistema em caso de falha dos ventiladores do condensador e do evaporador, possibilitando análises e testes abrangentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção da bancada foi realizada conforme o objetivo inicial proposto, incluindo a identificação das regiões de alta e baixa pressão e a elaboração do diagrama correspondente. Isso possibilita a realização de testes e comparação das análises teóricas com os dados reais do ciclo, obtidos por meio da instrumentação.

Após a conclusão da construção, foram conduzidos ensaios para coleta de dados e cálculos dos coeficientes de performance, bem como do superaquecimento e subresfriamento. Esses parâmetros desempenham um papel crucial na operação do ciclo e também no processo de aprendizado. Os componentes selecionados demonstraram ser adequados e funcionaram corretamente. Durante os ensaios, verificou-se que o método adotado permitiu a obtenção de dados suficientes para avaliar os principais parâmetros de operação. Os valores obtidos por meio da instrumentação e os valores calculados mostraram coerência com os aspectos teóricos, o que é de grande relevância do ponto de vista didático.

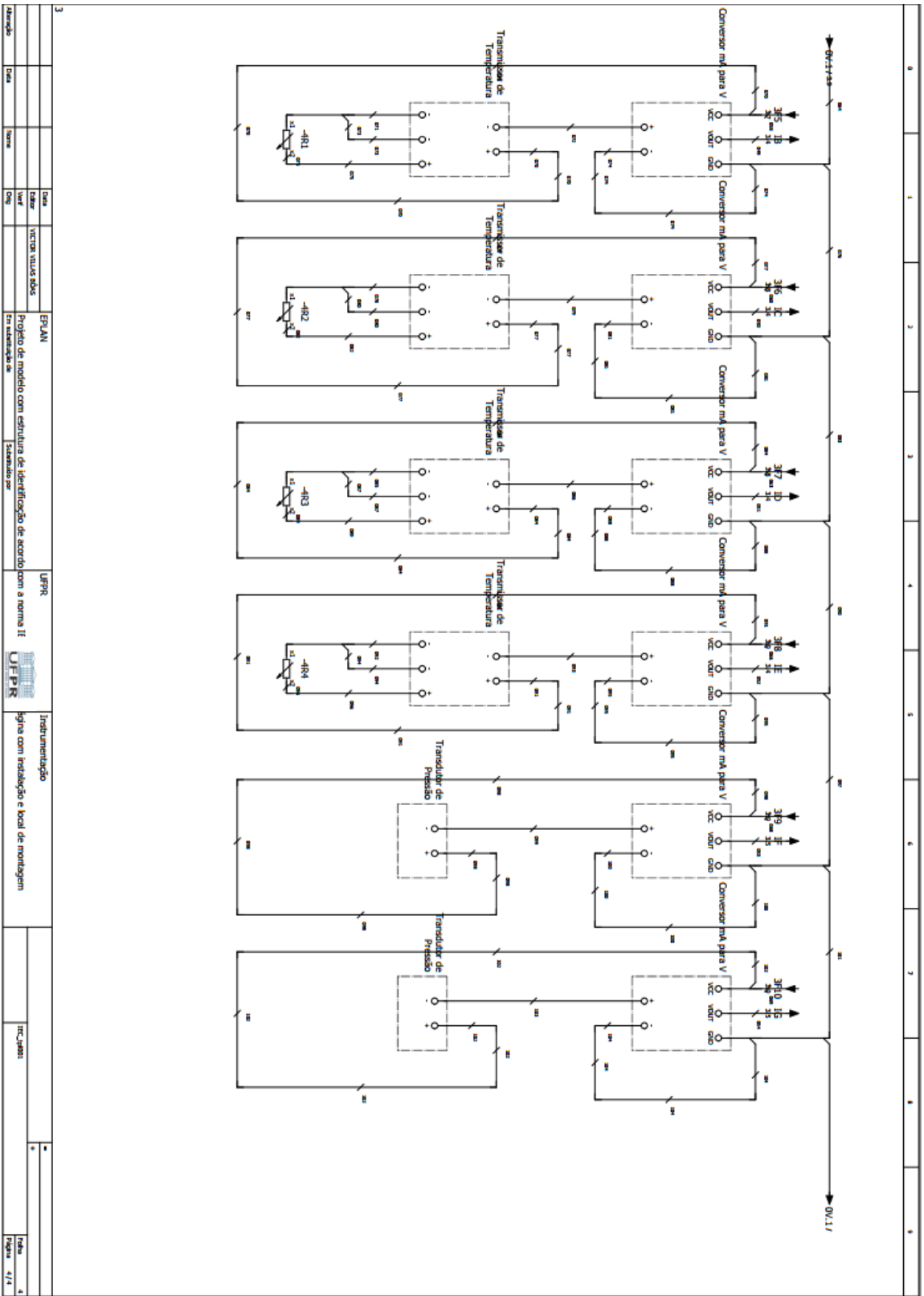
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade do trabalho nesta bancada, sugere-se a isolamento dos sensores de temperatura e do isolamento da fonte fria, permitindo que o ar resfriado retorne ao evaporador. Além disso, sugere-se o aumento das opções de modos de funcionamento e uma visualização mais abrangente do sistema.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, M. E. T. **Refrigeração, Ar Condicionado e Ventilação**. 1 ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 232 p. ISBN: 978-85-522-1438-0.
- ANEEL. **Programa de Eficiência Energética: Gestão do Programa**. 2020. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNGI1OGYwOTgtZWQ5YS00Y2I4LTIkOTUtNjI4MDE1Yjk4MjE1IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em 24 jun. 2022
- BITZER. Boletim de engenharia n° 20: definição do superaquecimento e subresfriamento. São Paulo, 2005a.
- BITZER. Boletim de engenharia n° 21: medição e regulação do superaquecimento e subresfriamento. São Paulo, 2005b.
- CARLESSO, Cristiano Lucas *et al.* Desenvolvimento de uma bancada didática de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 21, n. 36, p. 101-204, set. 2020. Revista Liberato. <http://dx.doi.org/10.31514/rliberato>.
- CAVALCANTI, Janailson Oliveira *et al.* EFICIÊNCIA DE UMA UNIDADE DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA: “Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças”, Campina Grande - PB. **ABENGE/UFPB**. Campina Grande: Cobenge, 2005.
- ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. Tradução: Paulo Maurício Costa Gomes. 7. ed. Porto Alegre: AGMH, 2013. 1020 p. Título original: Thermodynamics: An Engineering Approach. ISBN: 0073522932X/ 9780073529325.
- DOSSAT, R. J. Manual de refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções. São Paulo: Hemus, 2004.
- ELEKTRO *et al.* **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**. 1 ed. Capinas: Elektro, 2012.
- ELETROBRÁS, FUPAI/EFFICIENTIA, **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316p.
- GERONIMO, Alinne. **Aprimoramento da bancada didática portátil de refrigeração**. 2017. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.
- GENIÊR, Francielli Silva; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. CICLOS DE REFRIGERAÇÃO: CONCEITOS E ESTUDOS DE EFICIÊNCIA. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p.2893, 2013.

- HERMES, C. J. L. **Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos**. 2006. 297 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- MACHADO, S. R. **Apostila de refrigeração**. Porto Alegre: SENAI Visconde de Mauá, 2006.
- MATOS, R. S. **Apostila de refrigeração e climatização**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.
- MATOS, R. S. **Refrigeração: Apostila didática**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica, 2010. 242 p.
- OLIVEIRA, Luan Silva de. **Sistema de Refrigeração Integrado Aplicado a um Supermercado Utilizando CO₂**. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- PERRENOUD, Philippe. **Pedagogia diferenciada**. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- PIMENTA, CAIO CEZAR NEVES. **ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS PARA AUMENTAR O COEFICIENTE DE DESEMPENHO - COP DE CICLOS DE REFRIGERAÇÃO**. 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, Rio verde, 2015.
- RAHN, M. A. D. S. A. **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO MECÂNICA QUE UTILIZAM R-717 CONTAMINADO POR ÁGUA UMA APLICAÇÃO PARA INDÚSTRIA PESQUEIRA DO RIO GRANDE**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.
- SANTOS, WANDEMBERGH DIEGO DIAS DOS. **ANÁLISE DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE DUPLO ESTÁGIO FUNCIONANDO COM DIFERENTES REFRIGERANTES HALOGENADOS**. 2020. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- SILVA, J. G. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. São Paulo: Artliber, 2004.
- TOIGO, É. **DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.
- UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2022**. Population Division. [S.l.]. United Nations, 2023. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 18 abr. 2023.



3		EPLAN		UFPR		Instrumentação		4	
Data		victor vilas eds		UFPR		Página com instalação e local de montagem		Tema	
Autor				UFPR				Folha	
Ver								4/4	
Org		Projeto de módulo com estrutura de identificação de acordo com a norma IEC 61131-2							
Tela		Nome		Desenvolvido por					
Arquivo									