

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE BAIXO CUSTO PARA UMA BANCADA DE REFRIGERAÇÃO

## DEVELOPMENT OF A LOW-COST DATA ACQUISITION SYSTEM FOR A VAPOR COMPRESSION REFRIGERATION EXPERIMENTAL WORKBENCH

João Pedro Severo Foresto<sup>1</sup>  
Weliton Soares Martins<sup>2</sup>

### RESUMO

Sistemas de refrigeração e condicionamento de ar têm grande importância residencial, comercial e industrial. Estima-se que até 15% da capacidade mundial de geração de energia é consumida para fins de refrigeração. O processo de aquisição de um equipamento resulta em uma melhora na eficiência e diminuição no consumo energético tendo em vista que os dados obtidos trazem uma melhor visualização e entendimento dos componentes do sistema. Este trabalho tem como objetivo automatizar a aquisição de dados de uma bancada de refrigeração, desenvolvendo um sistema de aquisição de dados de baixo custo que possibilitará o estudo sistemático dos diversos processos envolvidos. O sistema foi desenvolvido utilizando Arduino e LabView com o auxílio do software LINX. Após a comunicação entre o controlador e o programa, foram instalados seis termostatos espalhados para aquisição das temperaturas. Para as pressões foi utilizada uma câmera captando imagens de seis manômetros analógicos, e através disto obtém-se a leitura dos valores. Os dados de pressão e temperatura obtidos resultaram no diagrama pressão-entalpia do ciclo termodinâmico. A bancada vem sendo usada em atividades de ensino e pesquisa. E com o sistema de aquisição obteve-se melhorias na realização de experimentos, permitindo uma melhor comparação entre os resultados experimentais e teóricos.

**Palavras-chave:** aquisição; arduino; controle; refrigeração; termodinâmica.

### ABSTRACT

Refrigeration and air conditioning systems are essential in residential, commercial, and industrial segments. The data acquisition and the control of equipment results in an improvement in efficiency and a decrease in energy consumption, considering that the data obtained bring a better visualization and understanding of the components of the system. This work aims to automate data acquisition from a vapor compression refrigeration workbench by developing a low-cost data acquisition system. The system was developed using Arduino and LabView with the assistance of LINX software. After the communication between the controller and the program, six thermocouples were installed on the refrigeration workbench to acquire the temperatures in the program of the data acquisition system. For reading system pressure values, a camera was used to capture images from six analog pressure gauges. From reading these data, the pressure-enthalpy diagram of the thermodynamic cycle was obtained. The experimental refrigeration workbench has been used in teaching and research activities. The data acquisition system developed for the refrigeration workbench improved the realization of experiments, all wing a better comparison between experimental and theoretical results.

<sup>1</sup> Bacharelado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, 2024.

<sup>2</sup> Doutor em Física. Universidade Federal da Paraíba, 2013.

**Keywords:** data acquisition; arduino; control; refrigeration; thermodynamics.

## INTRODUÇÃO

Os Sistemas de refrigeração e condicionamento de ar têm grande importância nos âmbitos residencial, comercial e industrial, como por exemplo na refrigeração de alimentos, garantindo uma maior durabilidade dos alimentos. Estima-se que até 15% da capacidade mundial de geração de energia é consumida para fins de refrigeração, sendo atualmente um dos focos de engenheiros e pesquisadores não apenas manter um objeto ou ambiente refrigerado, mas sim fazer isso da maneira mais eficiente possível (Albuquerque, 2017 e Carvalho 2017). De acordo com Bernades, Celeste e Diniz Chaves (2020), a eficiência energética de sistemas de refrigeração é um importante vetor no atendimento à demanda futura de energia, contribuindo para a segurança energética, competitividade econômica e redução de impactos ambientais.

Para Carvalho (2017) a busca por sistemas de refrigeração cada vez mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente envolvem diversas linhas de pesquisa, compreendendo o estudo de ciclos termodinâmicos alternativos, uso de novos fluidos refrigerantes e melhorias em projetos de dispositivos e equipamentos (compressores, válvulas, e trocadores de calor). Além dessas linhas, nos últimos anos, diversos estudos vêm avaliando o emprego de técnicas de controle inteligente e monitoramento de aplicações que envolvem sistemas de refrigeração, visando principalmente melhorar sua eficiência e qualidade (Pereira, Dias e Queiroz, 2019).

Diante do atual cenário da Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) e exigência por sistemas mais eficientes e menos poluentes, destaca-se a importância em formar técnicos e engenheiros qualificados (Miller, 2018). Com conhecimentos que abrangem não apenas suas especificidades técnicas, mas que

sejam capazes de lidar com o atual crescimento da automatização de sistemas, possuindo conhecimentos nas áreas de aquisição, controle e tratamento de dados. Portanto, a utilização de bancadas que simulem processos reais faz parte do atual contexto do ensino e formação desses profissionais (Łokietek, Jaszczak, Nikonczuk, 2019 e Peach, Kleingeld, Bredenkamp, 2017).

Uma das grandes dificuldades das instituições de ensino de engenharia em proporcionar uma formação de qualidade, corresponde a baixa carga horária e pouca diversificação de atividades práticas (Chen, Kolmos e Du, 2020). Reflexo do alto custo de adquirir e manter sistemas didáticos comerciais. Desta forma, este trabalho tem como objetivo automatizar a aquisição de dados de uma bancada de refrigeração, desenvolvendo um sistema de aquisição de dados de baixo custo que possibilitará o estudo sistemático dos diversos processos envolvidos, permitindo uma melhor comparação entre teoria e os resultados experimentais. Este sistema será acoplado ao protótipo da bancada didática já existente para validar o projeto a partir dos resultados obtidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição do objeto de estudo

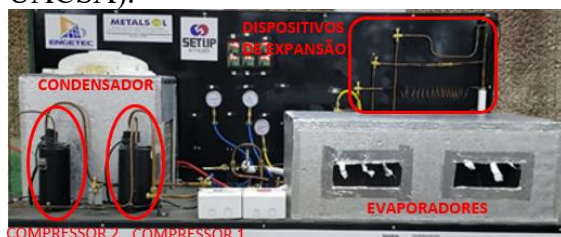
Para este trabalho, foi utilizada o protótipo da bancada didática já desenvolvida e construída e que se encontra no laboratório de Termodinâmica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). A bancada possui dois compressores, dois evaporadores, um condensador e quatro diferentes dispositivos de expansão, conforme mostrado na Figura 1. Esses componentes possibilitam a utilização da bancada em diferentes configurações, o que possibilita

uma variedade de estudos relacionados a processos de refrigeração.

Os compressores e evaporadoras podem ser conectados em série ou paralelo. E as válvulas de expansão podem ser utilizadas separadamente ou em paralelo, em configurações com duas, três ou as quatro válvulas simultaneamente. Ao todo são sessenta diferentes configurações de funcionamento. Essa diversidade é possível graças à distribuição de válvulas de serviço ao longo das tubulações. A bancada é instrumentada com sensores de temperatura e pressão nas diversas etapas do processo de refrigeração, permitindo determinar o estado termodinâmico do fluido refrigerante em diferentes pontos do processo.

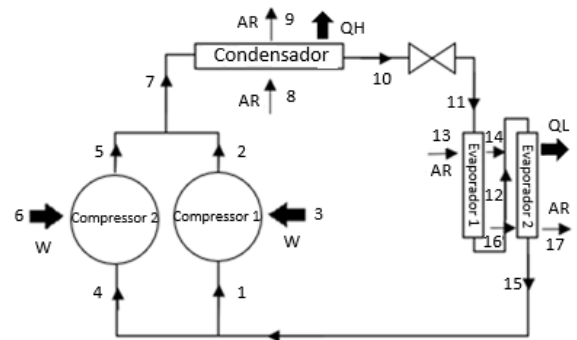
Para o estudo de caso a que se refere esta pesquisa, foi selecionada a seguinte configuração: dois compressores em paralelo, dois condensadores em série, dispositivos de expansão e dois evaporadores em série. A configuração assumida como base está representada no diagrama da Figura 2. Os pontos 1, 2, 4 e 5 referem-se as entradas e saídas do fluido nos compressores enquanto os pontos 3 e 6 são o consumo de potência elétrica nos compressores. Os pontos 7 e 10 representam a passagem pelo condensador enquanto 8 e 9 representam o fluxo de ar responsável pela troca de calor do fluido com o ambiente. Os pontos 11, 12 e 15 representam a saída do dispositivo de expansão e entrada e saída dos evaporadores respectivamente. E os pontos 13, 14, 16 e 17 os fluxos de ar que passam pela caixa evaporadora.

Figura 1 - Bancada didática de refrigeração por compressão de vapor (UFRPE-UACSA).



Fonte: O autor, 2023.

Figura 2 - Diagrama de funcionamento da Bancada de Refrigeração referente para o estudo de caso.



Fonte: O autor, 2023.

A bancada de refrigeração opera segundo o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, sendo utilizado no sistema o fluido refrigerante HCFC22, conhecido como R-22 (difluorometano) (Panato, Porte e Bandarra, 2017). O fluido refrigerante é comprimido pelos compressores 1 e 2 que estão conectados em paralelo. A elevação da pressão do fluido resulta no aumento de temperatura e da entalpia, devido ao trabalho realizado sobre o fluido pelos compressores. Após os compressores, o fluido em fase de vapor superaquecido passa pelos dois condensadores que estão ligados em série, liberando a quantidade de calor  $Q_H$  para o meio externo, sofrendo a transição de fase vapor-líquido, reduzindo sua entalpia. Na sequência, ao passar pela válvula de expansão a pressão e a temperatura do fluido são reduzidas. E após isso ele passa pelas duas evaporadoras, ligadas em série, retirando a quantidade de calor  $Q_L$  do ambiente a ser refrigerado. Assim, o fluido passa do estado líquido para vapor, retornando aos compressores onde o ciclo é reiniciando.

### Desenvolvimento do sistema de aquisição de dados de baixo custo

O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido utilizando o LabView como software de programação para a interface gráfica que apresenta os resultados ao

operador e uma placa Arduino do tipo Mega 2560 R3 para a aquisição das informações da bancada. O Arduino é uma placa programável, tendo como componente principal um microcontrolador, amplamente utilizada no desenvolvimento de protótipos que necessitam de controle e aquisição de dados, seguindo a filosofia de Hardware livre (Bereziuk *et al.*, 2018). A placa Mega 2560 R3 é baseada no microcontrolador ATmega2560 com 54 saídas/entradas digitais, das quais 15 podem ser usadas como saídas PWM; 16 entradas analógicas de 10 bits, tornando possível a leitura de diferentes parâmetros em todos os pontos avaliados. Além de fornecer suporte para comunicações I2C (***Inter-Integrated Circuit***) e SPI (***Serial Peripheral Interface***) facilitando a comunicação com outros dispositivos.

A seleção por desenvolver o sistema utilizando o LabView é devido ao fato de ser um software de engenharia de sistemas que possui um ambiente de programação simplificado e intuitivo, voltado principalmente para aplicações de medição, controle e aquisição de dados (Nichols, 2017). Programação baseada em linguagem gráfica denominada de linguagem G, baseada na interconexão de blocos chamados de VIs (***Virtual instruments***) (Belhadj, Kamanah e Kassas, 2017). Os blocos possuem, desde funções básicas como simples operações algébricas ou booleanas, até funções mais complexas como métodos de integração e comunicação serial. Foi utilizado o sistema de drive de código aberto LINX, desenvolvido para dispositivos de plataformas embarcadas (Arduino, Raspberry Pi e outros). O drive possui um conjunto de VIs que facilitam a implementação de funções básicas como acessar saídas e entradas digitais ou analógicas, implementação de comunicação serial e protocolos de comunicação, dentre outras.

Para o desenvolvimento da programação foi utilizado o conceito de máquina de estado. Ele possibilita a separação do programa em partes ou

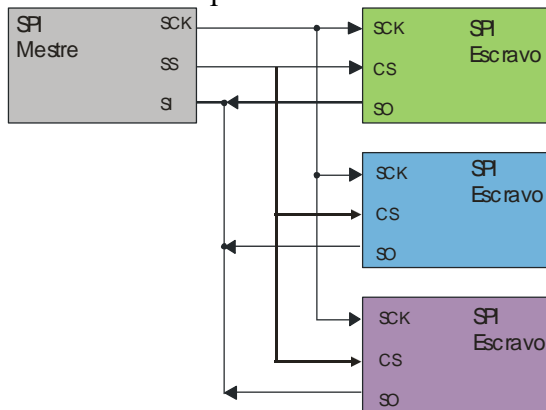
estados, sendo a transição entre controlada pelo usuário ou determinada por condições predefinidas na programação (Du, Li e Guo, 2017).

O programa é subdividido nos estados: ***start***, ***read temperature***, ***read pressure***, diagrama, ***save*** e ***stop***. O primeiro e o último estado são responsáveis pela inicialização e finalização da comunicação de dispositivos com o programa. Para a implementação da máquina de estados é criada inicialmente um laço condicional, que corresponde a estrutura principal e que permite que o programa permaneça executando em ciclos. Dentro desta estrutura é adicionada uma “condicional”, onde cada condição criada corresponde a um estado de máquina.

As leituras de temperaturas são realizadas utilizando seis módulos MAX 6675, projetados com um amplificador diferencial e um conversor ADC (***Analog-to-Digital Converter***), de 12 bits, que digitaliza os sinais adquiridos por termopares do tipo K, com uma resolução de temperatura de 0,25 °C. Através da folha de especificações dos módulos de temperatura (datasheet) foi possível fazer a conexão de forma mais simplificada utilizando conceitos de acordo com Nalavade *et al.* (2019). A diferença de tensão entre os terminais do termopar é proporcional a temperatura da junção metálica, que para o tipo K é formada por ligas metálicas de alumel e cromel. A comunicação do módulo com o Arduino é realizada pelo protocolo SPI (***Serial Peripheral Interface***) que estabelece uma comunicação síncrona, baseada no conceito de “mestre-escravo”, com os módulos. Na Figura 3 é mostrado o esquema de conexão entre vários módulos com o Arduino, onde cada módulo é habilitado sequencialmente enviando os dados de temperatura. O VCC (***Voltage in Continuous Current***) é responsável por enviar 5 volts de tensão. O SCK (***Serial Clock***) é um sinal de referência de 4 MHz e é usado para sincronizar o módulo com o arduino. A saída CS (***Chip Select***) é responsável por habilitar o

módulo, no caso da bancada com nível lógico “zero”, sendo SS (*Slave Select*) responsável por enviar o sinal para selecionar cada dispositivo escravo um por vez. A porta SO (*Slave Out*) é a saída responsável pelos dados onde envia a leitura da temperatura usando 16 bits. Na comunicação do módulo para o Arduino, os dados são encapsulados em 16 bits, dentre eles um carrega o sinal da temperatura e outros 12 carregam o valor codificado da temperatura obtida.

Figura 3 - Diagrama de conexão dos módulos de temperatura com o Arduino.

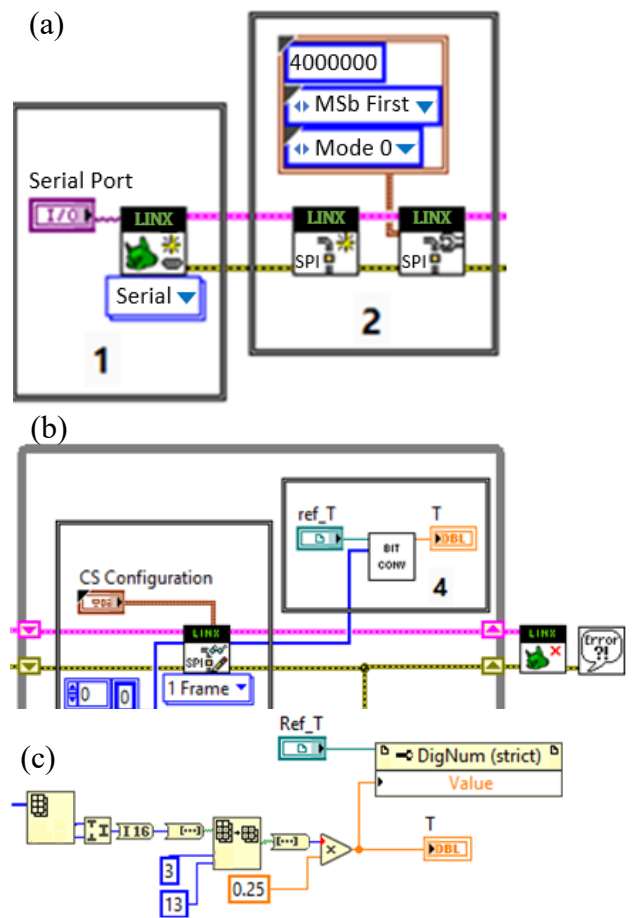


Fonte: O autor, 2023.

O programa faz a leitura dos bits recebidos, reagrupando-os em dois pares de 8 bits, após isso são separados e convertidos para um valor decimal. O valor obtido é então multiplicado por um fator de conversão (0,25) obtendo-se o valor de temperatura em graus Celsius. Na Figura 4 é possível ver o SubVI (estrutura utilizada para organização e compactação do programa principal) responsável pela aquisição das temperaturas. Os valores de temperatura são enviados para o programa principal, onde são apresentados em gráficos e tabelas. A Figura 4 está dividida em 4 etapas que são responsáveis pelas temperaturas. Na etapa (1) é realizada a inicialização da comunicação serial do Arduino com o computador, em (2) inicializa e configura a comunicação SPI com o módulo MAX 6675. Em (3) é realizada a leitura das informações de

temperatura enviadas pelo Arduino e em (4) é o agrupamento de conjuntos de 8 bits.

Figura 4 - SubVI de comunicação do Arduino com o LabView para leitura das temperaturas do ciclo. (a) Primeira parte da estrutura do SubVI para leitura das temperaturas. (b) Segunda Parte da estrutura SubVI para leitura de temperatura (c) Condicionamento dos bits recebidos com valores de temperatura.



Fonte: O autor, 2023.

As medições das pressões do sistema são feitas de maneira analógica, através de manômetros comuns (Figura 4), não sendo possível a comunicação direta com o Arduino. Portanto, foi utilizada uma câmera fotográfica com capacidade de filmagem para realizar a captação das imagens das leituras dos valores de pressão durante a operação. A leitura é realizada

através da captação da localização paramétrica das agulhas de aferição de cada manômetro. Depois, as informações são enviadas para programa do LabView, onde o código desenvolvido converte as informações em gráficos, com valores medidos em tempo real e em cada ponto determinado.

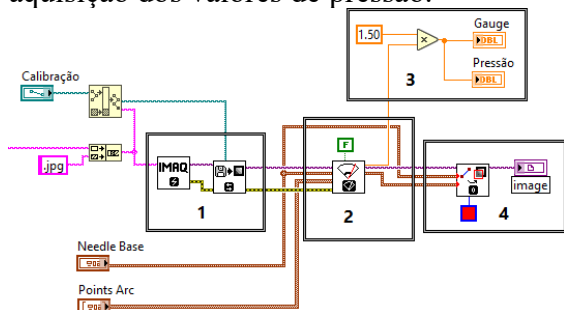
Figura 5 - Manômetros de pressão da bancada de refrigeração.



Fonte: O autor, 2023.

Na Figura 6 tem-se a estrutura responsável pela calibração e leitura de pressão dos 6 manômetros construída no LabView. A numeração da figura mostra o caminho de aquisição dos valores de pressão, em (1) ocorre a inclusão da imagem dos manômetros, em (2) tem-se o reconhecimento do ponto cartesiano das agulhas de aferição dos equipamentos, em (3) a conversão desta escala de leitura para adquirir um valor na unidade correta e em (4) o salvamento dos dados obtidos.

Figura 6 - Estrutura responsável pela aquisição dos valores de pressão.



Fonte: O autor, 2023.

### Representação do ciclo termodinâmico do processo

Foi utilizado o software EES (*Engineering Equation Solver*), que é um programa utilizado para solucionar

problemas de engenharia e de equações não lineares simultâneas. Muito útil para a área de ciências térmicas, pois conta com uma vasta biblioteca de propriedades termofísicas para inúmeros fluidos de trabalho.

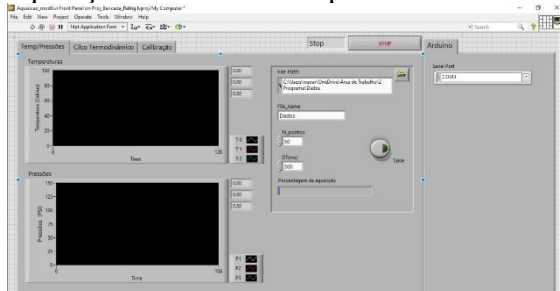
A tabela com as propriedades do fluido R22, utilizado neste projeto, foi criada a partir do cálculo das funções e códigos utilizados no programa. Com isso, foram obtidos os valores de entropia, entalpia e energia interna do fluido. Para criação da tabela foram fixados 13 valores de pressão entre 100 kPa e 3000 kPa.

E logo após variou-se a temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $119^{\circ}\text{C}$  com estes dados o EES gerou a tabela que foi inserida no programa do LabView sendo possível então através disso a geração do gráfico termodinâmico da bancada em tempo real. Este gráfico é gerado a partir de um código feito em um SubVI, que é responsável pela interpolação dos valores obtidos nos passos anteriores chegando assim nos resultados desejados de leitura.

### Desenvolvimento da interface do programa

O LabView trabalha na forma de diagramas de bloco, sendo um para o código do programa e outro para a tela principal de comando. Após a conclusão do código do programa foi feita a organização dos componentes da interface do programa (Figura 7). A tela principal conta com três abas: a primeira que é referente a aquisição das temperaturas, contendo dois gráficos, um deles sendo na aquisição em tempo real enquanto o segundo é referente aos valores de temperatura salvos pelo operador. Na Figura 8 está representada a segunda aba da tela principal que contém as informações da aquisição das pressões, seguindo o mesmo padrão da primeira aba. Enquanto a terceira aba (Figura 9) contém o diagrama pressão – entalpia (p-h), plotado através da tabela obtida pelo EES.

Figura 7 - Estrutura responsável pela aquisição dos valores de pressão.



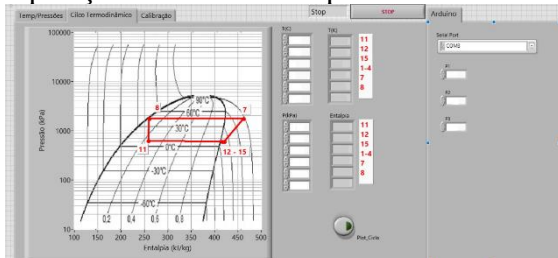
Fonte: O autor, 2023.

Figura 8 - Estrutura responsável pela aquisição dos valores de pressão.



Fonte: O autor, 2023.

Figura 9 - Estrutura responsável pela aquisição dos valores de pressão.



Fonte: O autor, 2023.

No primeiro teste de funcionamento da aquisição de dados foi utilizado o manômetro de leitura pós os dois compressores, colocando também um dos sensores de temperatura na mesma localização, localização essa que baseada pela Figura 2 é o ponto de número 7. O segundo ponto de leitura escolhido foi na saída dos evaporadores e antes da entrada do fluido na área de compressão, que de acordo com a Figura 2 estão na posição 15, foi obtida também a leitura da pressão entre os compressores ligados em paralelo, pela Figura 2 tem-se a posição 2. Foi iniciada a leitura com o sistema em estado estacionário, então na marca de um minuto

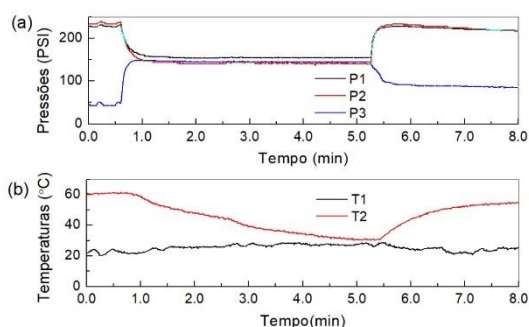
foi desligado ambos os compressores, passados quatro minutos com os compressores desligados foi ligado novamente, no entanto desta vez apenas o compressor 1.

## RESULTADOS

A bancada desenvolvida vem sendo usada em estudos e análises diversas voltados para pesquisa, como também para fins didáticos, contribuindo na formação de estudantes do curso de Engenharia Mecânica. Com a implementação do sistema de aquisição de dados obteve-se melhorias dos resultados dos experimentos realizados para pesquisa, como também para fins didáticos, que além de abordar os princípios básicos de refrigeração, abordamos também a aquisição e tratamento de dados. O sistema é capaz de fornecer dados mais detalhados para análise tanto do sistema completo como também de cada componente solo do sistema, como compressores, válvulas de expansão e outros.

Um importante resultado obtido do trabalho foi o conjunto de curvas de pressão e temperatura em função do tempo para cada um dos pontos de medição. Os resultados das outras propriedades termodinâmicas são obtidos a partir dos valores apresentados nestas curvas. A Figura 10 (a) mostra a leitura feita pelos módulos de temperatura, e enviada ao LabView, de três pressões em um gráfico em função do tempo enquanto na Figura 10 (b) é possível ver as curvas de dois pontos das temperaturas em função do tempo em minutos. Utilizando o referencial da Figura 2 tem-se que P1 está na posição 7, P2 está na Posição 2 e P3 está na posição 15, enquanto T1 está em 7 e T2 em 15.

Figura 10 - (a) Aquisição das pressões em função do tempo. (b) Aquisição das temperaturas em função do tempo



Fonte: O autor, 2023.

É possível ver uma pequena diferença entre a curva P1 e a curva P2 isso ocorre por conta do ponto de aquisição, em P1 tem-se os valores de pressão logo após o compressor 1 apenas, enquanto P2 mostra os valores após a ligação dos dois compressores em paralelo, no caso ideal ambas as curvas seriam iguais, porém no

caso real existem perdas e pequenos detalhes que influenciam na medida final.

Os dados de pressão e temperatura adquiridos são apresentados em forma de tabelas e gráficos na interface desenvolvida usando-se o LabView, onde o usuário pode visualizar o comportamento transiente dessas variáveis, o ciclo termodinâmico do sistema de refrigeração, bem como salvar os dados obtidos

O salvamento dos dados obtidos com a aquisição é feito através de tabelas de temperatura em função do tempo e pressão em função do tempo. A Tabela 1 mostra os resultados das pressões obtidos com a primeira aquisição, ela segue a numeração proposta na Figura 2. Enquanto da mesma maneira a Tabela 2 mostra a aquisição das temperaturas, sobre mesmas circunstâncias.

Tabela 1. Pressão em pontos do Sistema de Refrigeração de acordo com a Figura 2 (b).

Tempo (segundos)	Pressão em 7 ou P1 (kPa)	Pressão em 2 ou P2 (kPa)	Pressão em 15 ou P3 (kPa)
1	1571,3	1607,8	313,7
50	1182,4	1113,5	1012,1
60	1110,7	1032,8	1021,8
200	1066,6	989,4	998,4
300	1056,9	970,8	998,4
335	1561,6	1589,2	670,9
360	1571,3	1589,2	627,6
400	1539,6	1569,9	606,6
480	1498,9	1488,6	585,8
500	1454,1	1447,2	627,6

Fonte: O autor, 2023.

Tabela 2. Temperatura em pontos do Sistema de Refrigeração de acordo com a Figura 2 (b).

Tempo (segundos)	Temperatura, ponto 7 ou T1 (°C)	Temperatura ponto 15 ou T2 (°C)
1	22,00	60,75
50	21,70	60,50
60	21,75	59,00
200	26,50	37,25
300	27,50	30,75
335	27,25	34,25
360	24,25	44,50
400	22,00	50,75
480	25,50	54,75
500	24,00	55,00

Fonte O autor, 2023.



Os dados de pressão e temperatura, apresentados pelo LabView permitem o usuário plotar gráficos e ciclos termodinâmicos a fim de tornar visível cada característica de funcionamento do sistema.

## CONCLUSÃO

O estudo traz uma possibilidade de baixo custo que é capaz de ser implantada em diversos sistemas e equipamentos resultando em uma aquisição de dados completa.

Surgiram uma gama de novos estudos através do sistema construído pelo LabView e o Arduino como por exemplo a automação do sistema da bancada, passando a ser possível controlar todo o sistema remotamente e não apenas controlar seus resultados e dados obtidos.

Com a aquisição de dados existe a possibilidade de se estudar futuros redimensionamentos no sistema a fim de uma otimização termodinâmica e energética, pois agora é possível observar com precisão os locais de perda de energia e eficiência.

O sistema de aquisição tornou o material construído com um viés didático, ainda mais funcional, pois é possível mostrar aos estudantes gráficos e diagramas do sistema em tempo real o que facilita no aprendizado.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores ao logo da graduação Weliton Soares Martins e Adriano da Silva Marques. À UFRPE-UACSA. Aos amigos e familiares que me deram o suporte necessário para conclusão deste artigo e curso.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Carlos Eduardo da Silva. **Avaliação do comportamento energético e exerético de um sistema de refrigeração por compressão de vapor**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1249>. Acesso em 09 fev. 2024.

BELHADJ, C. A.; HAMANAH, W. M.; KASSAS, Mahmoud. LabVIEW based real time Monitoring of HVAC System for Residential Load. *In: International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications*, 1, 2017, Annecy, France. **Anais [...]**. Annecy: IEEE, 2017. DOI: 10.1109/CIVEMSA.2017.7995303. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7995303/>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

BEREZIUK, V.; LEMESHEV, M. S.; BOGACHUK, V. V.; DUK, M. Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3. **International Society for Optics and Photonics**. In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, [s. l.], v. 10808, p. 108083G, out. 2018. DOI: 10.1117/12.2501557. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.2501557>. Acesso em: 2 set. 2018.

BERNADES, D. M.; CELESTE, W. C.; DINIZ CHAVES, G. de L. Energy efficiency in urban public lighting: literature review of equipment and technologies. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e606973957, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3957. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3957>. Acesso em: 10 fev. 2024.

CARVALHO, Stella Maia Rocha de. **Análise e otimização de ciclos de refrigeração com injeção de vapor e tanque flash utilizando misturas de refrigerantes.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/986092> Acesso em: 2 set. 2018.

CHEN, J. B.; KOLMOS, A.; DU, X. Y. Forms of implementation and challenges of PBL in engineering education: a review of literature. **European Journal of Engineering Education.** England & Wales, v. 46, fev. 2020. DOI: 10.1080/03043797.2020.1718615. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1718615>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

DU, Jingyi; LI, Wentao; GUO, Jinbao. Design of LabVIEW based general data acquisition system. *In: Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 2, 2017, Chengdu, China. **Anais [...]**. Chengdu: IEEE, 2017. DOI: 10.1109/ITNEC.2017.8284973. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8284973>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

ŁOKIETEK, T.; JASZCZAK, S.; NIKONCZUK, P. Optimization of control system for modified configuration of a refrigeration unit, **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 159, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.427>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919316321>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

MILLER, Dennis. Blockchain and the Internet of Things in the industrial sector. **IT Professional**, [s. l.], v. 20, n. 3, jun. 2018.

DOI: 10.1109/MITP.2018.032501742. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8378971>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

NALAVADE, Sandeep Patange *et al.* Development of 12 Channel Temperature Acquisition System for Heat Exchanger Using MAX6675 and Arduino Interface. *In: Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME)*, Springer, Singapore: 2018. v. 1, p. 119 – 125. DOI: 10.1007/978-981-13-2697-4\_13. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4_13). Acesso em: 10 de fev. 2024.

NICHOLS, Daniel. Arduino-based data acquisition into Excel, LabVIEW, and MATLAB. **The Physics Teacher**, [s. l.], v. 55, n. 4, p. 226-227, abr. 2017. DOI: 10.1119/1.4978720. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.4978720>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

PANATO, V. H.; PORTO, M. P.; BANDARRA FILHO, E. P. Experimental performance of an R-22-based refrigeration system for use with R-1270, R-438A, R-404A and R-134a. **International Journal of Refrigeration**, [s. l.], v. 83, p. 108-117, nov. 2017. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2017.07.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.010>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

PEACH, P. F. H.; KLEINGELD, M.; BREDENKAMP, J. I. G. Optimising deep-level mine refrigeration control for sustainable cost savings. *In: International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy*, 1, 2017, Cape Town, South Africa. **Anais [...]**. Cape Town: IEEE, 2017. DOI: 10.23919/ICUE.2017.8068000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8068000>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

PEREIRA, Vitor; DIAS, Samaherni; QUEIROZ, Kurios de. Sistema inteligente para controle de acesso e monitoramento de múltiplos ambientes (class control). *In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS (SBESC)*, 9., 2019, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 25-30. DOI: [https://doi.org/10.5753/sbesc\\_estendido.2019.8631](https://doi.org/10.5753/sbesc_estendido.2019.8631). Disponível em: [https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc\\_estendido/article/view/8631](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc_estendido/article/view/8631). Acesso em: 10 de fev. 2024.