



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E
PRODUÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

MATHEUS AFONSO LIMA DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE CONTROLE PI E PID NA CONSTRUÇÃO PARA DISPOSITIVO
DE RESFRIAMENTO: UMA PROPOSTA PRÁTICA**

**MANAUS-AM
2023**

MATHEUS AFONSO LIMA DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE CONTROLE PI E PID NA CONSTRUÇÃO PARA DISPOSITIVO
DE RESFRIAMENTO: UMA PROPOSTA PRÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IFAM - Campus Manaus Distrito Industrial, Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Cleonor Crescênciodas Neves.

Coorientador: Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis.

**MANAUS-AM
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S719a Souza, Matheus Afonso Lima de.
Aplicação de controle PI e PID na construção para dispositivo de resfriamento : uma proposta prática / Matheus Afonso Lima de Souza. — Manaus, 2023.
63f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2023.

Orientador: Prof.º Cleonor Crescêncio das Neves, Dr.

Coorientador: Prof.º Ailton Gonçalves Reis, Dr.

1. Controle PID. 2. Temperatura. 3. Sensores. 4. Método Cohen-Coon. I. Neves, Cleonor Crescêncio das. II. Reis, Ailton Gonçalves. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. IV. Título.

CDD 629.89

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos **29** dias do mês de **setembro**, de **2023**, às **10:00** h, na sala 19, bloco C do CMDI/IFAM, o discente **MATHEUS AFONSO LIMA DE SOUZA** apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: **Prof. Dr. CLEONOR CRESCÊNCIO DAS NEVES** (docente-orientador), **Prof. Dr. AILTON GONÇALVES REIS**(Docente-Coorientador), **Prof. Dr. ELITON SMITH DOS SANTOS** (Avaliador 1-UNIP) e **Prof. Dr. ALYSON DE JESUS DOS SANTOS**(Avaliador 2- CMDI). A sessão pública de defesa foi aberta pelo presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título **APLICAÇÃO DE CONTROLE PI e PID NA CONSTRUÇÃO PARA DISPOSITIVO DE RESFRIAMENTO: UMA PROPOSTA PRÁTICA**. Na sequência, o discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela **APROVADO** com média final **9,0** (**nove**) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia **28 / 10 / 2023** , com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às **12 h 00 min**, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo discente.

Prof. Orientador/Presidente: _____
Prof. Dr. Cleonor Crescêncio das Neves

Documento assinado digitalmente
gov.br CLEONOR CRESCENCIO DAS NEVES
Data: 04/10/2023 00:50:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Coorientador: _____
Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis

Documento assinado digitalmente
gov.br AILTON GONCALVES REIS
Data: 03/10/2023 14:02:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Avaliador 1: _____
Prof. Dr. Eliton Smith dos Santos

Documento assinado digitalmente
gov.br ELITON SMITH DOS SANTOS
Data: 02/10/2023 12:46:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Avaliador 2: _____
Prof. Dr. Alyson de Jesus dos Santos

Documento assinado digitalmente
gov.br ALYSON DE JESUS DOS SANTOS
Data: 02/10/2023 10:08:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Discente: Matheus Afonso Lima de Souza
Matheus Afonso Lima de Souza

Dedico aos meus pais, com todo respeito, amor e gratidão, e para meu irmão e minha namorada pelo incentivo e motivação constantes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda a minha gratidão pela vida, pela família, pelas oportunidades recebidas, e pela assistência e força nas provações.

Aos meus pais, por todo amor incondicional que me fortalece, motiva, estimula, impulsiona, e me faz perceber que privilégio é tê-los em minha vida, por tudo que consigo expressar de gratidão, mas principalmente pelos momentos que meu olhar de alegria em desfrutar de vossas companhias, falaram mais que mil palavras, a vocês, todo o meu respeito e gratidão, e, admiração que só aumenta dia após dia.

A meu irmão, tia, e, demais familiares que torcem pela minha felicidade, pelo sucesso na minha vida, por minha prosperidade, pelo meu futuro profissional. Agradeço a todos de uma forma singular e sincera, por me motivarem e me impulsionarem a realização dos meus sonhos, dos meus ideais profissionais.

Ao meu orientador, sempre competente, soube fazer brotar em mim a inquietude da sede pela aquisição do conhecimento. Minha gratidão por toda paciência, perseverança docente, e, principalmente, pela serenidade com que me conduziu nessa caminhada acadêmica, de maneira serena, segura e responsável.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta o desenvolvimento de um protótipo para controle de temperatura em um ambiente fechado utilizando técnicas de controle PID. O protótipo consiste em uma caixa de MDF, onde uma lâmpada de 100 watts é controlada por um dimmer para manter a tensão em 33 Vac. Sensores DHT11 e DS18B20 são empregados para captar as temperaturas interna e externa da caixa, respectivamente. Os dados dos sensores são monitorados em tempo real e posteriormente analisado por meio de gráficos gerados no MATLAB. O resfriamento é realizado por uma ventoinha 12Vdc, controlada por um sinal PWM do ESP8266 e um transistor BC458. O controle PID é implementado utilizando a biblioteca PID_v1 do Arduino, cujos parâmetros foram sintonizados com base na resposta em malha aberta e nas relações de COHEN & COON. Os resultados mostraram a quantidade de energia gasta para o resfriamento de acordo com a temperatura externa da caixa além de se mostrar uma solução eficiente para o controle de temperatura em ambientes controlados.

Palavras-chave: Controle PID, Temperatura, Sensores, COHEN & COON.

ABSTRACT

This undergraduate thesis details the development of a prototype for temperature control in a closed environment using PID control techniques. The prototype, housed in an MDF box, regulates a 100-watt lamp via a dimmer to maintain the voltage at 33 Vac. DHT11 and DS18B20 sensors are employed to monitor internal and external temperatures. Real-time sensor data is collected and analyzed through MATLAB-generated graphs. Cooling is facilitated by a 12Vdc fan controlled through PWM signals from the ESP8266 and a BC458 transistor. The PID control implementation, using the Arduino's PID_v1 library, is fine-tuned based on open-loop responses and COHEN & COON relationships. Results highlight the energy consumption for cooling concerning the external temperature, establishing an effective temperature control solution for controlled environments.

Keywords: PID Control, Temperature, Sensors, COHEN & COON.

LISTA DE QUADRO E FIGURAS

Quadro 1: Materiais utilizados.....	32
Figura 1: Curva de reação do processo a um degrau na saída do controlador.....	34
Figura 2: Parâmetros do controlador pelo Método Cohen & Coon.....	35
Figura 3: Saída e entrada de ar respectivamente.....	35
Figura 4: Correção no protótipo.....	36
Figura 5: Alimentação, interruptor, dimmer da lâmpada e sensor ds18b20.....	37
Figura 6: Fonte 12V e lâmpada na parte interna da caixa.....	37
Figura 7: Esquema elétrico do protótipo.....	38
Figura 8: Protótipo com todos os elementos fixados.....	39
Figura 9: Notebook LENOVO.....	39
Figura 10: Ventoinha 24h off.....	40
Figura 11: Ventoinha 24h on.....	41
Figura 12: Ventoinha 24h on/off.....	41
Figura 13: Ventoinha 24h on/off teste 2.....	42
Figura 14: Ventoinha 24h on/off teste 3.....	43
Figura 15: Teste 1 para 39Vac.....	44
Figura 16: Teste2 para 35Vac.....	44
Figura 17: Teste 3 para 35Vac.....	45
Figura 18: Teste 4 para 36Vac.....	45
Figura 19: Teste 5 para 36Vac.....	46
Figura 20: Teste 6 para 36Vac.....	46
Figura 21: Teste 7 para 30Vac.....	47
Figura 22: Teste 8 para 30Vac.....	47
Figura 23: Teste 9 para 30Vac.....	48
Figura 24: Teste 10 para 30Vac.....	48
Figura 25: Teste 11 para 30Vac.....	49
Figura 26: Teste 12 para 30Vac.....	49
Figura 27: Teste 12 resposta e malha aberta.....	50
Figura 28: Temperatura interna no teste 12.....	50
Figura 29: 1ª Resposta teste PID.....	53
Figura 30: Temperatura interna na 1ª Resposta teste PID.....	54
Figura 31: 2ª Resposta teste PID.....	54

Figura 32: Temperatura interna na 2ª Resposta teste PID.....	55
Figura 33: 1ª Resposta teste PI.....	55
Figura 34: Temperatura interna na 1ª Resposta teste PI.....	56
Figura 35: 2ª Resposta teste PI.....	56
Figura 36: Temperatura interna na 2ª Resposta teste PI.....	57
Figura 37: 1ª Resposta teste P.....	57
Figura 38: Temperatura interna na 1ª Resposta teste P.....	58
Figura 39: 2ª Resposta teste P.....	58
Figura 40: Temperatura interna na 2ª Resposta teste P.....	59
Figura 41: 1ª Resposta teste liga/desliga.....	59
Figura 42: Temperatura interna na 1ª resposta liga/desliga.....	60
Figura 43: 2ª Resposta teste liga/desliga.....	60
Figura 44: Temperatura interna na 2ª resposta liga/desliga.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

AD ou ADC – conversor analógico-digital

CR – Ciclo Reverso, opera para Refrigeração e Aquecimento

FR – Ciclo Frio, opera somente para Refrigeração

HTML – HyperText Markup Language

K_p – Coeficiente de controle proporcional

K_i - Coeficiente de controle integrativo

K_d- Coeficiente de controle derivativo

p – Polo da função

PID - Controlador Proporcional, Integral e Derivativo

RG – Resistor de ganho

s – Raízes da equação

T_d – Tempo do controlador derivativo

T_i – Tempo do controle integrativo

T_a – Tempo de acomodamento

UR – Umidade Relativa do Ar

VMR – Valor Máximo Recomendável

V_{in} – Tensão de entrada do AD

V_{out} – Tensão de saída do AD

WEB - World Wide Web

W – Umidade Absoluta do Ar

WWW – World Wide Web

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 MOTIVAÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 CONTROLE E AUTOMAÇÃO.....	16
2.1 TÉCNICAS DE CONTROLE.....	17
2.1.1 Sistemas em malha aberta e malha fechada.....	17
2.1.2 Controle On-Off (Liga-Desliga).....	17
2.1.3 Controle Proporcional (P).....	18
2.1.4 Controle Proporcional-Integral (PI).....	18
2.1.5 Controle Proporcional-Derivativo (PD).....	19
2.1.6 Controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	19
2.2 TÉCNICAS DE AUTOMAÇÃO.....	20
2.2.1 Sensores e Atuadores.....	20
2.2.2 Sistemas de Controle.....	20
2.2.3 Redes de Comunicação.....	21
2.2.4 Automação Industrial.....	21
3 PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO.....	22
3.1 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.....	23
3.2 TÉCNICAS DE CONTROLE APLICADO AO AR CONDICIONADO.....	23
3.2.1 Controladores e Sensores.....	24
3.2.2 Estratégias de Controle.....	24
3.2.3 Benefícios do Controle Avançado.....	25
3.3 NOVAS TECNOLOGIAS DE AR CONDICIONADO.....	25
3.3.1 Eficiência Energética Aprimorada.....	26
3.3.2 Refrigerantes de Baixo Impacto Ambiental.....	26
3.3.3 Integração de Automação e IoT.....	26
3.3.4 Energias Renováveis e Sistemas Híbridos.....	27
3.3.5 Armazenamento de Energia Térmica.....	27
3.4 CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES.....	27

3.5	BALANCEAMENTO DE MASSA NO AMBIENTE DE REFRIGERAÇÃO.....	29
3.5.1	Dimensionamento de Componentes.....	29
3.5.2	Medição e Regulação de Vazões de Ar.....	29
3.5.3	Calibração de Sensores de Temperatura e Umidade.....	30
3.5.4	Ajustes nos Sistemas de Distribuição de Ar.....	30
3.5.5	Simulação Computacional e Modelagem.....	30
3.5.6	Monitoramento em Tempo Real.....	30
4	METODLOGIA DO TRABALHO.....	31
4.1	MATERIAIS.....	31
4.2	MÉTODOS.....	33
5	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
5.1	TESTE PID.....	53
5.2	TESTE PI.....	55
5.3	TESTE P.....	57
5.4	TESTE ON/OFF.....	59
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	TRABALHOS FUTUROS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Na contemporaneidade, as altas temperaturas preocupam todos os países, cientistas e população mundial, a cada dia, o aquecimento global assusta e, enquanto os líderes mundiais não encontram uma solução para o problema, as pessoas procuram alternativas de amenizar o calor a cada dia mais perturbador. Nesse caso, pode-se afirmar que o controle de temperatura se destaca nesse cenário, por ser um dos mais utilizados no meio industrial, ou seja, é viável comercialmente devido a alta demanda, então pode ter maiores e melhores investimentos, principalmente com novas ideias para o setor.

Dispositivos de controle podem ser fabricados por diversas empresas que disponibilizam controladores dos mais variados formatos e tipos. Apesar disso, é importante estudar esses processos, aliando o conhecimento do controlador em si, incluindo o gerenciamento remoto do controlador via *WEB*, que trazem flexibilidade ao usuário final do sistema, bem como informações em tempo real sobre o comportamento do processo, permitindo intervir no sistema, evitando problemas, ou corrigindo-os antes que ocorram.

É essencial que se diga ainda que a pesquisa é relevante por trazer uma contribuição acadêmica e social, por isso, a pesquisa se justifica pela importância de se apresentar o comportamentos dos controladores de forma prática, pois viabiliza a análise dos resultados.

O controle de sistemas tem desempenhado um papel fundamental em diversas áreas da engenharia, possibilitando aprimoramentos significativos na eficiência e desempenho de processos industriais, automação e sistemas embarcados. Nesse contexto, o controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) se destaca como uma das técnicas mais utilizadas e consolidadas para o gerenciamento de sistemas dinâmicos. O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) aborda o desenvolvimento de um protótipo voltado para a aplicação e análise do controle PID em um cenário específico: o controle de temperatura em um ambiente fechado. O controle de temperatura é uma tarefa essencial em muitos processos industriais e ambientes que requerem precisão e estabilidade térmica. Nesse contexto, a utilização de técnicas de controle PID demonstra-se uma abordagem promissora devido à sua simplicidade de implementação e eficácia em uma ampla gama de aplicações.

Assim, acredita-se que a combinação de conceitos de controle, instrumentação, programação e análise de dados, aliada a aplicação do controle PID, proporcionará uma valiosa contribuição para a compreensão e aplicação dessa técnica em cenários reais, bem como para o aprimoramento contínuo de sistemas de controle de temperatura em diversos contextos industriais e de automação.

1.1 MOTIVAÇÃO

O presente trabalho encontra sua motivação na otimização do controle de temperatura em ambientes fechados. A partir de observar ares-condicionados ligados sem utilidade, surge a curiosidade de explorar a aplicação desses métodos para a regulação da temperatura em espaços confinados. Além disso, pela oportunidade de apresentar a importância da busca por eficiência energética na regulação de temperatura de ambientes fechados, tendo em vista que se percebe as altas temperaturas dos últimos anos, em virtude do aquecimento global.

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico apresentamos de forma sucinta o objetivo geral e os objetivos específicos que direcionam esta pesquisa, estabelecendo uma base clara para todas as atividades realizadas.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de controle PID de resfriamento em ambiente fechado com monitoramento remoto assegurando a eficiência energética na regulação de temperatura de ambientes fechados.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as tecnologias de sensoriamento e controle mais utilizadas e recomendadas para a construção de um sistema de monitoramento e automação por meio de uma revisão bibliográfica.
- Desenvolver um código baseado em linguagem C++ para o microcontrolador NodeMCU, implementando as funções de leitura dos sensores de temperatura, bem como as funções de controle.
- Implementar um protocolo de comunicação entre o software desenvolvido e a planilha do google, a fim de receber dados em tempo real, possibilitando a visualização e análise do mesmo por meio do software Matlab.
- Construir o protótipo com uma caixa de mdf, levando em consideração as características físicas e ambientais necessárias para o correto funcionamento do sistema.
- Realizar testes, visando avaliar o desempenho do sistema desenvolvido, tanto em relação ao software quanto ao hardware, comparando as respostas para diferentes tipos de controle, a fim de garantir a qualidade e confiabilidade do sistema.

- Analisar graficamente as respostas dos sensores para cada tipo de controle.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste tópico apresentaremos a estrutura organizacional deste trabalho de conclusão de curso (TCC – Trabalho de Conclusão de Curso). Esta seção é destinada a fornecer uma visão geral das principais seções que compõem este estudo, destacando os tópicos abordados em cada uma delas. A estrutura detalhada visa a facilitar a compreensão do leitor sobre o fluxo de informações e a lógica subjacente à abordagem do tema.

Na primeira seção, "Introdução", contextualizaremos o escopo da pesquisa, iniciando com destaques sobre apontamentos do aquecimento global, que preocupa cientistas do mundo todo, e, desta forma se apresenta a motivação que nos levou a investigar o tema e sua relevância na área de controle e automação. Além disso, delinearemos os objetivos gerais e específicos deste trabalho, delineando a direção que nossa pesquisa seguirá.

O segundo capítulo, "Controle e Automação", abordará o panorama geral dessas disciplinas. Começaremos com uma discussão sobre a origem do controle e a evolução das técnicas de automação. Exploraremos a aplicação dessas técnicas em ambientes residenciais e industriais, destacando a importância da eletrônica nessa evolução.

O terceiro capítulo, "Processo de Refrigeração", concentrar-se-á no contexto específico da refrigeração, abrangendo tanto as aplicações domésticas quanto comerciais. Exploraremos as técnicas de controle aplicadas ao ar condicionado, discutindo novas tecnologias e a importância desse processo para o conforto humano.

No quarto capítulo, buscou-se apresentar a "Metodologia do Trabalho", que descreve os métodos e abordagens que utilizados para atingir nossos objetivos de estudo. Nesse capítulo, discutiremos os materiais e métodos empregados detalhadamente, explicaremos o projeto, apresentando as técnicas de controle escolhidas, descrevendo o desenvolvimento do controlador e do protótipo do sistema em escala reduzida.

No quinto capítulo temos a "Simulação e Análise dos Resultados", abordará a etapa de simulação das soluções propostas. Detalharemos o processo de simulação e apresentaremos os resultados obtidos, relacionando-os com as expectativas estabelecidas anteriormente.

No próximo tópico será apresentado a "Considerações finais", nesta parte final da pesquisa, faremos uma recapitulação dos principais pontos abordados neste trabalho. Discutiremos como os resultados da simulação se relacionam com os objetivos estabelecidos e destacaremos as principais conclusões que emergem dessa análise.

Dando continuação em “Trabalhos Futuros”, o estudo procura abrir espaço para reflexões sobre as implicações mais amplas do estudo, e possível continuação do tema, de uma forma ainda mais abrangente, e, se possível ainda mais atualizada. Nesta parte da pesquisa se apresenta as extensões da pesquisa e áreas que merecem investigação futura.

Em penúltimo, temos as "Referências Bibliográficas", que apontam para todas as fontes citadas ao longo do estudo, formatadas de acordo com a norma especificada da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Todas as obras utilizadas foram devidamente referenciadas ao longo do trabalho, sendo extraídas de sites educacionais, com abordagem do tema específico deste estudo de Engenharia de Controle e Automação.

Por fim temos o “Anexo” deste trabalho, que engloba informações complementares e materiais adicionais que contribuem para uma compreensão aprofundada do tema em questão.

Esta estrutura apresentada acima, deverá servir como guia, orientação para a leitura e interpretação pelo nosso trabalho, apresentando a pesquisa de uma forma detalhada, que servirá para uma melhor compreensão do percurso lógico e metodológico que traçamos para apresentar didaticamente, e, tecnicamente o tema. Cada seção aborda aspectos distintos do assunto aqui discutido, que são interligados, culminando em conclusões embasadas nos resultados técnicos obtidos durante a pesquisa em laboratório acadêmico.

2 CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Neste capítulo, exploraremos o panorama geral sobre a automação, examinando suas origens históricas, técnicas de controle, técnicas de automação, aplicações residenciais e industriais e a importância da eletrônica em seu desenvolvimento.

Campos e Teixeira (2006) destacam que o surgimento da automação remonta à primeira Revolução Industrial, um período de transformação significativa que ocorreu durante o final do século XVIII e início do século XIX. Nessa época, a mecanização começou a substituir a força de trabalho humana por máquinas em fábricas e processos de produção. No entanto, essas máquinas ainda dependiam em grande parte da operação manual. Carvalho (2023) destaca que conforme a tecnologia avançava, surgiram os primeiros sistemas de controle mecânico, permitindo uma regulação mais precisa dos processos industriais. A introdução da eletricidade como fonte de energia marcou um avanço significativo, pois possibilitou o controle elétrico das máquinas, reduzindo a dependência humana na operação.

Bento (2009) afirma que a automação é uma área que desempenha um papel crucial na evolução da tecnologia e na melhoria da eficiência em uma ampla gama de aplicações,

abrangendo desde a indústria até a vida cotidiana nas residências. Borgnakke (2009) et al destaca que automação é sinônimo de revolução, mostrando o crescimento da tecnologia, não esquecendo de retratar os grandes acontecimentos, na área de instrumentação, quanto na computação, que deram suporte a este acentuado crescimento. Mostra como a especialização e o gerenciamento de processos aliados a *Internet* podem gerar novas barreiras a serem superadas.

2.1 TÉCNICAS DE CONTROLE

Çengel e Boles (2006) destacam que as técnicas de controle são a espinha dorsal da automação. Elas englobam um conjunto de princípios e métodos que permitem a regulação e o gerenciamento de sistemas complexos. Um exemplo clássico é o controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID), que ajusta variáveis como temperatura, pressão e velocidade para alcançar metas específicas. Essas técnicas têm uma influência abrangente, impactando uma variedade de setores, desde a indústria até a automação residencial.

2.1.1 Sistemas em malha aberta e malha fechada

Além dos tipos de controle, é importante compreender os conceitos de sistemas em malha aberta e malha fechada.

Tannuri (2023) colaborando com as explicações conceituais destaca que os sistemas de controle de malha aberta são aqueles em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema, neles o sinal de saída não é medido nem utilizado para realimentação do sistema para comparação com a entrada.

Silva (2018) destaca que já no controle em malha fechada, o sinal de saída possui um efeito direto na ação do controle e é designado por um sistema de controle com realimentação. Neste tipo, o sinal de erro que corresponde à diferença entre os valores de referência e de alimentação, é introduzido no controlador de modo a reduzir o erro e a manter a saída do sistema num determinado valor pretendido pelo usuário.

2.1.2 Controle On-Off (Liga-Desliga)

Ogata (2010) destaca que o controle *On-Off*, também conhecido como controle Liga-Desliga, é o tipo mais simples de controle automático. Nesse método, o sistema é ativado quando a variável controlada está abaixo de um valor de referência (*setpoint*) e desativado quando está acima desse valor. Dorf e Bishop (2011) afirmam que a função matemática do

controle *On-Off* é descontínua e caracterizada por limiares de ativação e desativação. Aplicações: Este tipo de controle é frequentemente utilizado em sistemas simples onde pequenas variações na variável controlada são toleráveis. Exemplos incluem sistemas de aquecimento e resfriamento domésticos e termostatos.

2.1.3 Controle Proporcional (P)

Levenspiel (2002) afirma que o controle proporcional é normalmente aplicado em muitos processos contendo constantes de tempo simples, e responde rapidamente tanto aos distúrbios como às alterações do ponto de ajuste. Possui, entretanto, a característica normalmente indesejável de apresentar um erro residual em regime permanente (*offset*). A sintonia é relativamente fácil de ser obtida, pelo ajuste de um único parâmetro (K_p).

A função matemática do controle proporcional é dada por:

$$u(t) = K_p \times e(t)$$

Onde:

$u(t)$ é a saída do controlador (sinal de controle).

K_p é a constante de ganho proporcional.

$e(t)$ é o erro, dado por $e(t) = SP - PV$, onde SP é o setpoint e PV é o valor real da variável controlada.

Aplicações: O controle proporcional é amplamente utilizado em diversas aplicações industriais e sistemas de controle, especialmente quando o objetivo é reduzir o erro e melhorar a estabilidade do sistema.

2.1.4 Controle Proporcional-Integral (PI)

Campos et al. (2006) afirma que a principal característica do controle integral é a redução ou eliminação do erro em regime permanente.

Possui a desvantagem de tornar a resposta muito oscilatória quando o ganho integral é muito alto ou a resolução do sensor é baixa, este inconveniente é contornado com a adição do ganho proporcional e se necessário a atenuação do ganho integral.

A função matemática do controle PI é dada por:

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) dt$$

Onde:

K_i é a constante de ganho integral.

Aplicações: O controle PI é comumente empregado em sistemas onde é necessário eliminar o erro de estado estacionário, como em sistemas de controle de temperatura e pressão.

2.1.5 Controle Proporcional-Derivativo (PD)

Segundo Ogata (2011) um controlador derivativo associado à ação proporcional, corresponde ao acréscimo de um zero ao sistema, atuando benéficamente no regime transitório, tendendo a aumentar a estabilidade relativa do sistema e reduzindo o tempo de acomodação, contudo, contrapondo-se a estas vantagens, ele aumenta o tempo de subida e, por não atuar no regime permanente, não corrige o erro de estado estacionário.

A função matemática do controle PD é dada por:

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Onde:

K_d é a constante de ganho derivativo.

Aplicações: O controle PD é aplicado em sistemas que requerem resposta rápida e redução do efeito de perturbações transitórias, como em sistemas de controle de velocidade de motores.

2.1.6 Controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

Ogata (2011) explica que o controlador PID, ou simplesmente PID, é uma técnica de controle de processos que une as ações derivativa, integrativa e proporcional, fazendo, assim, com que o sinal de erro seja minimizado pela ação do proporcional, zerado pela ação integral e obtido com uma velocidade antecipativa pela ação derivativa.

Silva (2005) destaca completa a afirmação destacando que para realizar a modelagem do processo, é necessário obter a curva em malha aberta do sistema.

Nesse sentido, após realizado o modelo do processo, é possível realizar os cálculos necessários para o controle.

Bento (1999) afirma que o Controle Proporcional-Integrativo-Derivativo combina as características de estabilidade conferida pelo controle proporcional mais derivativo com as características de eliminação do erro oferecidas pelo controle proporcional mais integral.

Scervini (2023) afirma que como a ação derivativa torna o controlador mais difícil de sintonizar, o controle de três modos (PID) deverá ser utilizado somente em determinados processos que realmente tenham seu desempenho bastante aumentado.

A função matemática do controle PID é dada por:

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Aplicações: O controle PID é um dos tipos mais utilizados em uma ampla variedade de aplicações industriais, sistemas de controle de processos e automação, proporcionando um controle eficiente e preciso de variáveis em diferentes sistemas e processos.

2.2 TÉCNICAS DE AUTOMAÇÃO

Segundo Lima (2003) as técnicas de automação são o cerne da revolução tecnológica que tem impactado em todos os aspectos de nossas vidas, desde a indústria até a automação residencial. Essas técnicas representam o conjunto de estratégias e métodos necessários para regular, gerenciar e otimizar sistemas complexos, permitindo a execução de tarefas de forma autônoma e minimizando ou eliminando a necessidade de intervenção humana direta.

2.2.1 Sensores e Atuadores

Lopez (2000) afirma que os sensores desempenham um papel crucial nas técnicas de automação, pois são responsáveis por coletar informações físicas do ambiente, como temperatura, pressão, luz, umidade ou movimento. Esses dispositivos convertem essas informações em sinais elétricos ou digitais que podem ser processados por sistemas de controle. Exemplos comuns desses sensores: sensores de movimento em câmeras de segurança e sensores de proximidade em smartphones. Por outro lado, os atuadores realizam ações com base nas informações fornecidas pelos sensores. Isso pode incluir motores que movem válvulas em um sistema de abastecimento de água, atuadores lineares que ajustam a posição de uma antena parabólica ou até mesmo um sistema de travagem em um veículo autônomo. Em conjunto com os sensores, os atuadores são os "olhos" e "mãos" da automação, permitindo que os sistemas interajam com o ambiente de forma controlada.

2.2.2 Sistemas de Controle

Maitelli (2011) afirma que os sistemas de controle são responsáveis por interpretar os dados dos sensores e tomar decisões sobre como os atuadores devem responder. Eles operam com base em algoritmos e lógica de controle programada para manter as variáveis do sistema dentro dos limites desejados. A lógica de controle varia desde simples instruções condicionais, como "se a temperatura exceder um limite, ligue o ar condicionado," até sistemas de controle mais complexos baseados em equações matemáticas. A realimentação (*feedback*) desempenha

um papel fundamental nos sistemas de controle. Envolve a medição contínua da saída do sistema e a comparação com a referência desejada (*setpoint*). Com base nessa comparação, o sistema ajusta automaticamente a ação do atuador para manter a saída dentro dos parâmetros desejados. Isso é fundamental para garantir que o sistema permaneça estável e responda a mudanças nas condições do ambiente.

2.2.3 Redes de Comunicação

Franklin e Powell (2019) destacam que a comunicação é um componente vital nas técnicas de automação, permitindo a coordenação e a troca de informações entre os componentes do sistema. As redes de comunicação desempenham um papel importante nesse aspecto, garantindo que os sensores, atuadores e sistemas de controle possam interagir de maneira eficiente e confiável.

Guterres (2019) afirma que a Ethernet industrial é uma tecnologia de rede projetada para ambientes industriais, onde é necessário um alto nível de confiabilidade e velocidade. Ela permite a comunicação rápida e segura entre dispositivos em sistemas de automação industrial. Existem protocolos de automação como Modbus, Profibus e DeviceNet, que são projetados para permitir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes em sistemas de automação industrial. Essas informações sobre as técnicas de automação destacam sua importância como a espinha dorsal de sistemas autônomos em uma variedade de contextos, impulsionando a eficiência, a segurança e a qualidade em inúmeras aplicações. O avanço contínuo da tecnologia promete uma automação cada vez mais sofisticada e adaptável, moldando o presente e o futuro da automação e da engenharia de controle.

2.2.4 Automação Industrial

Humbert (2015) afirma que a automação é um campo tecnológico em constante evolução, desempenhando um papel significativo tanto nas residências quanto nas indústrias. Natale (2003) destaca que a automação industrial é uma área essencial que desempenha um papel crucial na otimização de processos, aumento da eficiência e garantia da qualidade na indústria. Ela representa a aplicação de tecnologia avançada e sistemas automatizados em ambientes de produção e manufatura. Ao longo das últimas décadas, a automação industrial tem revolucionado a forma como as empresas produzem bens e serviços.

A automação industrial engloba uma ampla variedade de componentes e sistemas que podem ser implementados para atender às necessidades específicas de cada indústria. Alguns

dos principais elementos da automação industrial incluem:

1. Robótica: Os robôs industriais desempenham um papel central na automação industrial. Eles podem ser programados para realizar uma ampla variedade de tarefas, desde montagem e soldagem até embalagem e manipulação de materiais. Sua precisão e repetibilidade aumentam a qualidade e a eficiência da produção. (NATALE, 2003).

2. Controle de Processos: Os sistemas de controle de processos monitoram e controlam variáveis em tempo real, garantindo que as operações de produção sejam executadas dentro de especificações rigorosas. Isso inclui a regulação de temperatura, pressão, velocidade e muitos outros parâmetros. (NATALE, 2003).

3. Controle de Qualidade: A automação industrial inclui sistemas de inspeção automatizada, como visão computacional e inspeção por raio-X, que são usados para garantir a qualidade dos produtos, detectando defeitos de forma rápida e precisa.

4. Logística Automatizada: Em ambientes de armazéns e centros de distribuição, sistemas de logística automatizados, como transportadores automatizados e veículos autônomos, agilizam o transporte de mercadorias, reduzem erros e aumentam a eficiência na distribuição. (NATALE, 2003).

5. Monitoramento Remoto: A automação industrial permite o monitoramento remoto de máquinas e processos, permitindo que os operadores respondam rapidamente a eventos não planejados e evitem paradas de produção. (NATALE, 2003).

Murril (2011) afirma que a automação industrial é uma parte vital da indústria moderna, melhorando a produtividade, reduzindo custos e garantindo a qualidade dos produtos. Desempenha um papel importante na segurança dos trabalhadores, ao automatizar tarefas perigosas e repetitivas.

3 PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO

Neste capítulo, aprofundaremos os princípios fundamentais da refrigeração doméstica, bem como os componentes e os processos que permitem que os sistemas de refrigeração residenciais atendam às necessidades dos lares.

Martins (2023) destaca que a refrigeração doméstica é um campo essencial da tecnologia moderna, desempenhando um papel crucial nas vidas cotidianas das pessoas ao proporcionar conforto térmico e preservar alimentos. Borgnakke e Sonntag (2009) destacam que a refrigeração doméstica é uma extensão um tanto limitada. Contudo, como o número de

unidades em serviço é muito grande, a refrigeração doméstica representa uma parte importante da indústria de refrigeração.

3.1 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Tannuri (2018) destaca que os sistemas de refrigeração doméstica são compostos por uma série de componentes vitais que colaboram para manter a temperatura interior desejada e preservar alimentos perecíveis. Alguns dos componentes mais comuns veremos a seguir:

O compressor é o componente central do sistema de refrigeração, responsável por comprimir o fluido refrigerante, aumentando a pressão e temperatura, processo essencial para que o refrigerante possa realizar a troca de calor necessária para resfriar o ambiente interno.

Após isso temos o condensador, que é responsável por liberar o calor absorvido do ambiente interno para o ambiente externo. Ele recebe o vapor quente do compressor e, por meio da condensação, transforma-o de volta em líquido refrigerante, liberando calor no processo.

Outro componente é o dispositivo de expansão, Tannuri (2018) destaca que ele regula o fluxo do refrigerante, reduzindo sua pressão antes de entrar no evaporador. Isso prepara o refrigerante para evaporar e absorver calor do ambiente interno de maneira eficiente.

Por fim temos o evaporador, Alves (2013) destaca que o mesmo é localizado na parte interna de refrigeradores e condicionadores de ar residenciais. Sua função é absorver calor do ambiente interno, permitindo que o fluido refrigerante evapore e esfrie o ar circulante.

Araújo (2023) destaca que esses componentes operam de maneira coordenada para manter o ambiente residencial em uma temperatura confortável. Soares (2014) afirma que a refrigeração doméstica se baseia nos princípios da termodinâmica e utiliza um ciclo de refrigeração para extrair o calor do interior de uma residência, mantendo-a a uma temperatura agradável. Esse ciclo envolve a manipulação cuidadosa de um fluido refrigerante por meio de componentes interligados. No processo, o fluido refrigerante evapora a uma temperatura muito baixa, absorvendo calor do ambiente interno. Em seguida, ele é comprimido e condensado, liberando calor para o ambiente externo e voltando ao estado líquido, pronto para reiniciar o ciclo.

3.2 TÉCNICAS DE CONTROLE APLICADO AO AR CONDICIONADO

Borgnakke e Sonntag (2009) afirmam que o condicionamento de ar pode ser dividido em duas categorias distintas de acordo com sua aplicação: para o conforto e industrial. Sobre a abordagem deste tópico, pode-se afirmar que o controle é um elemento crucial para garantir que sistemas de ar condicionado e refrigeração atendam efetivamente às necessidades de

temperatura e umidade dos ambientes internos. Enquanto o condicionamento de ar para conforto às pessoas, o industrial tem por objetivo satisfazer condições de processo.

O condicionamento de ar na indústria pode ser encontrado em aplicações tais como: indústria de impressão, onde um rígido controle da umidade se faz necessário para uma fixação adequada das cores em impressão colorida; indústria têxtil, onde se busca limitar o rompimento de fibras e reduzir a eletricidade estática; indústria de produção de material fotográfico, onde o material fotográfico virgem se deteriora rapidamente a altas temperaturas e umidades; etc. Nesta seção, exploraremos as técnicas de controle empregadas nesses sistemas, destacando o papel fundamental dos controladores e sensores na manutenção das condições desejadas e confortáveis nos espaços interiores.

3.2.1 Controladores e Sensores

Silva (2014) afirma que sobre os controladores, pode-se afirmar que estes desempenham um papel vital no gerenciamento dos sistemas de ar condicionado e refrigeração. Toigo (2013) destaca que os controladores são dispositivos eletrônicos programáveis que monitoram constantemente as condições ambientais e ajustam as configurações do sistema para atingir os objetivos de temperatura e umidade.

Cândido (2011) afirma que os controladores modernos são frequentemente equipados com algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial, tornando-os capazes de otimizar automaticamente o desempenho do sistema. Os sensores desempenham um papel complementar importante. Sensores de temperatura, umidade e qualidade do ar são implantados nos espaços interiores e exteriores. Esses sensores coletam dados em tempo real e os transmitem aos controladores. Com base nesses dados, os controladores tomam decisões precisas sobre como operar os componentes do sistema de ar condicionado e refrigeração.

3.2.2 Estratégias de Controle

Este capítulo explora estratégias de controle fundamentais para otimizar a eficiência dos sistemas de refrigeração e ar condicionado. Focando em técnicas específicas, como o Controle de Temperatura Programado, que regula com precisão as condições térmicas, e o Feedback de Sensores, vital para manter o equilíbrio térmico, o texto também aborda o Controle de Zonas, que adapta o clima em áreas específicas para um ambiente interno mais confortável e econômico.

Silva (2014) afirma que uma das estratégias de controle mais simples e amplamente

utilizadas é o controle de temperatura programado. Os controladores são configurados para manter a temperatura interna dentro de uma faixa predefinida. Quando a temperatura se desvia dessa faixa, o sistema é ativado para aquecer ou resfriar o ambiente até que a temperatura desejada seja restaurada. Essa abordagem é eficaz para manter o conforto térmico em residências, escritórios e edifícios comerciais.

Segundo Toigo (2013) o feedback de sensores é uma estratégia mais avançada, onde os controladores ajustam continuamente as configurações com base nas medições em tempo real dos sensores. Por exemplo, se um sensor de temperatura detecta um aumento repentino de calor devido à luz solar direta, o controlador pode aumentar a capacidade de resfriamento do sistema temporariamente para evitar o desconforto térmico.

Kardec e Nascif (2009) destacam que o controle de zonas é frequentemente usado em edifícios com áreas de uso variado. Permite que diferentes áreas ou zonas de um edifício tenham configurações de temperatura independentes. Isso é alcançado por meio da instalação de sensores e controladores dedicados em cada zona. Machado (2009) menciona que essa estratégia economiza energia, pois não é necessário resfriar ou aquecer todo o edifício uniformemente, permitindo o ajuste fino das condições em áreas específicas, como salas de reunião, escritórios individuais e áreas de produção.

3.2.3 Benefícios do Controle Avançado

Cândido (2011) afirma que o uso de técnicas de controle avançado, alimentado por dados de sensores em tempo real e algoritmos inteligentes, oferece benefícios significativos. Isso inclui a melhoria da eficiência energética, uma vez que o sistema responde de forma mais precisa às condições, economizando energia quando a demanda é menor. O controle avançado contribui para o conforto dos ocupantes, garantindo que as condições de temperatura e umidade permaneçam dentro dos níveis desejados. As técnicas de controle desempenham um papel fundamental na otimização do desempenho dos sistemas de ar condicionado e refrigeração, garantindo o conforto dos ocupantes e a eficiência energética. A combinação de controladores inteligentes e sensores de alta precisão possibilita o ajuste preciso das condições ambientais em ambientes internos, promovendo o bem-estar e a economia de energia.

3.3 NOVAS TECNOLOGIAS DE AR CONDICIONADO

O campo da refrigeração e ar condicionado está passando por uma revolução tecnológica, impulsionada pela necessidade de maior eficiência energética e pela preocupação

com o meio ambiente. Exploraremos algumas das mais recentes inovações e tecnologias emergentes que estão moldando o futuro dos sistemas de ar condicionado e refrigeração.

3.3.1 Eficiência Energética Aprimorada

Correia (2014) assegura que uma das tendências mais proeminentes é o desenvolvimento de sistemas de ar condicionado mais eficientes em termos de energia. Isso envolve a adoção de componentes avançados, como compressores de velocidade variável e trocadores de calor mais eficientes, que reduzem o consumo de energia e o impacto ambiental. Além disso, a otimização de sistemas por meio de algoritmos avançados de controle e monitoramento em tempo real contribui para a eficiência energética geral.

3.3.2 Refrigerantes de Baixo Impacto Ambiental

Segundo Frota (2021) a preocupação com os refrigerantes de alto potencial de aquecimento global (GWP) levou à pesquisa e desenvolvimento de alternativas mais amigáveis ao meio ambiente. Refrigerantes de baixo GWP, como o R-32 e o R-1234yf, estão ganhando destaque. Esses refrigerantes têm um impacto menor no aquecimento global em comparação com os refrigerantes tradicionais, como o R-410A e o R-134a.

3.3.3 Integração de Automação e IoT

Para Cândido (2011) a integração da Internet das Coisas (IoT) está transformando sistemas de ar condicionado e refrigeração em sistemas inteligentes e conectados. Sensores avançados e dispositivos IoT são usados para monitorar o desempenho em tempo real, detectar problemas precocemente e otimizar o uso de energia. Isso permite que os sistemas se ajustem automaticamente às condições em mudança e às preferências dos usuários.

Segundo Kardec e Nascif (2009) para aplicações residenciais, a automação residencial está se tornando cada vez mais popular. Os sistemas de ar condicionado podem ser controlados remotamente por meio de smartphones e dispositivos de automação residencial. Isso permite que os proprietários ajustem as configurações de temperatura e operação, economizando energia quando não estão em casa e garantindo o conforto quando retornam.

Para Machado (2009) a IoT também desempenha um papel importante na manutenção preditiva. Sensores e análises avançadas monitoram o estado dos componentes do sistema e identificam sinais precoces de desgaste ou falha. Isso possibilita a manutenção proativa, evitando interrupções não planejadas e prolongando a vida útil dos equipamentos.

3.3.4 Energias Renováveis e Sistemas Híbridos

Pinto e Xavier (2008) afirmam que a busca por soluções mais sustentáveis levou ao desenvolvimento de sistemas de ar condicionado e refrigeração que podem ser alimentados por energias renováveis, como energia solar e geotérmica. Sistemas híbridos que combinam tecnologias de compressão convencionais com fontes de energia alternativas estão se tornando mais comuns. Isso reduz ainda mais a pegada de carbono e os custos operacionais.

3.3.5 Armazenamento de Energia Térmica

O armazenamento de energia térmica está ganhando importância como uma forma eficaz de gerenciar a demanda de energia e melhorar a eficiência do sistema. Sistemas que armazenam energia térmica durante períodos de baixa demanda e a liberam durante os picos de demanda ajudam a nivelar a carga elétrica e reduzir os custos operacionais.

Bega (2011) afirma que essas inovações estão moldando o futuro dos sistemas de ar condicionado e refrigeração, tornando-os mais eficientes, ecologicamente corretos e conectados. À medida que a tecnologia continua a avançar, podemos esperar sistemas de refrigeração e ar condicionado mais inteligentes, eficientes e sustentáveis, contribuindo para um ambiente interno mais confortável e respeitoso com o meio ambiente.

3.4 CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES

A climatização de ambientes trata-se de procedimentos que pretendem atingir determinadas condições do ar nos mais variados ambientes.

A climatização tem a intenção de favorecer as pessoas que transitam no local, conforto e qualidade no ar, e/ou, garantir para equipamentos e processos condições específicas impostas. Conforme o sentido técnico de aplicação, a conservação do ar, é um método de tratamento de ar com propósito de regular de forma simultânea características do ar como a temperatura, umidade relativa através da remoção ou adição de vapor de água, a pureza por meio dos filtros, distribuição com recurso de ventilador, difusor e duto, de um determinado ambiente.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR 6401) a conservação do ar, em todas as suas destinações, requer o manejo em intervalos de valores das seguintes grandezas descritas, que correspondem ao estado desejado dentro do ambiente, que devem ser mantidos durante o período de atuação do sistema:

a) Temperatura é uma propriedade da matéria, é uma grandeza do grau de energia de um corpo. Temperaturas elevadas indicam grande quantidade de energia do corpo, afirmando desse modo que o corpo está quente. Determinou-se que a temperatura é uma função da energia cinética interna, sendo relacionada com a velocidade molecular. No sistema internacional é expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), mas pode ser encontrada em Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) e outras unidades. (ABNT, 2008)

b) Calor Sensível ocorre quando existe troca de calor, tanto para adição como para remoção, com variação no nível de temperatura, isso sem alteração de estado físico.

c) Calor Latente ocorre quando existe troca de calor com alteração de estado físico, sem mudança de temperatura. (ABNT, 2008)

d) Umidade Relativa do Ar é a relação aproximada entre as massas de vapor d'água existente num volume e a massa de vapor que saturaria aquele volume, a mesma temperatura e pressão total. Para sua medida os profissionais da área utilizam geralmente os psicrômetros, mas também é possível medir com ajuda de higrômetros. Os psicrômetros se constituem basicamente de dois termômetros, um de bulbo seco e outro de úmido, e a partir destas quantidades, a umidade do ar pode ser analisada em uma carta psicrométrica. (ABNT, 2008)

e) Temperatura de Bulbo Seco do Ar, é a temperatura denominada para o composto ar-vapor, por um termômetro usual. Sendo igual para os dois elementos do composto, tanto o ar quanto o vapor. (ABNT, 2008)

f) Temperatura de Bulbo Úmido do Ar é alcançada através de um termômetro semelhante ao psicrômetro, em que seu bulbo envolvido em uma gaze molhada é submetido a um fluxo de ar até que o equilíbrio da temperatura da mistura ar-vapor/bulbo seja alcançada e pare de diminuir a temperatura, sendo esta temperatura menor que a de bulbo seco. (ABNT, 2008)

g) Entalpia é uma grandeza termodinâmica de posição ou de quantidade, e geralmente se aplica a diferenças de entalpias. Esta variação representa a quantidade de calor trocado pelo ar (ar-vapor), entre duas posições. (ABNT, 2008)

h) Carta Psicrométrica é um gráfico onde são demonstradas as propriedades termodinâmicas do ar. (ABNT, 2008)

Abaixo são apresentadas as grandezas:

- Temperatura de bulbo seco (BS) – ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$);
- Temperatura de bulbo úmido (BU) – ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$) Umidade relativa do ar (UR) – %;
- Umidade Absoluta do ar (W) - lb vapor/lb ar seco, ou grains vapor/lb ar seco ou gramas (g) vapor/kg de ar seco.

3.5 BALANCEAMENTO DE MASSA NO AMBIENTE DE REFRIGERAÇÃO

Um balanço de massa é uma aplicação do princípio da conservação da massa para análise de sistemas físicos.

Pirani (2011) explica que pela medição de um material entrando e deixando um sistema, fluxos de massa podem ser identificados, os quais podem ser desconhecidos ou difíceis de serem conhecidos sem técnica. A conservação da massa, significa que a matéria não pode desaparecer ou ser criada espontaneamente. Por isso, balanço de massas são amplamente utilizados em engenharias e análise de ambientes.

Segundo Souza e Rocha (2014) este tópico (balanceamento de massa no ambiente de refrigeração) que o balanceamento de massa é uma disciplina fundamental na engenharia de sistemas de refrigeração, e desempenha um papel essencial na garantia do funcionamento eficaz desses sistemas. Envolve a gestão cuidadosa e precisa dos fluxos de ar, distribuição de calor e umidade, visando manter condições internas ideais em termos de temperatura, umidade e qualidade do ar. Nesta seção, exploraremos em detalhes as técnicas de balanceamento de massa utilizadas para otimizar o desempenho de sistemas de refrigeração.

3.5.1 Dimensionamento de Componentes

O dimensionamento adequado dos componentes do sistema de refrigeração é o primeiro passo no balanceamento de massa. Isso inclui a seleção apropriada de serpentinas, dutos, difusores e outros elementos do sistema. O tamanho e a capacidade desses componentes devem ser calculados com base na carga térmica do espaço, nas condições climáticas locais e nas necessidades específicas de resfriamento ou aquecimento.

3.5.2 Medição e Regulação de Vazões de Ar

Silva (2004) destaca que o controle das vazões de ar é essencial para garantir que o calor seja transferido eficientemente. Salvador (2009) destaca que medidores de vazão de ar, como anemômetros e pluviômetros, são usados para medir e regular o fluxo de ar em diferentes partes do sistema. Isso garante que a quantidade adequada de ar seja entregue a cada área do espaço interno, evitando desequilíbrios de temperatura.

3.5.3 Calibração de Sensores de Temperatura e Umidade

Segundo Souza e Rocha (2014) sensores de temperatura e umidade desempenham um papel crucial no controle do ambiente interno. A calibração precisa desses sensores é essencial para garantir a leitura correta das condições ambientais. A calibração regular ajuda a manter a precisão dos dados, permitindo que o sistema de refrigeração responda adequadamente às mudanças nas condições.

3.5.4 Ajustes nos Sistemas de Distribuição de Ar

Pirani (2011) afirma que os sistemas de distribuição de ar, como dutos e difusores, devem ser projetados e ajustados para garantir a distribuição uniforme do ar resfriado ou aquecido. Isso evita pontos quentes ou frios nos espaços internos. Silva (2004) destaca que a combinação de ajustes no dimensionamento dos componentes, na velocidade do ar e na direção do fluxo de ar contribui para o equilíbrio térmico.

3.5.5 Simulação Computacional e Modelagem

A simulação computacional e a modelagem são ferramentas avançadas usadas para otimizar o projeto e o funcionamento dos sistemas de refrigeração. Elas permitem prever o comportamento do sistema sob diferentes condições e cenários, ajudando os engenheiros a tomar decisões informadas sobre as configurações ideais e as estratégias de controle.

3.5.6 Monitoramento em Tempo Real

Segundo Souza e Rocha (2014) afirmam que o monitoramento em tempo real é uma técnica moderna que envolve o uso de sensores avançados e sistemas de automação para ajustar as condições do ambiente interno conforme necessário. Isso permite uma resposta rápida a variações nas condições internas e externas, mantendo o equilíbrio térmico de forma eficaz. As técnicas de balanceamento de massa desempenham um papel crucial na garantia do funcionamento eficaz dos sistemas de refrigeração.

- a) Temperatura do ar (aquecimento e resfriamento);
- b) Umidade relativa do ar (níveis de vapor de água);
- c) Movimentação do ar (ventilação e direcionamento);

- d) Nível de pureza do ar (filtração);
- e) Nível de ruído admissível (lubrificação e redução de folgas);
- f) Porcentagem ou volume de renovação de ar (quantidade de ar renovado por tempo).

Segundo Stoecker e Jabardo (2012) o dimensionamento adequado de componentes, a medição e regulação de vazões de ar, a calibração de sensores, os ajustes nos sistemas de distribuição de ar, a simulação computacional, a modelagem e o monitoramento em tempo real são elementos-chave para alcançar o equilíbrio térmico desejado, proporcionando ambientes internos confortáveis e eficientes em termos energéticos.

4 METODOLOGIA DO TRABALHO

Neste capítulo, apresentaremos a metodologia adotada para este estudo, que se baseia em uma abordagem explicativa e aplicada. Descreveremos a lógica dedutiva que fundamenta nossas análises, juntamente com os procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental. Além disso, discutiremos como a abordagem quali-quantitativa nos permite compreender de forma abrangente os fatores que influenciam o fenômeno em estudo. Este capítulo busca estabelecer um sólido alicerce metodológico para a análise e interpretação dos dados, contribuindo para uma compreensão mais profunda e prática do tema em consideração.

A pesquisa conduzida neste estudo é classificada como explicativa, aplicada e dedutiva, com uma abordagem quali-quantitativa. Conforme destacado por Azevedo & Ensslin (2020), a natureza explicativa desta pesquisa visa identificar e analisar minuciosamente os fatores que influenciam o fenômeno em estudo, proporcionando uma compreensão aprofundada das razões subjacentes aos comportamentos observados (AZEVEDO & ENSSLIN, 2020). Com uma abordagem aplicada, o estudo busca gerar conhecimentos diretamente aplicáveis na resolução de problemas específicos, contribuindo para soluções práticas e tangíveis (Azevedo & Ensslin, ano). Ademais, a pesquisa segue uma lógica dedutiva, utilizando premissas estabelecidas como base lógica para suas conclusões. A lógica dedutiva fornece uma estrutura sólida para a argumentação, assegurando uma análise consistente e precisa dos resultados obtidos (AZEVEDO & ENSSLIN, 2020). No que diz respeito aos procedimentos técnicos, a pesquisa adota uma abordagem bibliográfica e experimental. A pesquisa bibliográfica desempenha um papel crucial ao fundamentar teoricamente o estudo, fornecendo uma base sólida de conhecimento existente para a análise crítica e contextualizada do tema (AZEVEDO & ENSSLIN, 2020). Simultaneamente, a pesquisa experimental permite a identificação e análise de variáveis que possam influenciar o objeto de estudo, fornecendo um contexto prático e

concreto para a compreensão do fenômeno em análise. A pesquisa também adota uma abordagem quali-quantitativa, combinando a análise de variáveis quantitativas mensuráveis com a compreensão de nuances qualitativas para proporcionar uma compreensão holística do tema, conforme sugerido por (AZEVEDO & ENSSLIN, 2020). Integrando todas essas características, a pesquisa visa oferecer uma análise abrangente e fundamentada, contribuindo para um entendimento aprofundado e uma abordagem prática do tema em questão.

4.1 MATERIAIS

Neste capítulo, forneceremos uma visão geral dos utensílios e ferramentas fundamentais utilizados neste projeto. Destacaremos os equipamentos e recursos específicos empregados, oferecendo uma base sólida para compreender o processo metodológico adotado neste estudo.

Quadro 1: Materiais utilizados.

Sensor de temperatura e umidade: dht11 .
Sensor de temperatura DS18B20.
1 diodo 1N4004.
1 transistor bc548.
1 regulador de tensão Lm7805.
1 resistor 100 ohms.
1 resistor 4.7k ohms.
1 borne 2 terminais.
1 potenciômetro 1k.
1 borne 3 terminais.
1 placa fenolite trilha 5x10 cm.
1 ventoinha 12 Vdc ; 0,57W
1 fonte 12V
1 tomada para a fonte 12 V
2 plugues de tomada.
Cabo elétrico.
1 lâmpada 127 V ; 2800k luz amarela; 1800 lúmens .
1 dimmer para controle de tensão da lâmpada.
3 Chaves liga/desliga.
1 conjunto interruptor com tomada
1 caixa de MDF 29,5x19,5x10,5

Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - Integrated Development Environment) Arduino versão 1.8.19 para windows, encontrado em http://arduino.cc/en/software , versões recentes não foi possível instalar a placa ESP8266 na IDE.
Notebook LENOVO x64 com processador Intel® Core™ i5-8250U CPU @ 1.60GHz, 1801 Mhz, 4 núcleo(s), 8 processador(es) lógico(s), sistema operacional Microsoft Windows 11 Home Single Language, versão 10.0.22621
Módulo Esp8266 e cabo USB para alimentação e leitura serial.

Fonte: Aatoria Própria (2023).

4.2 MÉTODOS

Com relação a descrição do presente projeto, pode-se afirmar que este envolveu a adaptação de um ambiente de controle em uma caixa de MDF e a utilização de diversos componentes para alcançar esse propósito.

O cerne deste projeto concentrou-se na simulação e controle precisos de condições ambientais, notadamente a temperatura interna, uma variável crítica em diversas aplicações práticas. A representação em escala reduzida desse ambiente foi construída dentro de uma caixa de MDF especialmente adaptada.

O ambiente controlado foi estruturado com os seguintes componentes-chave:

Ventoinha: Uma ventoinha foi instalada no interior da caixa de MDF e configurada para operar quando necessário, visando resfriar o ambiente.

Potenciômetro: Foi incluído um potenciômetro para permitir a definição da temperatura desejada no interior da caixa, oferecendo controle direto sobre o sistema.

ESP8266: Utilizamos o microcontrolador ESP8266 para coletar dados dos sensores de temperatura. Esse dispositivo habilitou a monitorização contínua das temperaturas interna e externa da caixa.

Lâmpada com Dimmer: Uma lâmpada foi incorporada ao interior da caixa e acionada a uma tensão de 35V. O controle preciso dessa tensão foi viabilizado por meio de um dimmer, introduzindo perturbações controladas no sistema.

O projeto iniciou-se com a preparação da caixa de MDF, incluindo a criação de orifícios e furos essenciais para a instalação da ventoinha, potenciômetros e botões de acionamento. O funcionamento da ventoinha era desencadeado pela interpretação das leituras dos sensores pelo controlador, que, por sua vez, enviava um sinal para acionar um transistor responsável pelo controle da ventoinha.

Para viabilizar o desenvolvimento do projeto, a próxima etapa consistiu na preparação

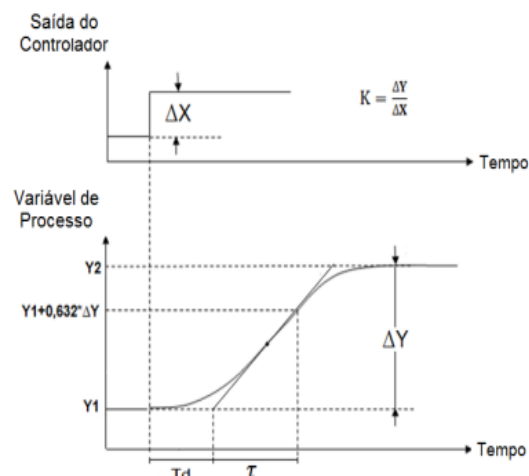
dos softwares utilizados. Inicialmente, foi necessário realizar o download e a instalação da IDE do Arduino, juntamente com a configuração da placa ESP8266 para garantir o reconhecimento adequado do hardware. Posteriormente, foram adquiridas e integradas as bibliotecas essenciais para estabelecer a comunicação com os sensores e a transferência de dados para a planilha. Um script específico foi implementado na planilha para possibilitar a atualização dos dados enviados pelo controlador. Por fim, foi desenvolvido um script no MATLAB para calcular os ganhos dos controladores e gerar gráficos visuais destinados à análise dos resultados.

O processo de teste foi implementado inicialmente em malha aberta, coletando dados fundamentais. Esses dados foram posteriormente utilizados para a criação de gráficos e para a aplicação da técnica de controle Cohen e Coon, com o objetivo de determinar as constantes de controle necessárias.

Em uma etapa subsequente, diferentes estratégias de controle foram implementadas, incluindo PID (Proporcional, Integral e Derivativo), PI (Proporcional e Integral) e PD (Proporcional e Derivativo). Cada estratégia regulava a tensão aplicada à ventoinha, com base na saída PWM do controlador, para manter a temperatura interna da caixa em conformidade com a referência estabelecida.

A sintonia de controladores é um processo essencial para garantir um desempenho adequado de um sistema de controle. A abordagem escolhida neste projeto foi a "Sintonia Baseada na Resposta em Malha Aberta". Essa técnica envolve a coleta de dados durante operação em malha aberta, na qual o sistema de controle não faz uso de realimentação (*feedback*). Durante a fase de sintonia em malha aberta, foram aplicados testes que consistiram em alterações deliberadas nas entradas do sistema para observar as respostas correspondentes. Os dados coletados durante esses testes foram posteriormente analisados para extrair informações valiosas sobre a dinâmica do sistema.

Figura 1: Curva de reação do processo a um degrau na saída do controlador



Fonte: (BEGA, 2006, apud PIRES,SD).

A sintonia dos parâmetros de um controlador PID é um passo crítico para alcançar um controle preciso e estável. Para essa finalidade, utilizou-se o método Cohen e Coon, que é uma técnica amplamente reconhecida para sintonizar controladores PID com base nas características da resposta em malha aberta do sistema. O método Cohen e Coon consiste na análise dos dados de resposta em malha aberta para calcular os valores ideais dos parâmetros do controlador PID, incluindo o ganho proporcional (K_p), o tempo integral (T_i) e o tempo derivativo (T_d). Esses parâmetros foram determinados de acordo com as características específicas do sistema em estudo, levando em consideração a estabilidade, o tempo de resposta e a minimização do erro em regime permanente.

Figura 2: Parâmetros do controlador pelo Método Cohen & Coon

Controlador	Ganho do Controlador	Tempo Integral	Tempo Derivativo
P	$K_p = \frac{1,03}{K} \left(\frac{\tau}{T_d} + 0,34 \right)$	---	---
PI	$K_p = \frac{0,9}{K} \left(\frac{\tau}{T_d} + 0,092 \right)$	$T_i = 3,33T_d \left(\frac{\tau + 0,092T_d}{\tau + 2,22T_d} \right)$	---
PID	$K_p = \frac{1,35}{K} \left(\frac{\tau}{T_d} + 0,185 \right)$	$T_i = 2,5T_d \left(\frac{\tau + 0,185T_d}{\tau + 0,611T_d} \right)$	$T_d = 0,37T_d \left(\frac{\tau}{\tau + 0,185T_d} \right)$

Fonte: (COHEN ;COON, 1953 apud PIRES, SD).

No desenvolvimento do protótipo, inicialmente foram feitas aberturas na lateral da caixa para a entrada e saída de ar dos ventiladores, onde um foi instalador para que o ar entre na caixa e o outro para que o ar saia, como um exaustor, fazendo uma troca de ar rápida.

Entre os dois ventiladores foi colocado um botão para ter um controle de liga e desliga de forma manual.

Figura 3: Saída e entrada de ar respectivamente.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Posteriormente foi observado que a ventoinha de saída de ar não acionava devidamente como a de entrada, acionando apenas para o valor máximo do pwm. Com isso optou-se por utilizar apenas a ventoinha de entrada de ar para o resfriamento.

Para vedar a abertura feita para instalação da ventoinha de saída de ar foi colado uma folha de papelão, tanto na parte interna quanto na parte externa.

Figura 4: Correção no protótipo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Do lado oposto ao ventilador tem o sistema de energia da lâmpada, onde a alimentação chega pelo cabo até o conjunto da tomada e interruptor. Da tomada temos também diretamente a alimentação da fonte de 12V que fica na parte interna da caixa.

O interruptor permite a passagem ou não de energia para a lâmpada e o dimmer permite controlar a tensão dessa energia.

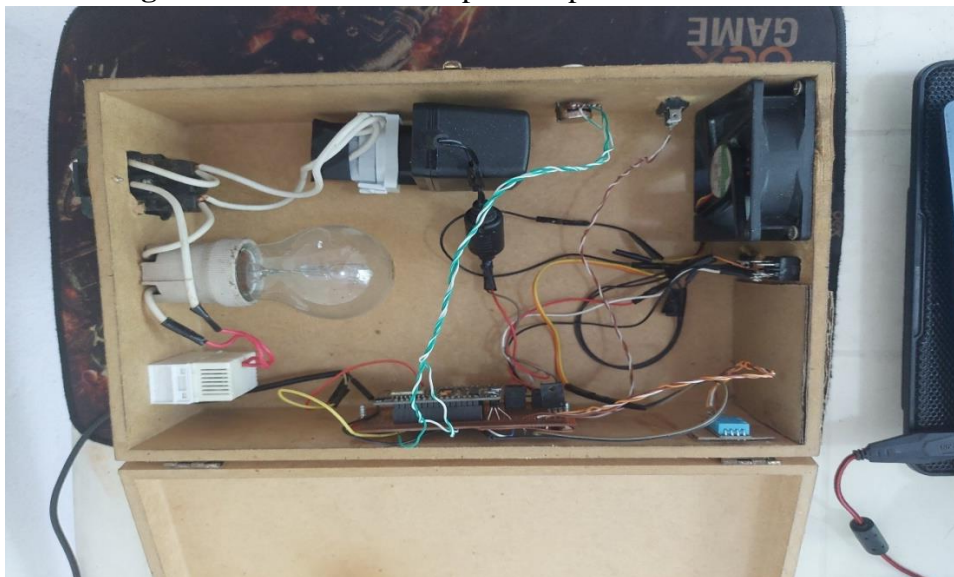
Também temos a saída do cabo que conecta o sensor ds18b20 ao sistema de controle, este sensor capta a temperatura do ambiente externo da caixa e é posto a uma distancia para que a temperatura da caixa não gere ruído para o sensor.

Figura 5: Alimentação, interruptor, dimmer da lâmpada e sensor ds18b20.



Fonte: Autoria Própria (2023).

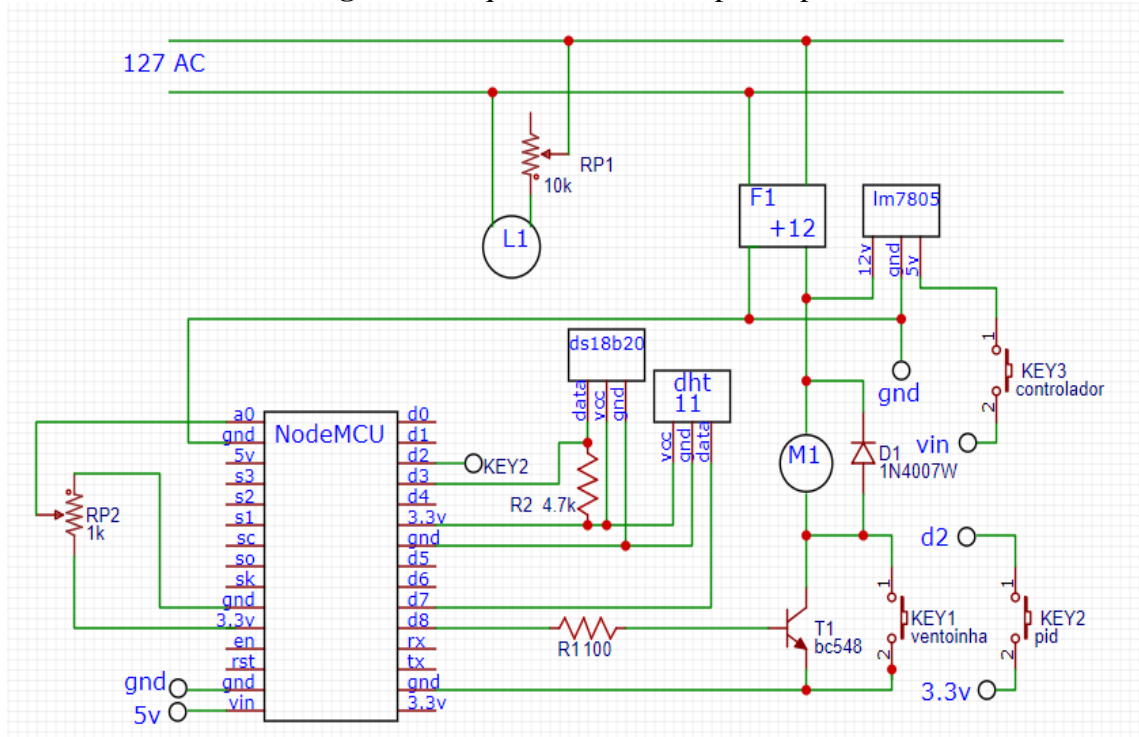
Figura 6: Fonte 12V e lâmpada na parte interna da caixa.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Com o tempo algumas chaves de acionamento foram adicionadas ao projeto. Logo abaixo da chave que liga a ventoinha direto em 12V foi instalado uma chave para alimentar o circuito do NodeMCU, assim o controlador pode ser acionado sem precisar do cabo USB, pois acionando a chave fecha o circuito da saída de 5V do componente lm7895 para o pino de alimentação do controlador. Outra chave instalada foi a que habilita a saída pwm, fazendo a ventoinha funcionar de acordo com o sinal de saída do controlador, ao lado desta chave foi instalado um potenciômetro ligado à entrada analógica do controlador, com isto podemos variar o valor de setpoint do controlador, em outras palavras, determina a temperatura no interior do protótipo. O esquema completo de montagem foi feito como o da figura a seguir.

Figura 7: Esquema elétrico do protótipo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Onde:

- M1 é a ventoinha
- Dht11 é o sensor que capta a temperatura no interior da caixa.
- Ds18b20 é o sensor que capta a temperatura do ambiente no exterior da caixa.
- R1 é o resistor de 100 ohms.
- R2 é o resistor de 4.7k ohms.
- D1 é o diodo.
- T1 é o transistor bc548
- F1 é a fonte 12V
- L1 a lâmpada 127 AC
- KEY1 é a chave que aciona a ventoinha diretamente pela fonte de alimentação.
- KEY2 é a chave que habilita o acionamento pelo controlador.
- KEY3 é a chave que alimenta a placa de controle.
- NodeMCU é a placa de controle.
- RP1 é o dimmer da lâmpada.
- RP2 é o potenciômetro que regula o valor do setpoint do controlador.
- LM7805 é o regulador de tensão que transforma os 12V da fonte em 5V para alimentar o controlador.

Uma placa de circuito foi soldada para compor o controlador, o transistor, resistor, conexão dos sensores, alimentação da fonte 12V e botões de acionamento, seguindo o esquema elétrico mostrado anteriormente. Foi colocado dois parafusos para que a placa de circuito ficasse fixa na caixa, como visto na figura a seguir:

Figura 8: Protótipo com todos os elementos fixados.



Fonte: Aatoria Própria (2023).

O sensor de temperatura dht11 foi afastada do circuito da placa pois o aquecimento do componente lm7805, responsável por regular a tensão da fonte de 12v para 5v da entrada do controlador, estava interferindo na medição da temperatura. Como mostra na figura.

Figura da caixa aberta - A partir disso podemos conectar no o cabo usb no computador (figura 18) para upload da programação e aquisição dos dados.

Figura 9: Notebook LENOVO.



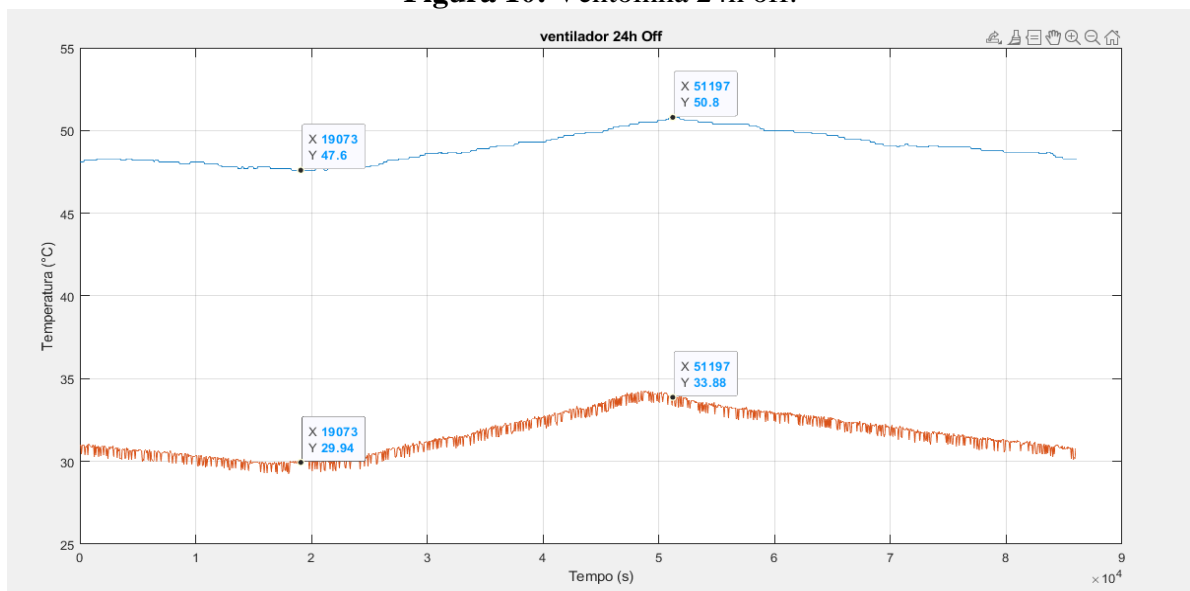
Fonte: Aatoria Própria (2023).

Com o protótipo finalizado, pudemos levantar a curva do sistema em malha aberta para determinar os parâmetros do controlador. Optou-se por regular o dimmer para que a temperatura

máxima da caixa ficasse em torno de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pois é a temperatura limite da faixa de operação linear do sensor dht11, este ajuste foi feito de forma manual, medindo a tensão na lâmpada enquanto era feito o ajuste, chegamos a uma tensão de 36Vac para a realização dos ensaios.

O primeiro teste é feito deixando a lâmpada ligada direto durante 24h para determinarmos o seu valor máximo no decorrer do dia, pois esse sistema varia de acordo com a temperatura do ambiente por não está completamente isolado. Os dados do sensor e do valor da saída pwm foram enviados para uma planilha do google onde esses dados ficam salvos. Posteriormente esses dados foram copiados para um script do Matlab onde é feita a geração dos gráficos. A imagem a seguir mostra a leitura da temperatura no interior da caixa e do ambiente, o sistema com a lâmpada ligada e a ventoinha desligada no decorrer de 24h, ligados às 2h da manhã aproximadamente e desligado às 2h do dia seguinte.

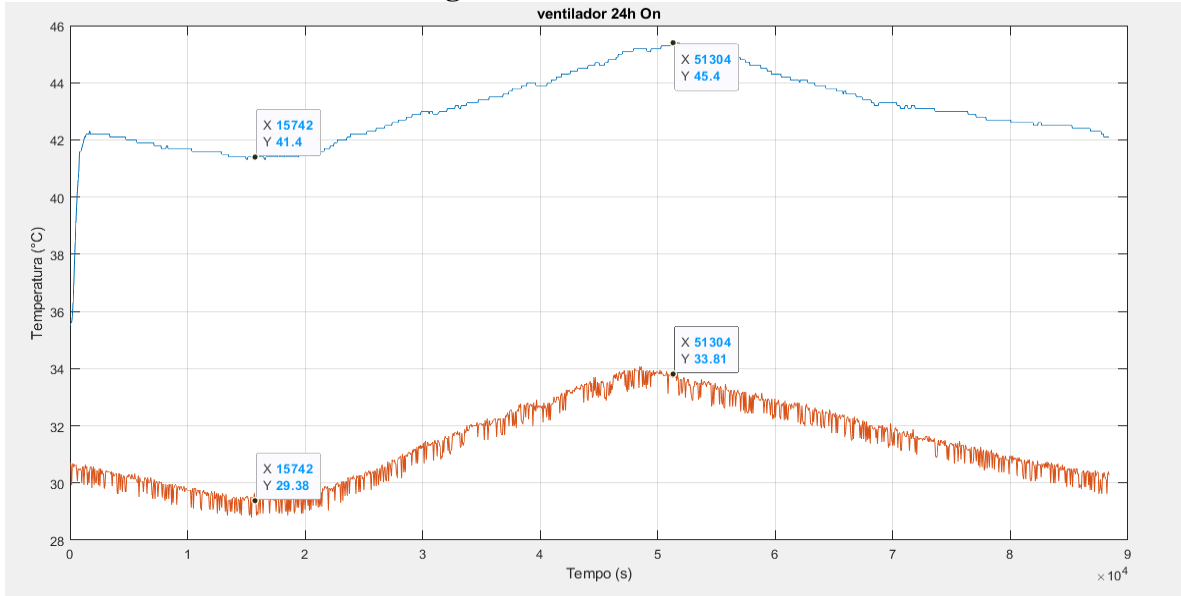
Figura 10: Ventoinha 24h off.



Fonte: Autoria Própria (2023).

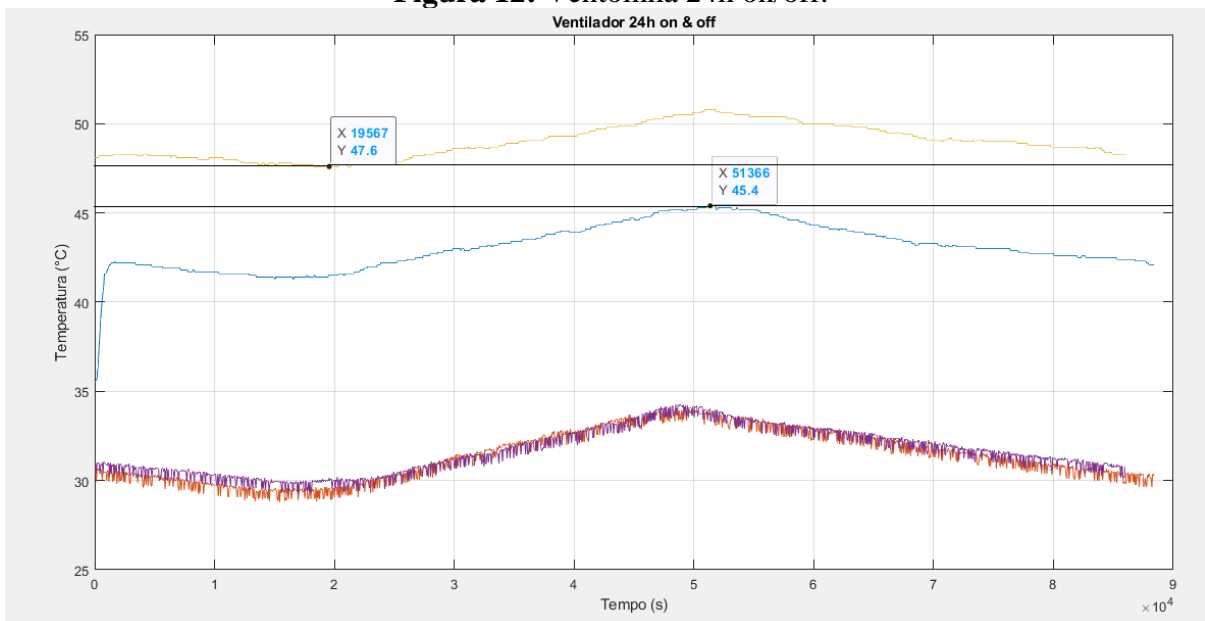
O gráfico mostra que quando a caixa atinge uma temperatura máxima de $50.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente mostra $33.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ e quando atinge a temperatura mínima na caixa de $47.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente é de $29.94\text{ }^{\circ}\text{C}$, estes são os maiores valores que a caixa pode atingir dado a temperatura ambiente medida.

O segundo teste foi feito deixando a ventoinha e a lâmpada ligada por 24h e o resultado foi a imagem a seguir:

Figura 11: Ventoinha 24h on.

Fonte: Autoria Própria (2023).

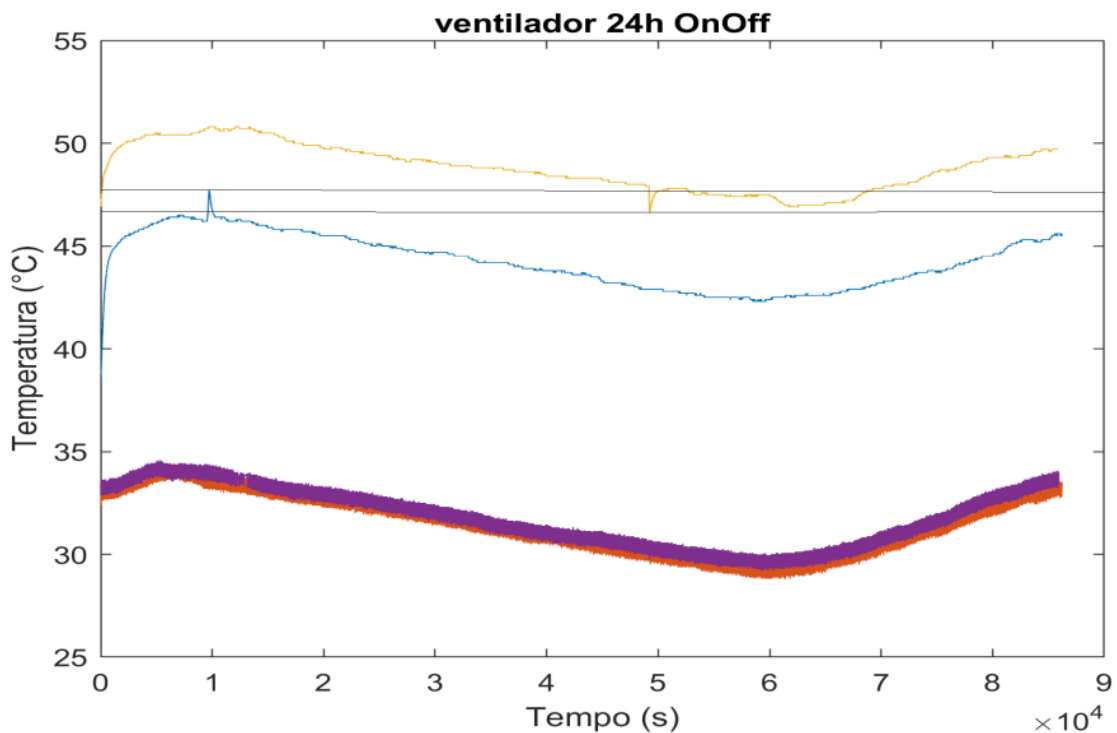
Aqui podemos observar os valores de temperatura atingidos pela caixa ao deixar a ventoinha ligada por 24h, isso significa os menores valores de temperatura que a caixa pode atingir no decorrer do dia. Podemos observar que o valor de temperatura máximo na caixa foi de 45.4 °C quando o ambiente estava em 33.81°C e a mínima de 41.4°C quando o ambiente estava em 29.38°C. Sobrepondo as duas respostas poderemos ter uma ideia melhor sobre a faixa de atuação em que o sistema não será prejudicado por um setpoint mal definido.

Figura 12: Ventoinha 24h on/off.

Fonte: Autoria Própria (2023).

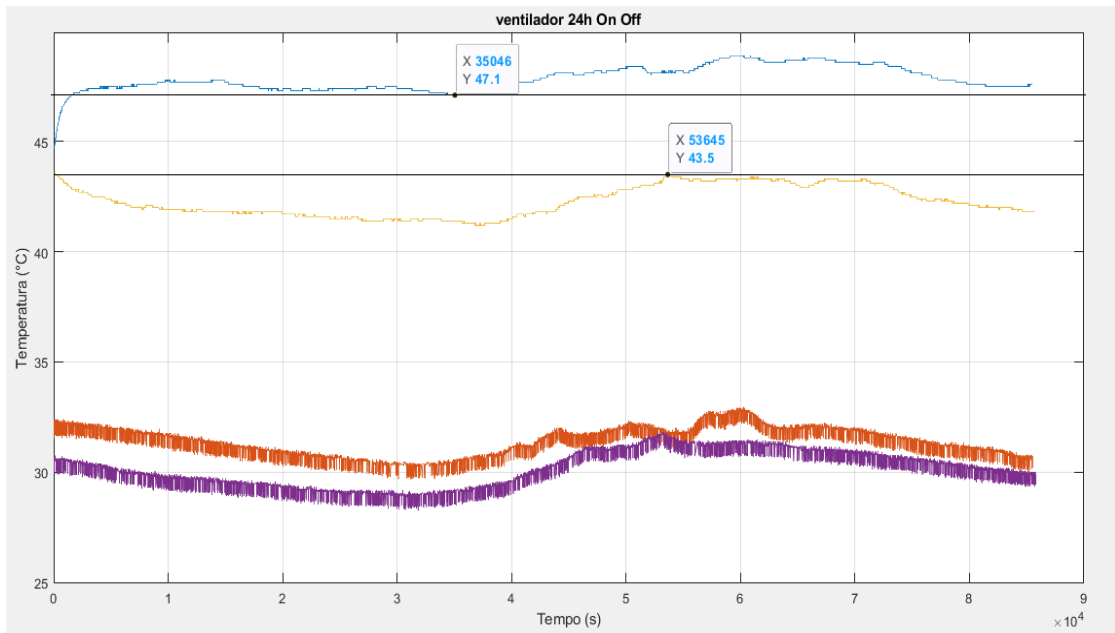
Como podemos observar no gráfico existe uma faixa de valores de setpoint na qual o sistema irá conseguir manter a temperatura no decorrer de todo o dia sem problemas com o ajuste, e estes valores vão de 45.4 °C até 47.8°C. Onde a temperatura interna e ambiente com ventoinha desligada é vista em amarelo e em roxo respectivamente, e a temperatura interna e ambiente com ventoinha ligada é visto em azul e em vermelho respectivamente. Outro teste deixando a ventoinha ligada por 24h e desligada pelo mesmo período foi realizado, desta vez iniciando as leituras às 2h da tarde. O resultado do gráfico sobrepondo os dois dias é visto:

Figura 13: Ventoinha 24h on/off teste 2.



Nesta segunda análise foi observada um ruído que inviabiliza uma zona de operação que atenda um único valor de setpoint por 24h. Porém se desconsiderarmos o ruído apresenta uma pequena faixa entre de setpoint livre entre 46.5°C min e 46.9°C max. Um último teste foi realizado, assim como os anteriores, porém iniciando às 22h, o resultado da temperatura interna e externa da caixa para os valores mínimo e máximo de pwm podem ser vistos a seguir:

Figura 14: Ventoinha 24h on/off teste 3.

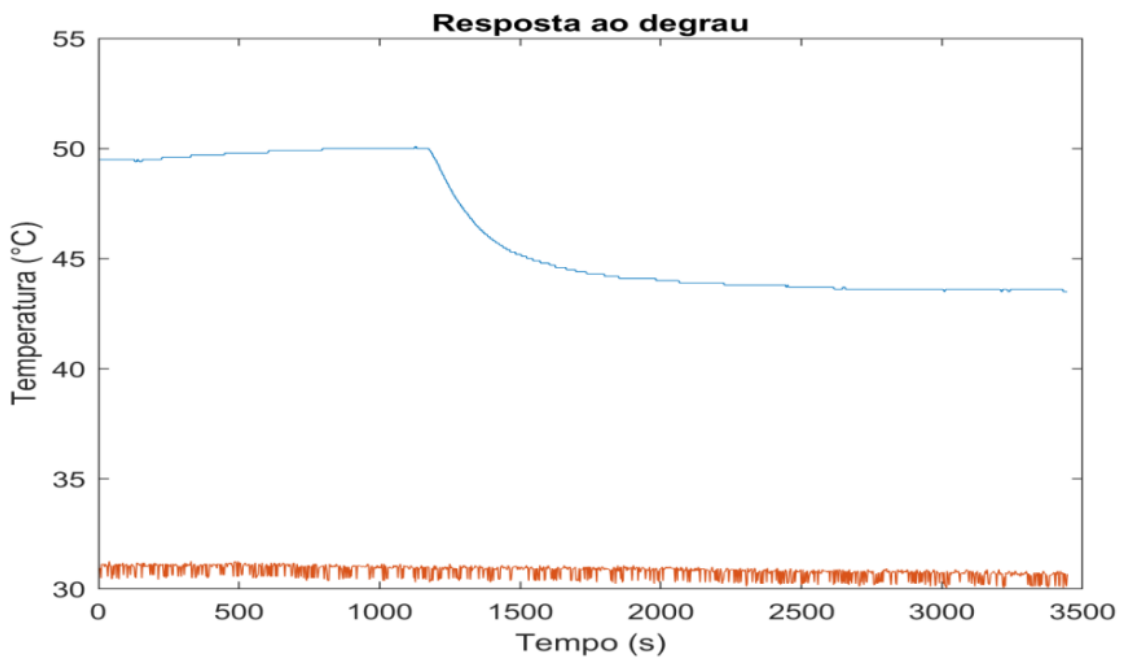


Fonte: Aatoria Própria (2023).

No gráfico acima podemos observar novamente a faixa entre a menor temperatura atingida com a ventoinha desligada e a maior temperatura atingida com a ventoinha ligada, esta é a faixa de valores de setpoint que atendem o sistema de controle. Podemos observar também uma variação na temperatura ambiente vista em vermelho, referente ao dia que a ventoinha ficou desligada, a variação incomum se deu pois ocorreu uma chuva neste dia.

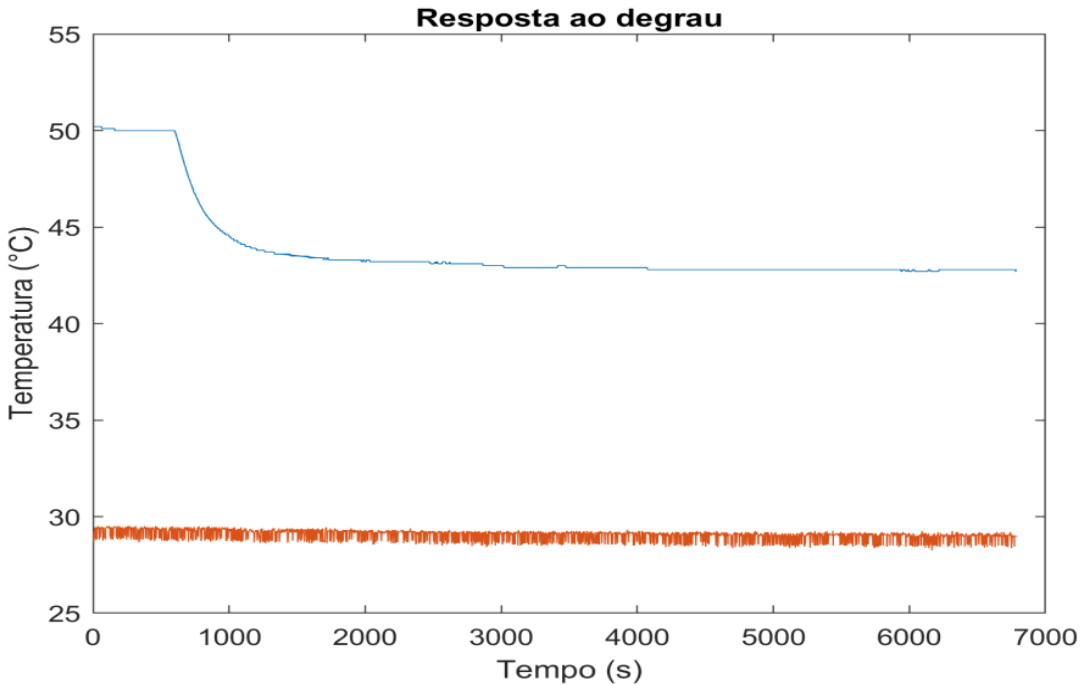
Para determinar os valores das constantes de controle optou-se por seguir o método de COHEN & COON de resposta em malha aberta. Para a leitura em malha aberta esperou-se o sistema aquecer e atingir uma temperatura máxima com a lâmpada ligada e em seguida foi acionado a ventoinha com o valor de pwm máximo de 255 e esperou-se a temperatura no interior da caixa se estabilizar. Foram feitas algumas leituras em malha aberta para valores diferentes de tensão sob a lâmpada e em seguida os dados foram copiados para um script do matab que gerou os gráficos a seguir:

Figura 15: Teste 1 para 39Vac.



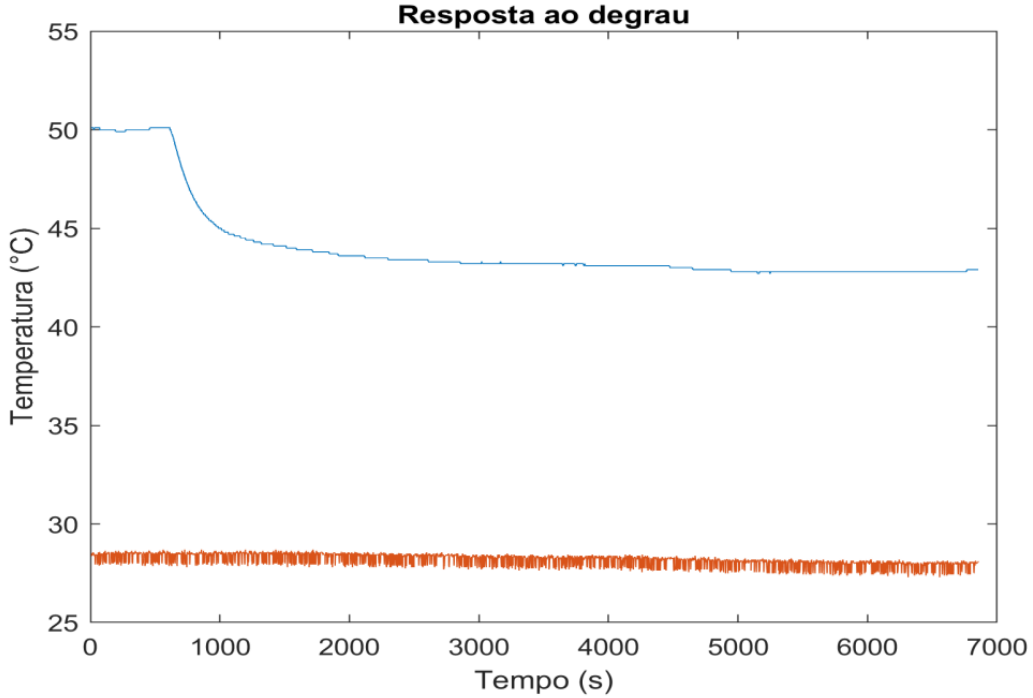
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 16: Teste2 para 35Vac.



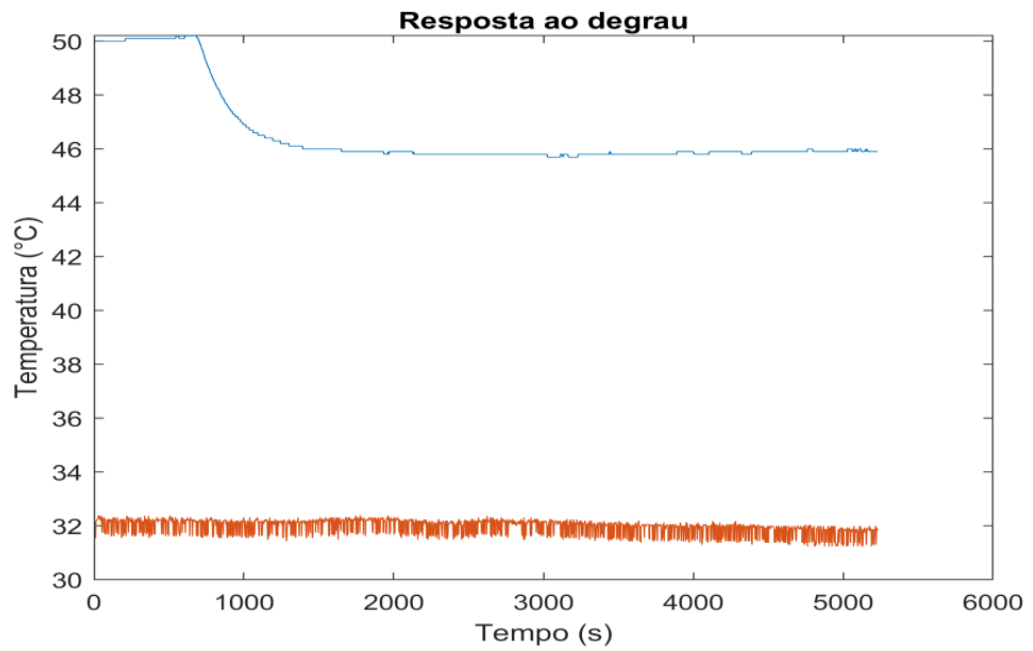
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 17: Teste 3 para 35Vac.



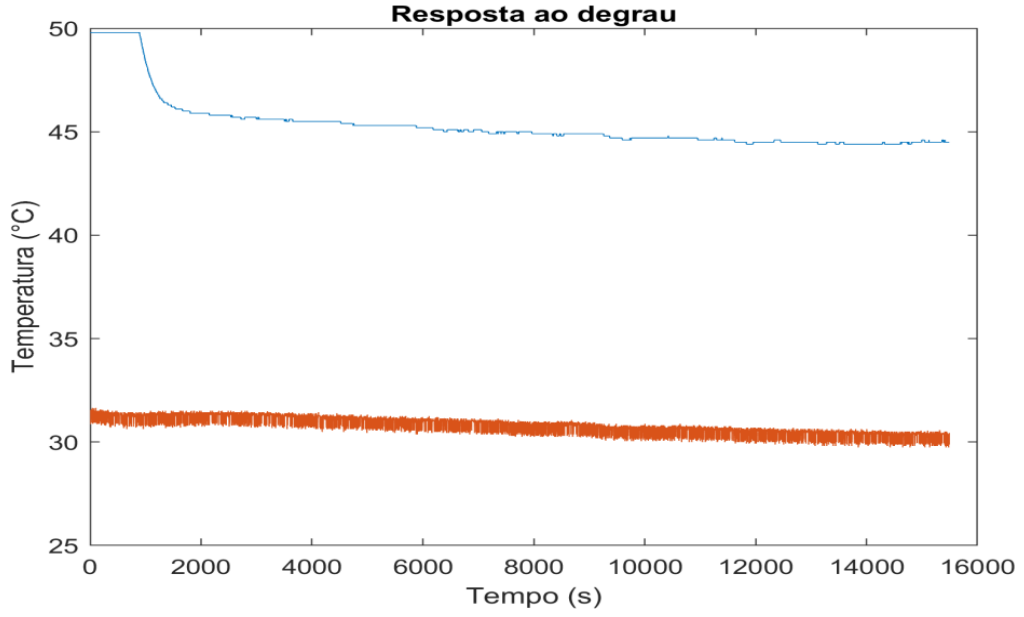
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 18: Teste 4 para 36Vac.



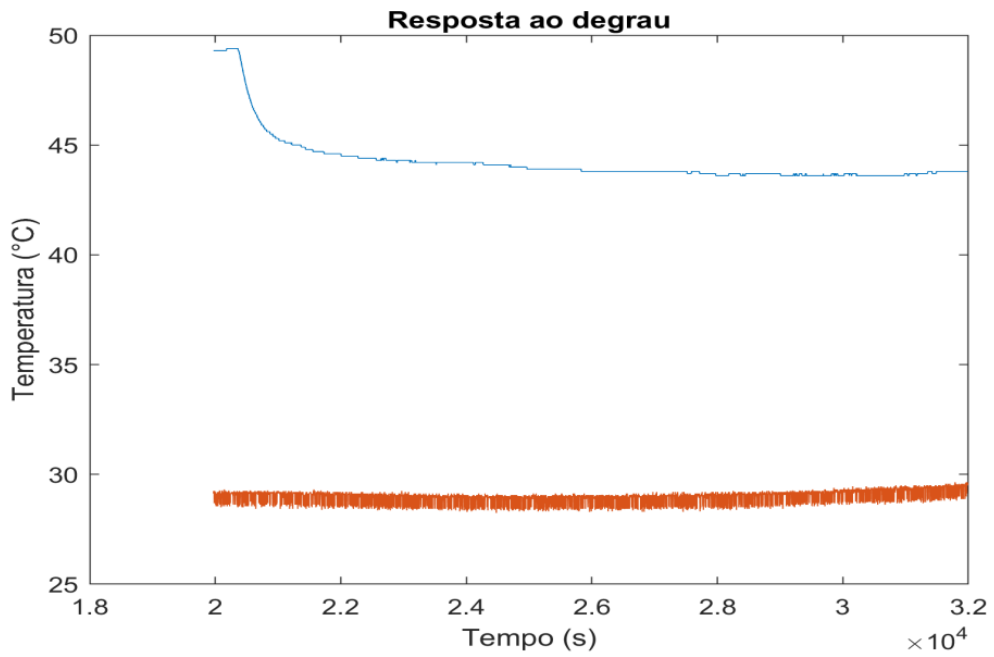
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 19: Teste 5 para 36Vac.



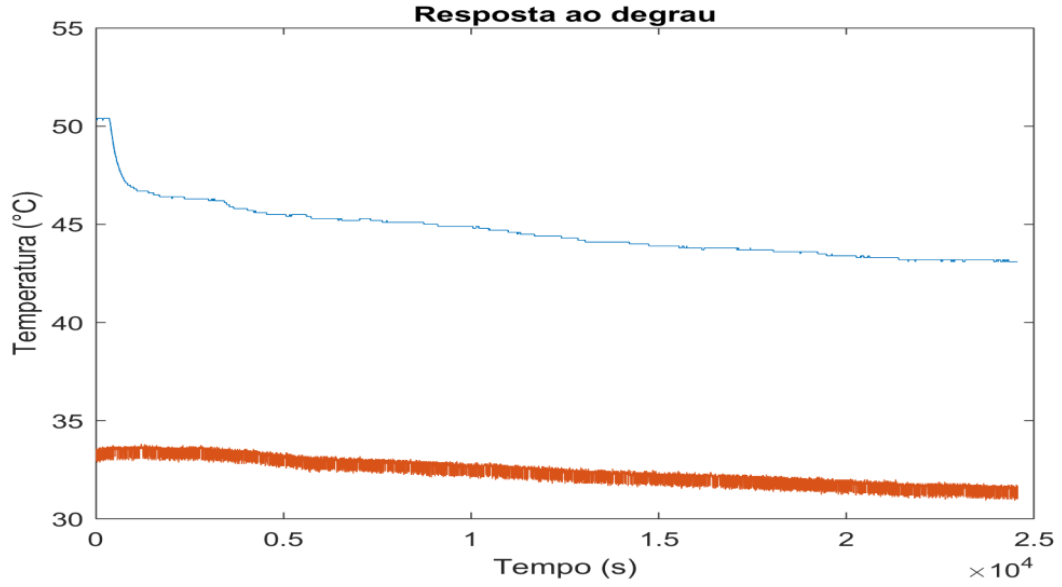
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 20: Teste 6 para 36Vac.



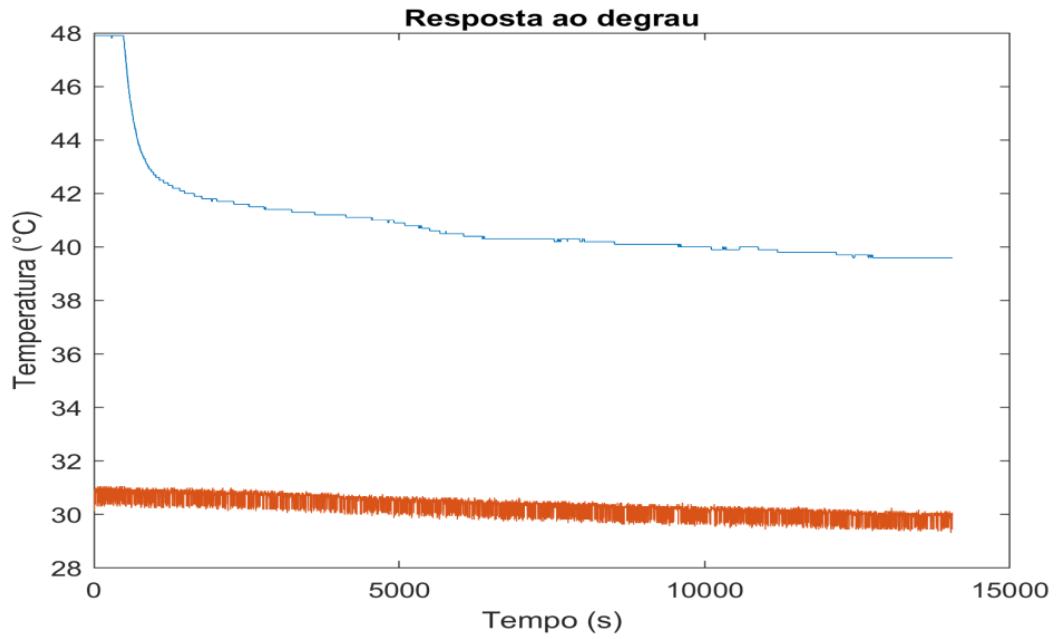
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 21: Teste 7 para 30Vac.



Fonte: Autoria Própria (2023).

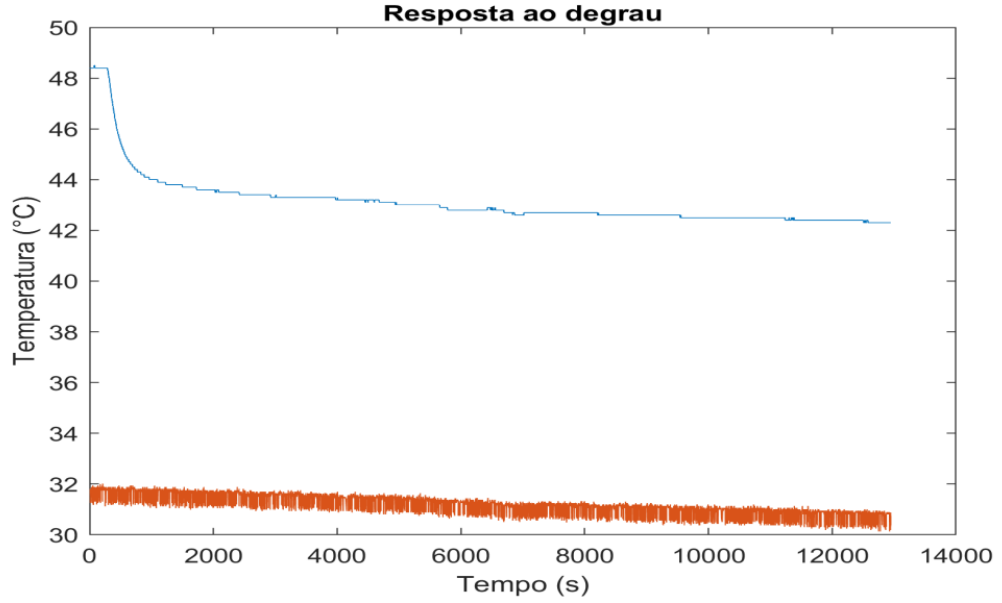
Figura 22: Teste 8 para 30Vac.



Fonte: Autoria Própria (2023).

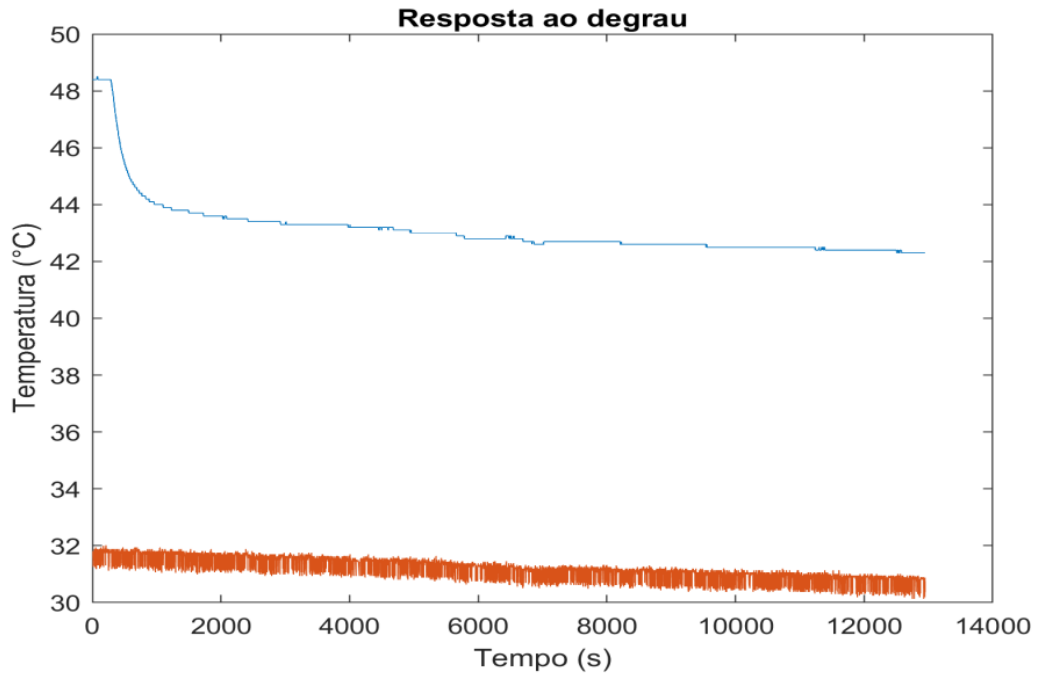
r.

Figura 23: Teste 9 para 30Vac.



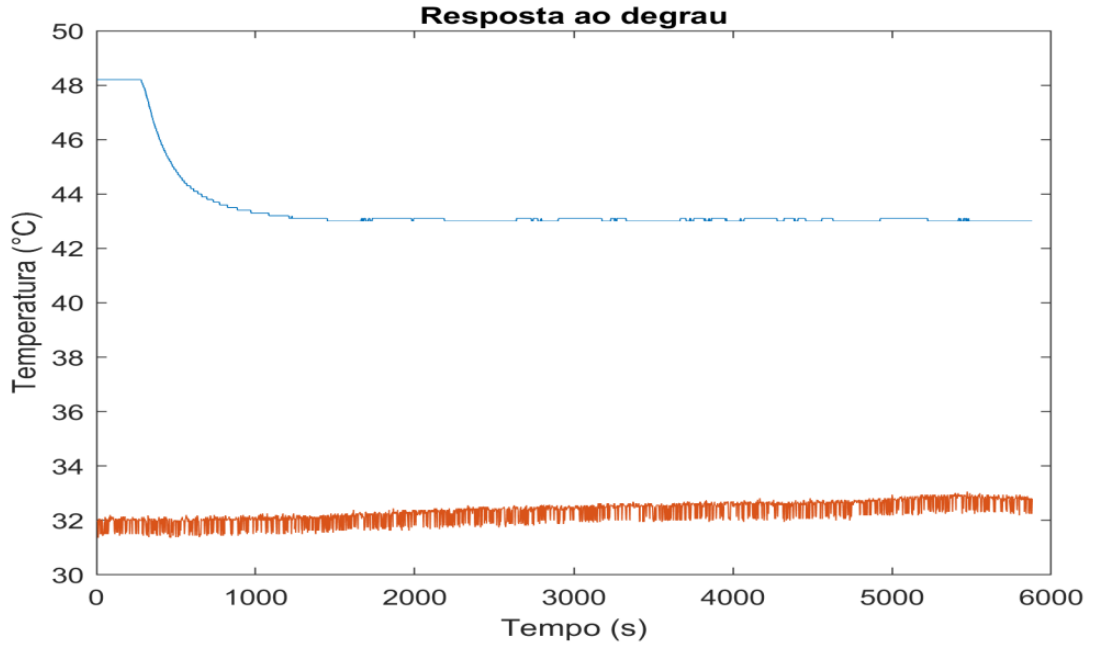
Fonte: Aatoria Própria (2023).

Figura 24: Teste 10 para 30Vac.



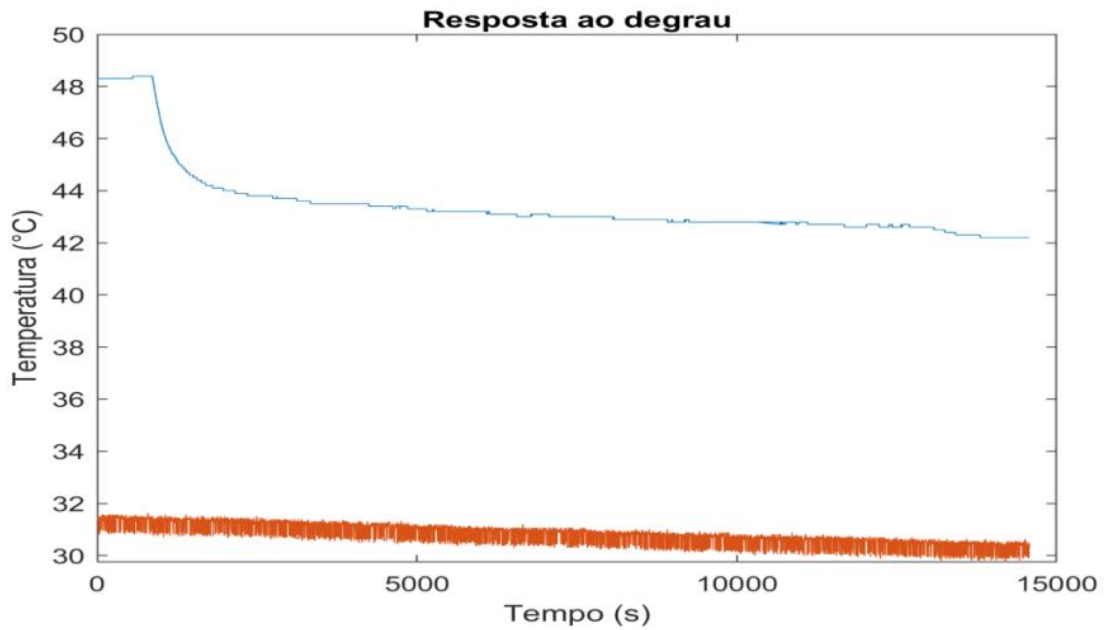
Fonte: Aatoria Própria (2023).

Figura 25: Teste 11 para 30Vac.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 26: Teste 12 para 30Vac.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 27: Teste 12 resposta e malha aberta.

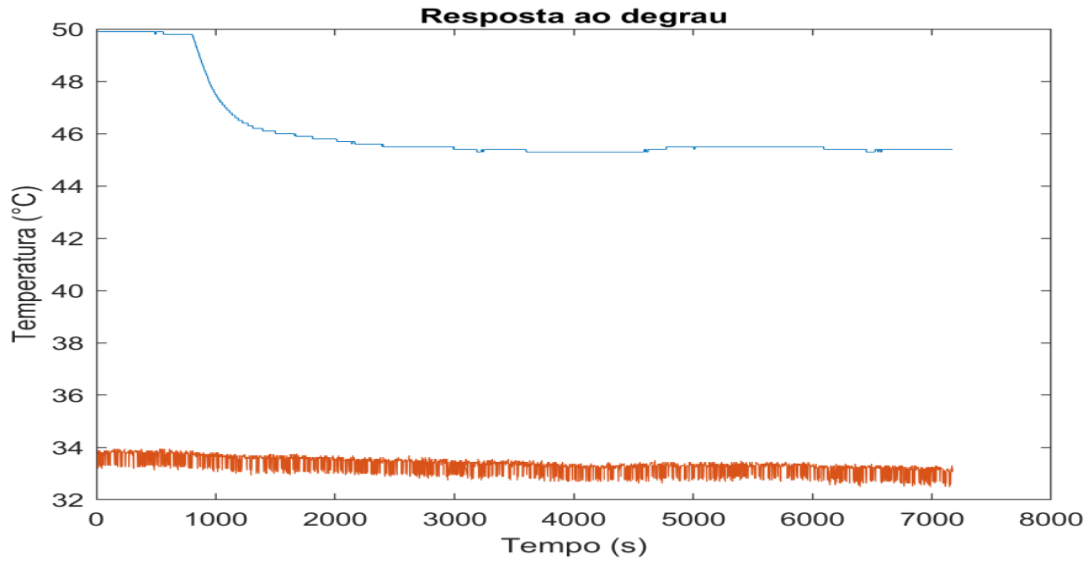
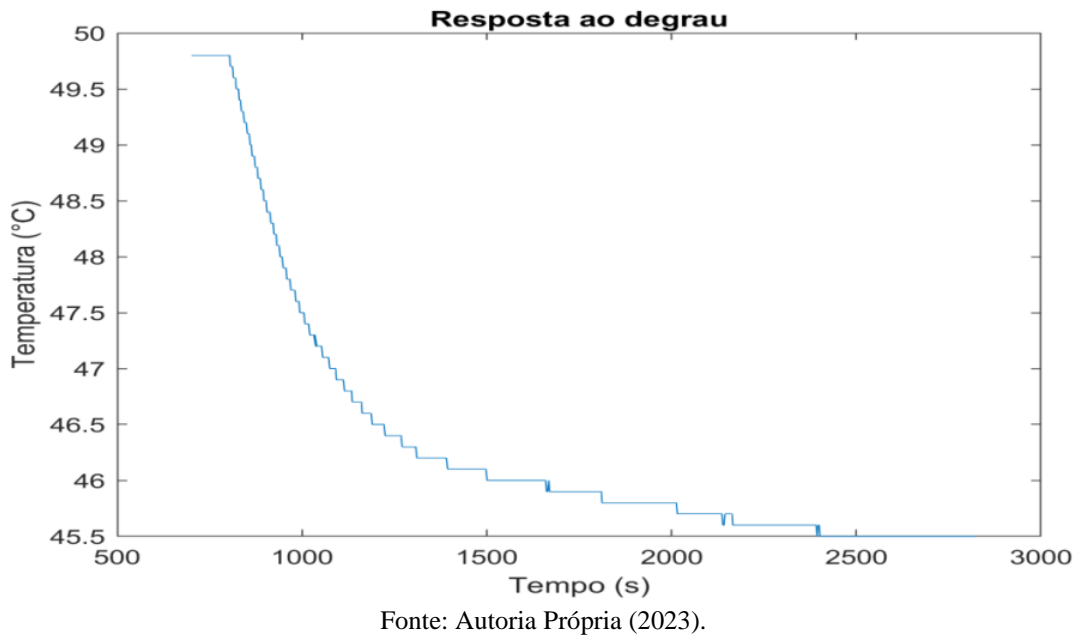


Figura 28: Temperatura interna no teste 12.



A partir deste gráfico foi traçada a reta tangente ao ponto de inflexão para determinação dos parâmetros do controlador PID e destacou-se o seguinte: A temperatura inicial $y_i=49.8^\circ\text{C}$ e a temperatura final $y_f=45.5^\circ\text{C}$, com isso podemos encontrar a temperatura quando o sistema atinge 63% do valor final, a temperatura encontrada foi de 47.0824 , o tempo onde a temperatura marca este valor é de $t_2=1052$, t_0 é o tempo onde a ventoinha foi acionada, t_1 é o tempo onde o sistema começa a responder e baixar a temperatura.

Os cálculos foram realizados no matlab pelo script a seguir:

```

yi=49.8;
yf=45.5;
dy=yf-yi;
y63=yi-(0.632*dy*(-1));
ui=0;
uf=255;
du=uf-ui;
t0=779;
t1=806;
t2=1056;
teta=t2-t1;
Td=t1-t0;
K=dy/du;
Kp=(1.35/K)*((teta/Td)+0.185)
Ti=2.5*Td*((teta+0.185*Td)/(teta+0.611*Td));
Ki=Kp/Ti
Td=0.37*Td*(teta/(teta+0.185*Td));
Kd=Kp/Td

```

Os valores obtidos para esta sintonização foram de $k_p=-756.0898$, $k_i=-11.7066$ e $k_d=-77.1968$. Após a sintonização esses valores foram aplicados como parametros da biblioteca PID_v1.h na IDE do arduino, como pode ser visto no na parta do código a seguir:

```

//-----Variaveis de controle PID
#define chave D2
double Setpoint, Input, Output; double Kp=756.0898, Kd=7405.4, Ki=11.7066,estado;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,Kp,Ki,Kd, REVERSE);
//-----

```

Para encontrar os parâmetros par o controlador PI utilizou-se o mesmo gráfico então os parâmetros iniciais e finais são os mesmos, com algumas mudanças no algoritmo, como pode ser visto a seguir:

```

yi=49.8;
yf=45.5;
dy=yf-yi;
y63=yi-(0.632*dy*(-1));
ui=0;

```

```

uf=255;
du=uf-ui;
t0=779;
t1=806;
t2=1056;
teta=t2-t1;
Td=t1-t0;
K=dy/du;
Kp=(0.9/K)*((teta/Td)+0.092)
Ti=3.33*Td*((teta+0.092*Td)/(teta+2.22*Td));
Ki=Kp/Ti

```

Os valores obtidos para esta sintonização foram de $k_p = -499.0963$, $k_i = -6.8143$, e aplicados no código como visto anteriormente.

Foi feito também a sintonização do controlador proporcional, como visto a seguir:

```

yi=49.8;
yf=45.5;
dy=yf-yi;
y63=yi-(0.632*dy*(-1));
ui=0;
uf=255;
du=uf-ui;
t0=779;
t1=806;
t2=1056;
teta=t2-t1;
Td=t1-t0;
K=dy/du;
kp=(1.03/K)*((teta/Td)+0.34)

```

Os valores obtidos para esta sintonização foi de $k_p = -586.3361$, este valor foi aplicado ao código de controle.

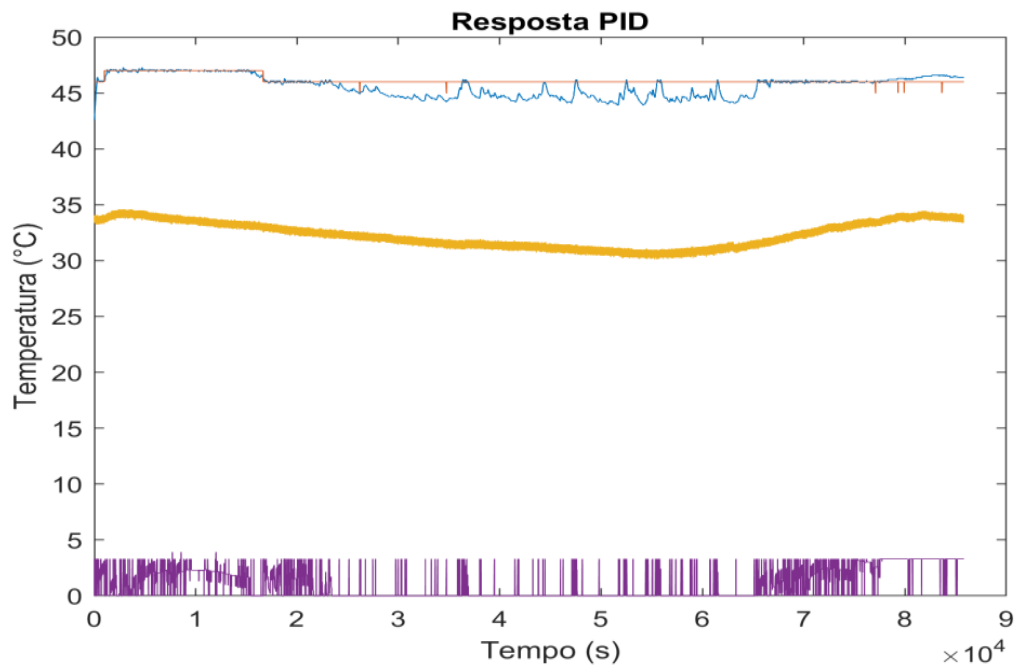
5 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta uma análise profunda dos resultados obtidos por simulações e experimentos. Buscando oferecer respostas, explora as descobertas-chave e sua importância em relação ao tema proposto. Ao interpretar os dados criteriosamente, visa contribuir significativamente para o campo de pesquisa, abrindo novas perspectivas e possíveis aplicações práticas.

5.1 TESTE PID

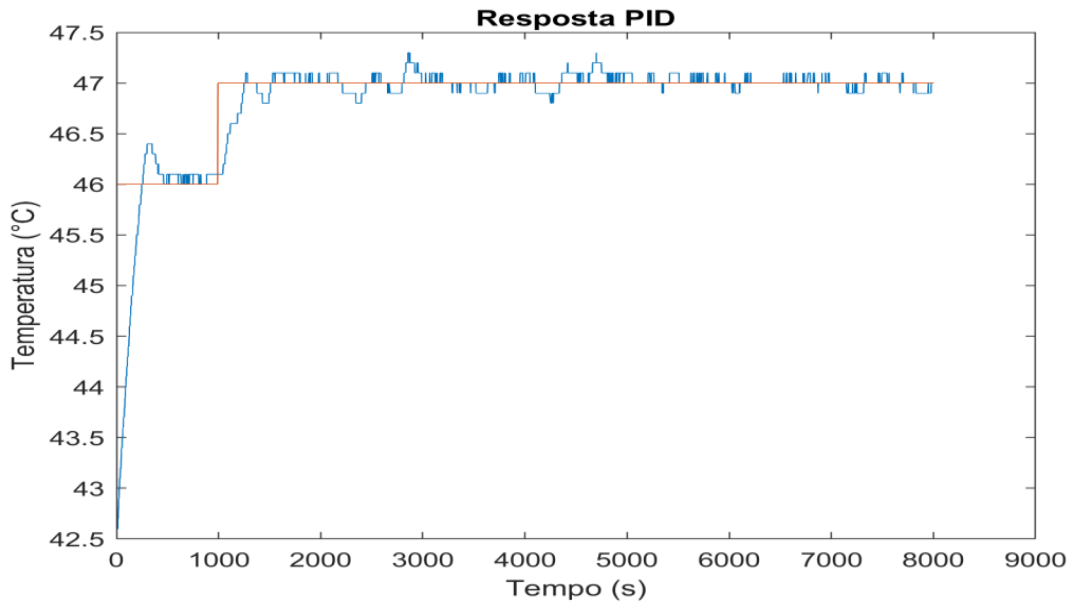
Após carregar o código na placa foi deixado a sistema rodando por 24h, o teste iniciou às 14h, mudando o valor de setpoint em alguns momentos, o resultado pode ser visto a seguir:

Figura 29: 1ª Resposta teste PID.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 30: Temperatura interna na 1ª Resposta teste PID.

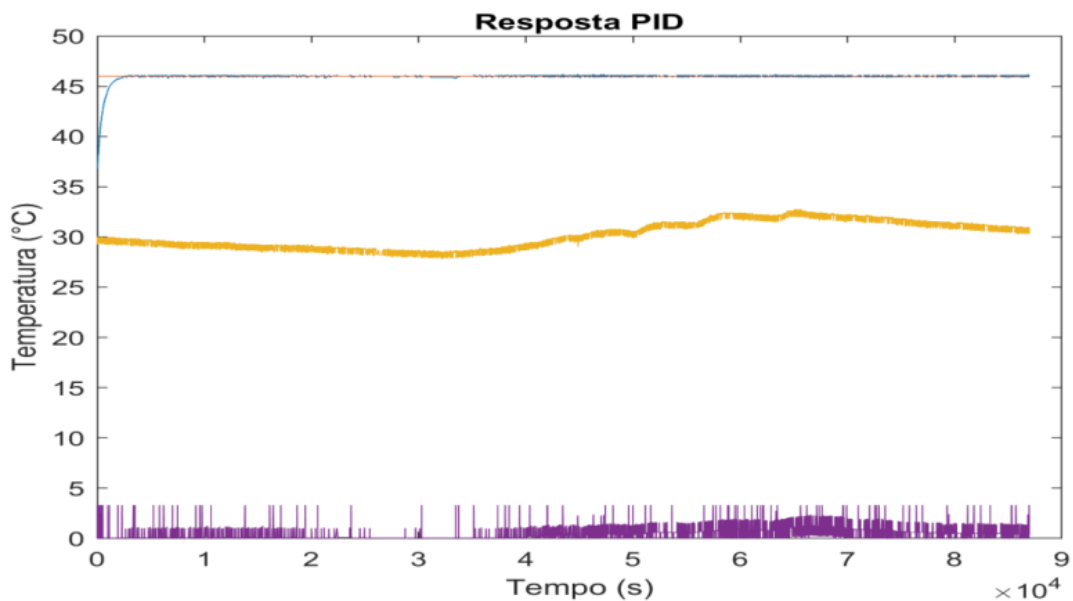


Fonte: Autoria Própria (2023).

O controlador apresentou mal funcionamento determinada hora do teste fazendo com que o sinal de saída fosse do máximo ao mínimo mesmo o valor de input estando abaixo do valor de setpoint, quando ele foi configurado como REVERSE, pois é um sistema de resfriamento e não deve acionar quando o valor de temperatura estiver abaixo do selecionado. Posteriormente observou-se ser um possível problema de solda no circuito.

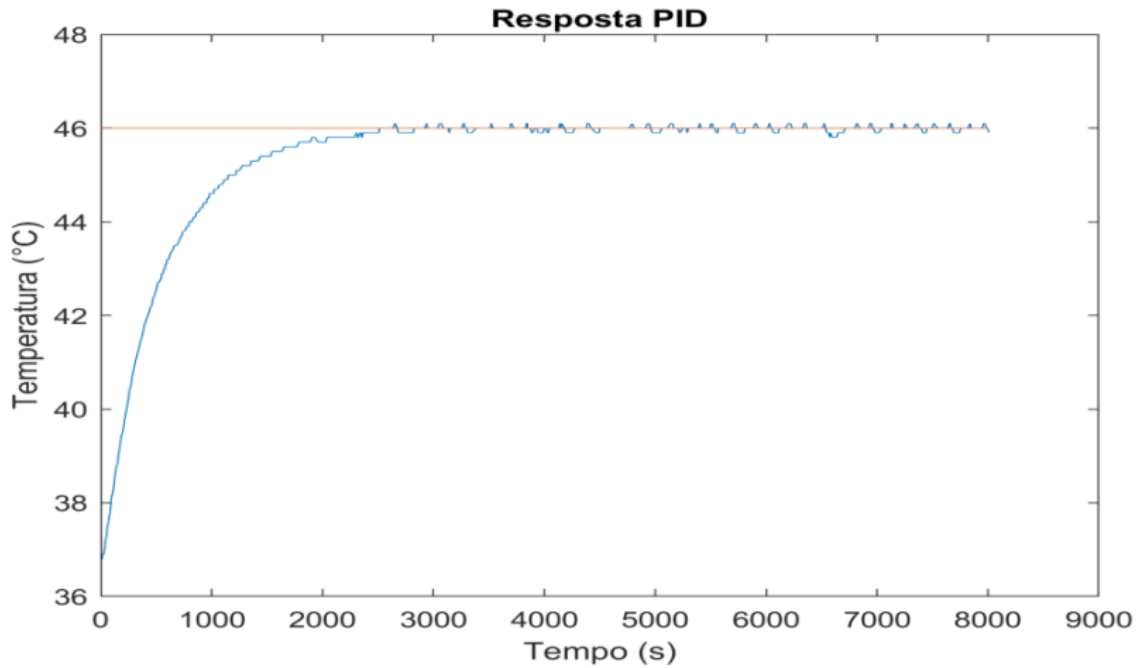
Outro teste PID foi realizado, iniciando às 22h, o resultado pode ser visto a seguir:

Figura 31: 2ª Resposta teste PID.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 32: Temperatura interna na 2ª Resposta teste PID.

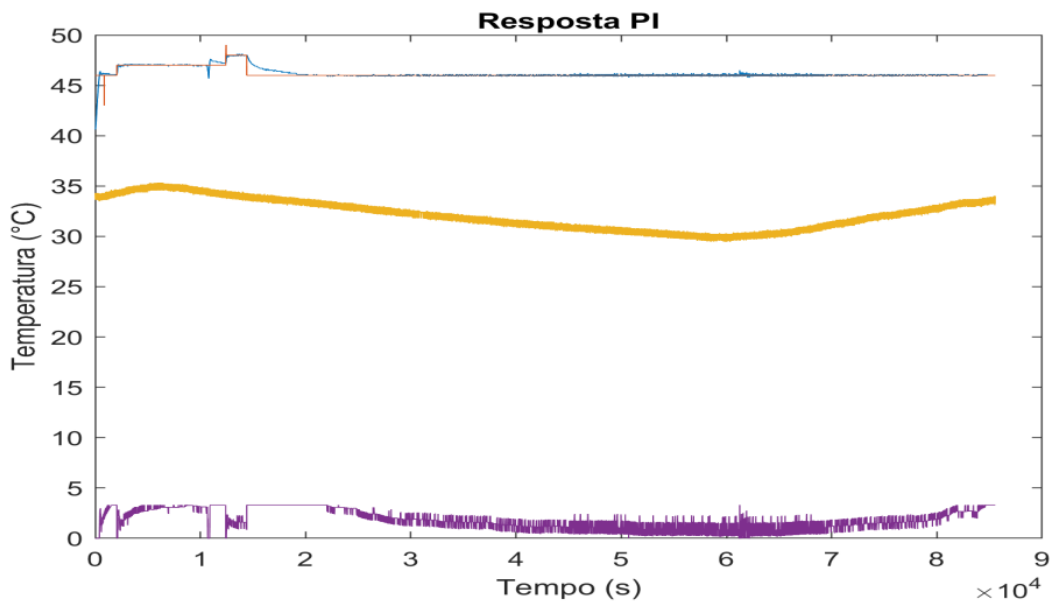


Fonte: Autoria Própria (2023).

5.2 TESTE PI

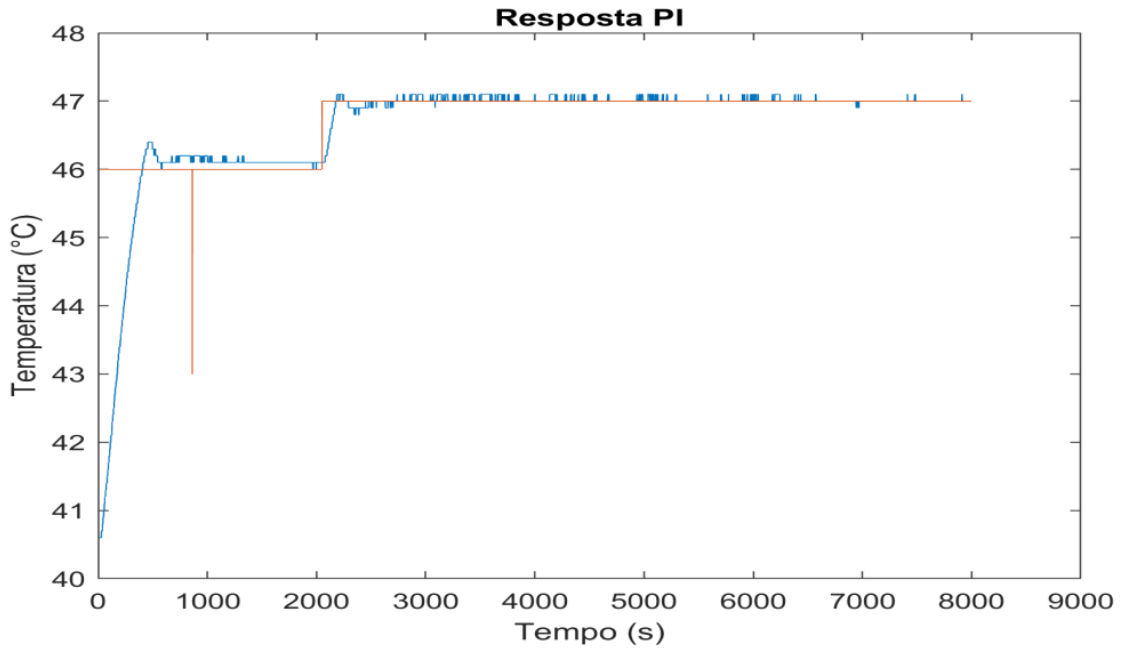
O sistema então foi ligado por 24h, iniciando os teste às 14h. O valor do setpoint foi mudado algumas vezes para observar o comportamento do sistema para outros valores de setpoint, como pode ser visto a seguir:

Figura 33: 1ª Resposta teste PI.



Fonte: Autoria Própria (2023).

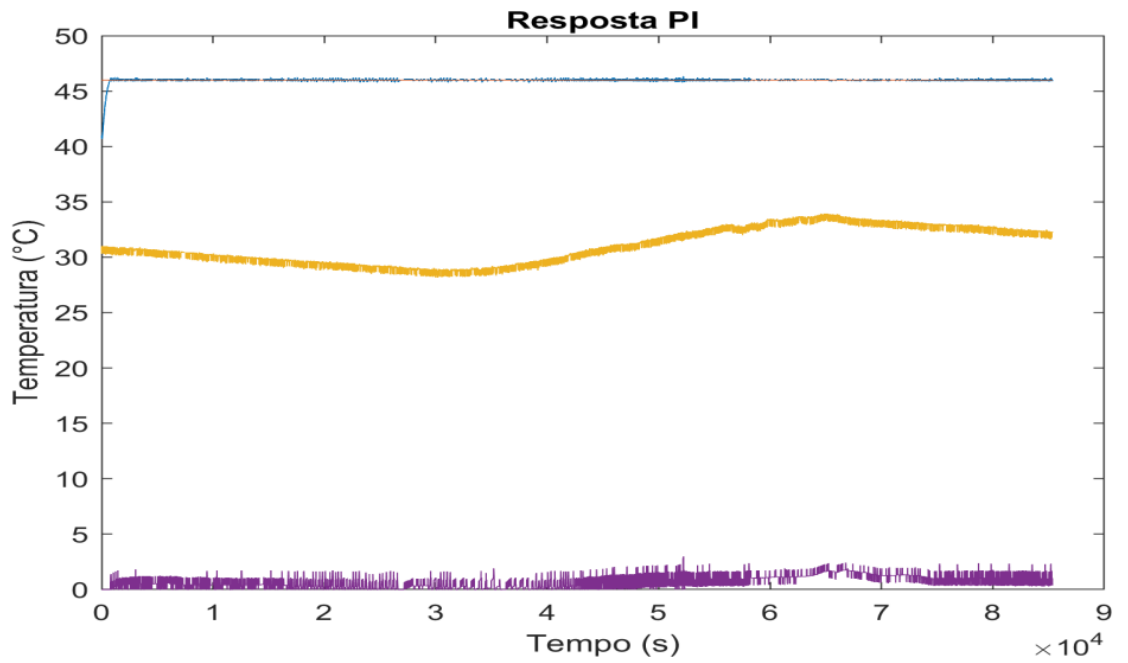
Figura 34: Temperatura interna na 1ª Resposta teste PI.



Fonte: Autoria Própria (2023).

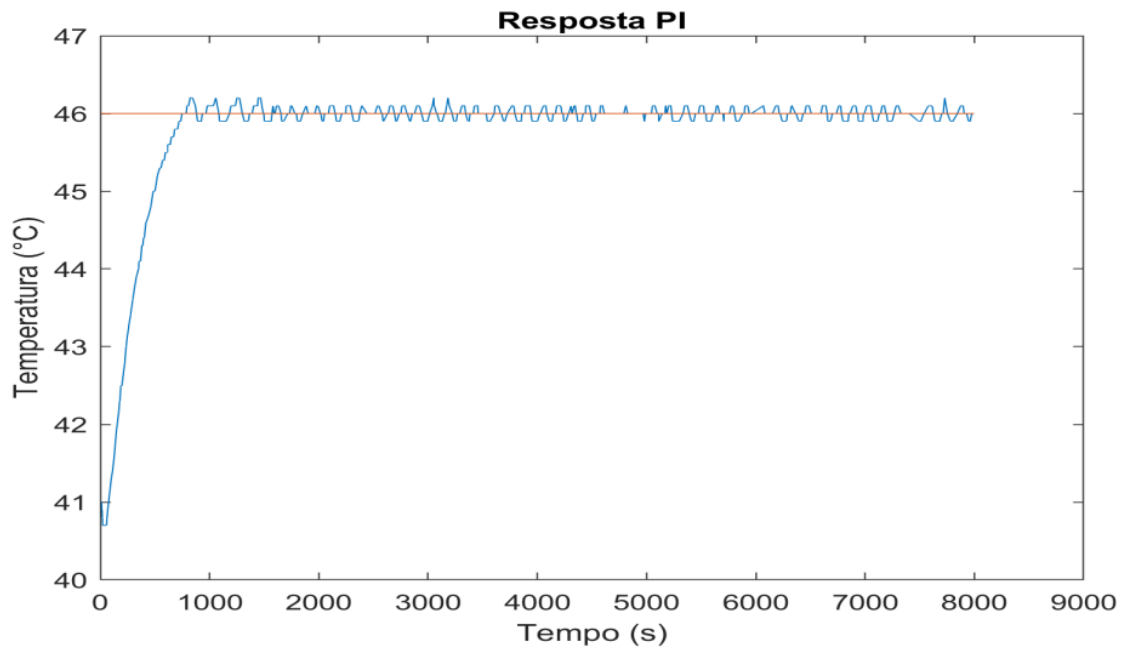
Outro teste foi feito, iniciando às 22h, o resultado pode ser visto a seguir:

Figura 35: 2ª Resposta teste PI.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 36: Temperatura interna na 2ª Resposta teste PI.



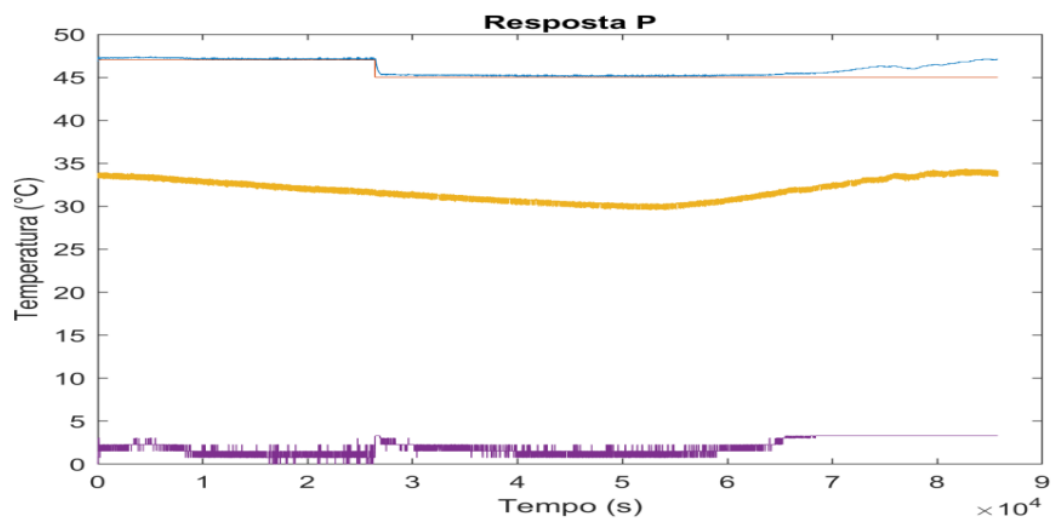
Fonte: Autoria Própria (2023).

5.3 TESTE P

O sistema então foi ligado por 24h, iniciando os testes às 16h.

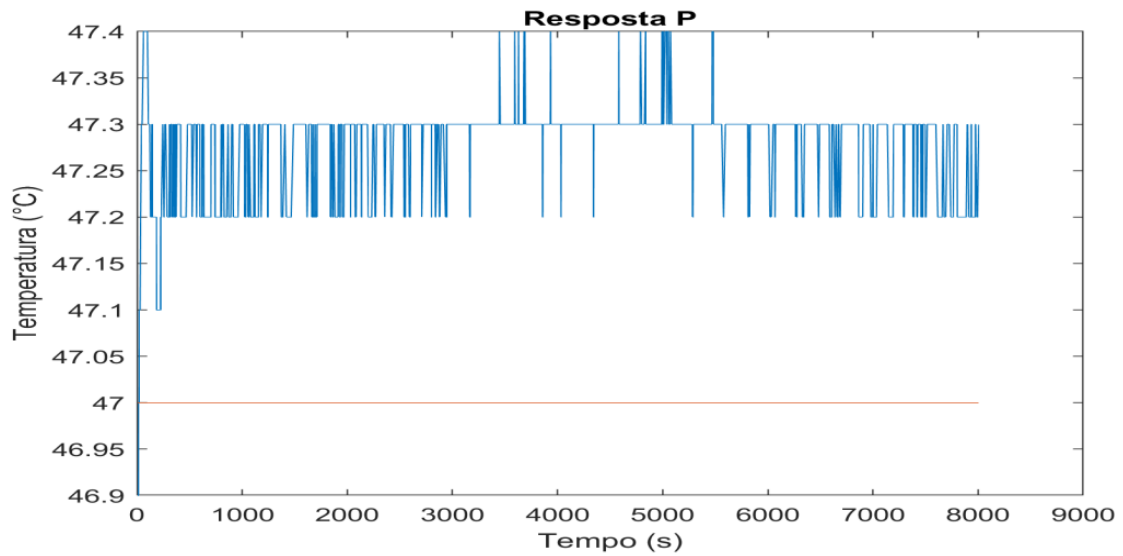
O valor do setpoint foi mudado algumas vezes para observar o comportamento do sistema para outros valores de setpoint, como pode ser visto a seguir:

Figura 37: 1ª Resposta teste P.



Fonte: Autoria Própria (2023).

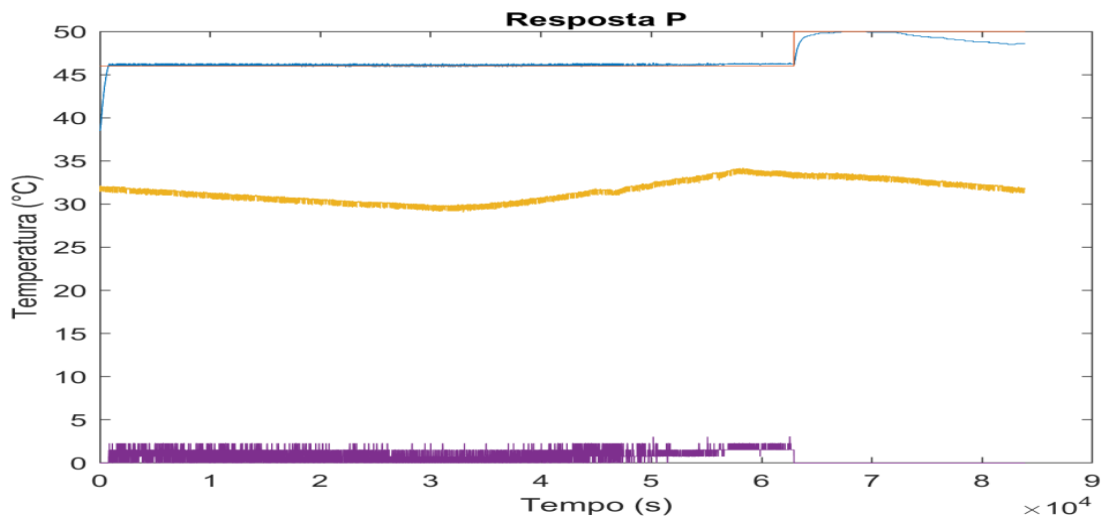
Figura 38: Temperatura interna na 1ª Resposta teste P.



Fonte: Autoria Própria (2023).

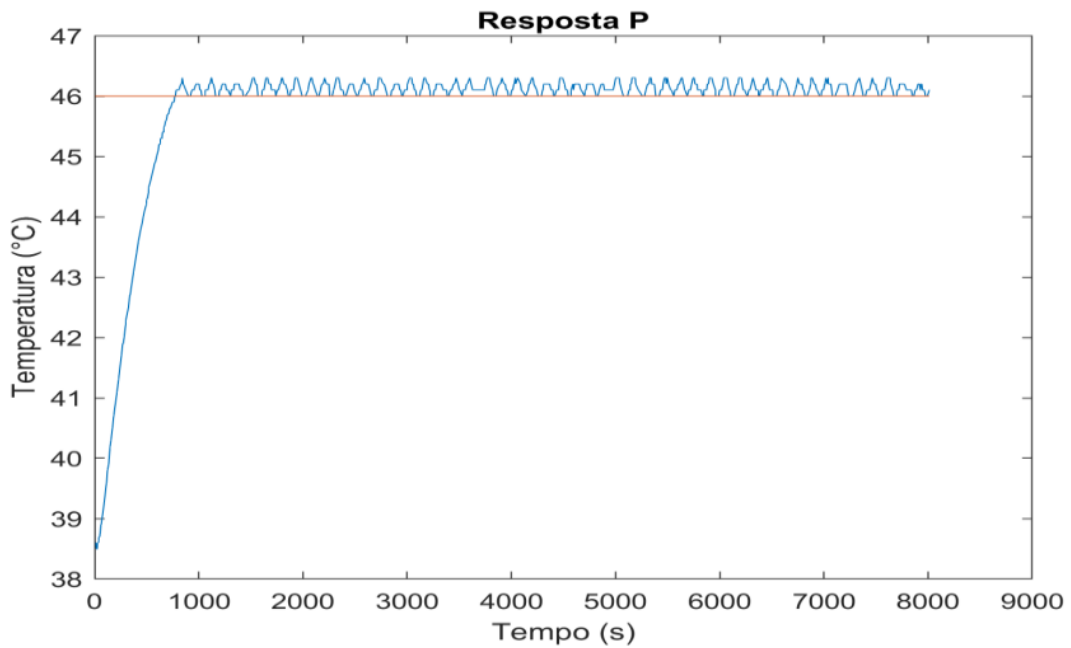
Outro teste com controlador proporcional foi feito, iniciando às 22h, o resultado pode ser visto a seguir:

Figura 39: 2ª Resposta teste P.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 40: Temperatura interna na 3ª Resposta teste P.

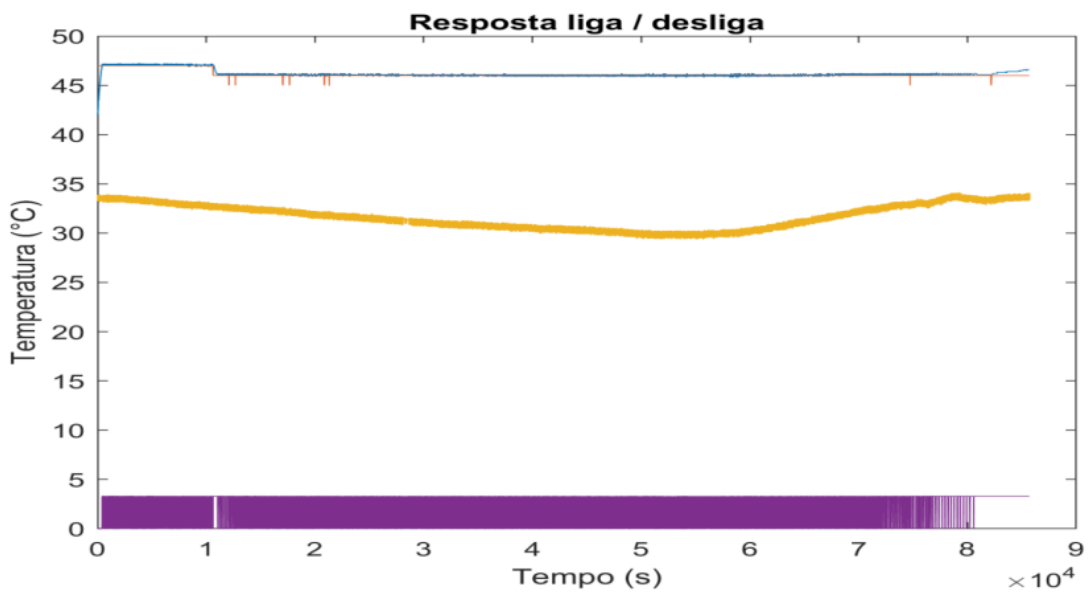


Fonte: Autoria Própria (2023).

5.4 TESTE *ON/OFF*

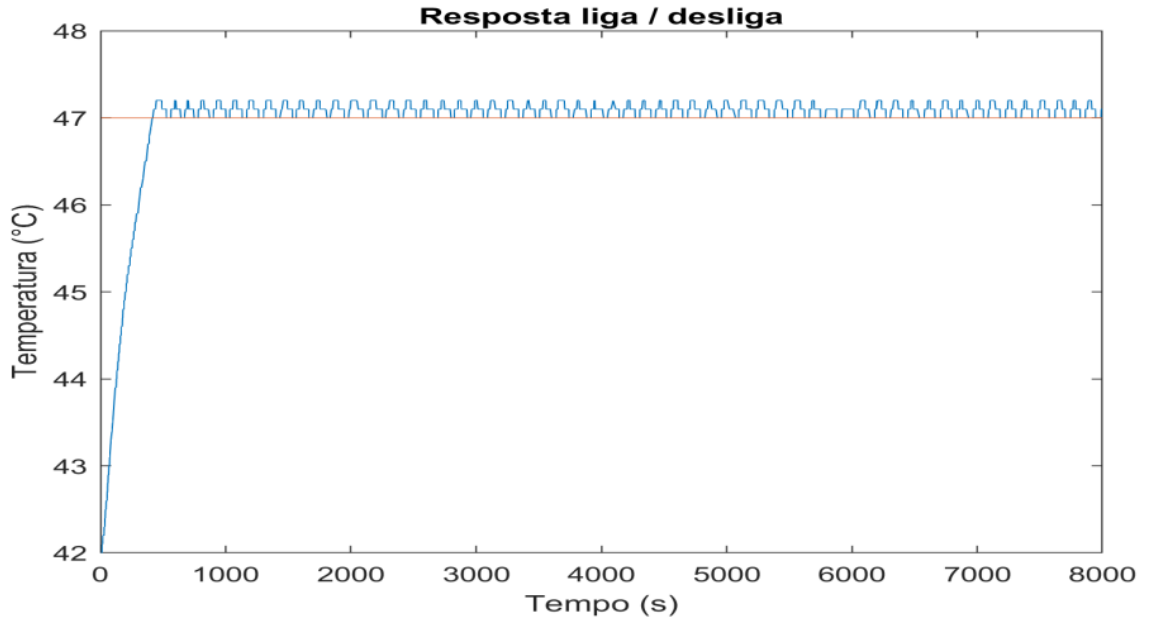
Outro teste foi realizado com o método *On/Off*, acionando a ventoinha na saída máxima do controlador quando a temperatura interna da caixa for superior ao setpoint determinado. O teste foi realizado deixando o sistema por 24, iniciando às 16h, o resultado pode ser visto a seguir:

Figura 41: 1ª Resposta teste liga/desliga.



Fonte: Autoria Própria (2023).

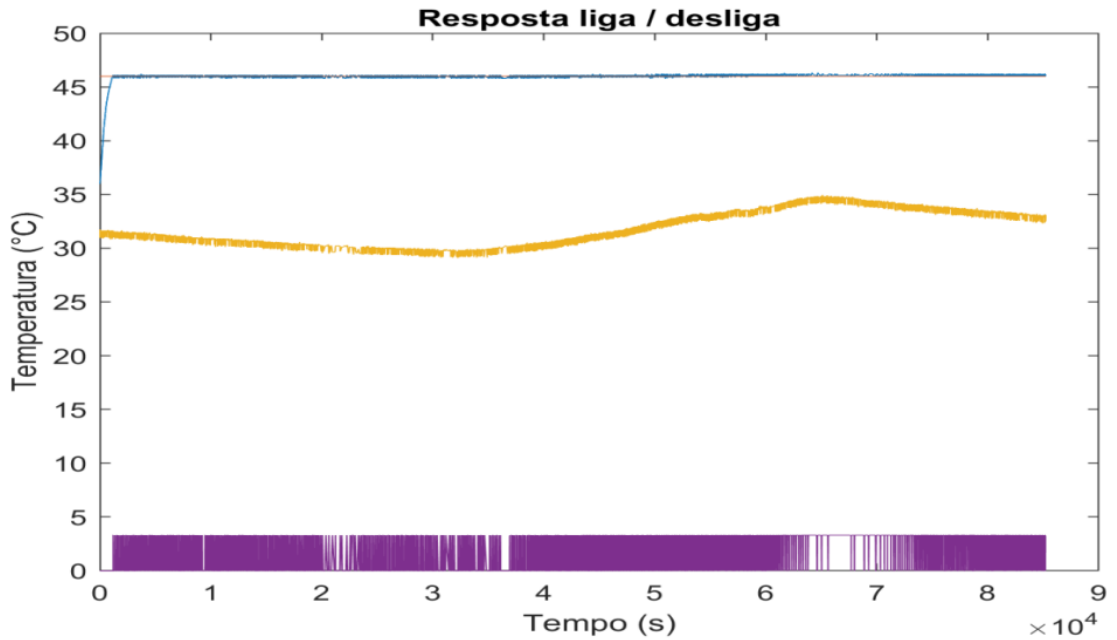
Figura 42: Temperatura interna na 1ª resposta liga/desliga.



Fonte: Autoria Própria (2023).

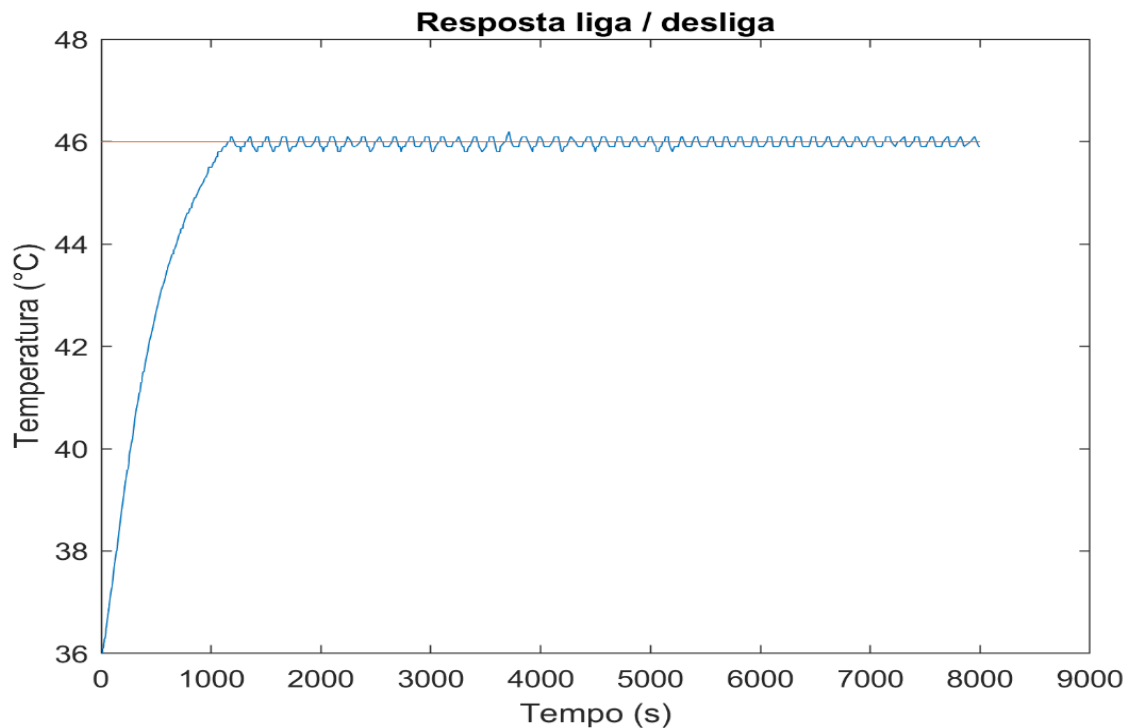
Outro teste liga e desliga foi realizado, iniciando às 22h, o resultado pode ser visto a seguir conforme destacado no gráfico:

Figura 43: 2ª Resposta teste liga/desliga.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 44: Temperatura interna na 2ª resposta liga/desliga.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Após uma extensa pesquisa literária e dos testes no laboratório da Faculdade, constatamos que os objetivos do trabalho foram alcançados, e, o projeto foi efetivado, com uma solução considerada simples e de baixo custo, com controle PID, e gerenciamento do sistema. O protótipo todo foi desenvolvido com recursos próprios, e apresentou resultados satisfatórios, mantendo seu funcionamento mesmo após longos períodos de teste. O protótipo final proporcionou que avaliássimos na prática os diferentes tipos de controle. Foram alcançados resultados satisfatórios para todas as funções de gerenciamento que haviam sido previstas e que possíveis de serem desenvolvidas neste período.

Durante os inúmeros testes em laboratório, como resultados foram obtidos valores de temperatura controlados dentro do esperado, onde o erro foi em média de até 10% (dentro do que era esperado), e por fim se obteve uma boa estabilização da temperatura desejada, com uma rampa de subida rápida, mesmo com o projeto sofrendo interferências com as temperaturas do meio ambiente, por não se encontrar em um ambiente isolado termicamente.

Foi desenvolvido o controle de um sistema que foi necessário passar por uma série de testes e levantamentos de dados para se conseguir chegar até a função. Pôde-se ver a importância das disciplinas de controle de processos e de programação de microcontroladores. Foram grandes desafios, pois era extremamente necessário para o projeto do protótipo

visualizar em forma de gráficos e tabelas as informações fornecidas em todo o processo.

Com relação aos testes realizados, nos momentos em que o controlador estabilizou a temperatura no valor desejado, observou-se que quanto menor a temperatura ambiente menor também foi a tensão de saída para estabilização e quanto maior a temperatura ambiente maior a tensão de estabilização.

Com trabalhos como este, que levam o acadêmico a se desafiar, a pesquisa minuciosa e diligente, é possível fazer com que se tenha uma boa experiência prática, com a integração de todas essas partes da metodologia empregada. Com todos os testes realizados, a aquisição de conhecimento foi possibilitada pela experiência enquanto aluno, de resolver um problema real utilizando as habilidades adquiridas na formação acadêmica, é uma das ações que fazem com que o aluno pesquisador se sinta competente e feliz com a sua escolha para profissão, mesmo que reconheça que o caminho do êxito profissional, é longo, árduo, desafiador, mas gratificante, por ter a consciência de que os anos que se passou no banco da faculdade não foram em vão, que de alguma forma se contribuirá para a sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho, foi realizado um estudo detalhado sobre o desenvolvimento e implementação de um sistema de controle de temperatura em um ambiente simulado em escala reduzida. Os resultados obtidos demonstram a aplicação bem-sucedida de conhecimentos de controle em um contexto prático.

Algumas considerações e destaques podem ser tirados a partir deste projeto:

Sistema de Controle Eficiente: O sistema de controle desenvolvido demonstrou sua eficácia na estabilização da temperatura interna da caixa de MDF. A combinação de um controlador PID sintonizado pelo método Cohen-Coon, sensores de temperatura e um atuador de ventoinha proporcionou um controle preciso e ágil da temperatura desejada.

Adaptação Versátil: A adaptação desse sistema a um ambiente simulado em escala reduzida é uma prova de sua versatilidade. Isso sugere que a tecnologia desenvolvida pode ser escalonada para aplicações em ambientes reais, como sistemas de climatização ou controle de temperatura em processos industriais.

Importância da Sintonia: A aplicação da técnica de sintonia de controladores pelo método Cohen-Coon foi fundamental para obter um desempenho otimizado do sistema. Esse método demonstrou sua utilidade na obtenção rápida de parâmetros de controle adequados.

Desafios e Complexidades: Durante o desenvolvimento, enfrentamos desafios

relacionados à integração de componentes, calibração dos sensores e programação do controlador. Esses desafios são comuns em projetos de automação e controle e destacam a importância da resolução de problemas na engenharia.

TRABALHOS FUTUROS

Apesar do sucesso alcançado neste projeto, há várias áreas para exploração e melhorias futuras:

Aprimoramento do Controle: É possível explorar técnicas de controle mais avançadas, como controle adaptativo ou controle preditivo, para melhorar ainda mais o desempenho do sistema em face de perturbações complexas.

Integração de Sensores Avançados: A inclusão de sensores avançados, como umidade ou pressão atmosférica, pode enriquecer a capacidade de controle do ambiente simulado.

Integração com Sistemas de Automação Residencial: Este projeto pode ser estendido para integração com sistemas de automação residencial, permitindo que os usuários controlem a temperatura de um ambiente real remotamente.

Estudo de Eficiência Energética: Investigar a eficiência energética do sistema é fundamental, especialmente quando se considera a operação contínua em aplicações reais.

Aplicações em Setores Específicos: Explorar aplicações específicas em setores como agricultura, medicina ou processos industriais, onde o controle de temperatura é crítico.

O presente trabalho representa um passo importante na aplicação de conceitos de controle em ambientes simulados e oferece oportunidades significativas para aprimoramentos e expansões futuras. À medida que novas tecnologias e abordagens emergem na área de controle, este projeto pode servir como base para avanços adicionais na automação e no gerenciamento de temperatura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Cartilha de orientação sobre manutenção de sistemas de climatização**. São Paulo - SP, 2018. 04 p. Disponível em: <<https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2018/11/RENABRAVA-07-versao-juridica-03-de-julho.pdf>>. Acesso em: 15/09/2023.

ALVES, Diego; CARRERA, Rafael. **Procedimento básico de elaboração e implantação de projetos de sistemas de ar condicionado baseado na abnt nbr 16401**. 2013. Disponível em: <http://www.engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/012-2_diego_alves_e_rafael_reuter.pdf>. Acesso em: 15/09/2023.

ABNT NBR 16401. **Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Brasília, 2008.

ABNT NBR 6401. **Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros básicos de Projeto**. Brasília, 2008.

ARAUJO, Eliete de Pinho. **Apostila de ar condicionado e exaustão**. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/7455/1/Apostila%20ar%20condicionado%2010.01.pdf>>. Acesso em: 15/09/2023.

ASTROM, K. J; HAGGLUND, T. **Advanced PID Control**. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society. 2006.

BAROUDI, C. **Google Sheets 101: The Beginner's Guide to Online Spreadsheets**. Createspace Independent Publishing Platform. 2019.

BENTO, Celso Roberto. **Sistemas de Controle – Teoria e Projetos**. São Paulo: Érica, 2009.

BEGA, Egídio A. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E.; VAN WYLEN, Gordon J. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo, SP: E. Blücher, 2009.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E.; **Fundamentos da Termodinâmica**. Blucher, 2009.

CÂNDIDO, C. **Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability**. Building Research & Information, v. 39, n. 2, p. 145–153, 2011.

CORREIA, T. B. **A Construção do habitat moderno no Brasil**. São Carlos: RiMa. 2014.

CAMPOS, M.C.M.M.; TEIXEIRA, H.C.G., **Controles Típicos de Equipamento e Processos Industriais**. Editora Edgard Blucher, 1ª Edição, 2006.

CARRIER, Willis. **O inventor do ar condicionado moderno**. Disponível em: <<http://www.williscarrier.com/>>. Acesso em: 15/09/2023.

CARVALHO, C. H. F. **Projeto de um sistema de aquecimento solar para pousadas**. Disponível em: http://www.solenerg.com.br/files/monografia_carloshenrique.pdf. 15/09/2023.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. McGraw-Hill, 2006.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012_3_Mariana.pdf>. Acesso em: 15/09/2023.

DE MEDEIROS, A. A. D. **Modelagem e Análise de Sistemas**. 2013.

DORF, R. C; BISHOP, R. H. **Modern Control Systems**. Pearson. 2011.

FRANKLIN, G. F., POWELL, J. D; Emami-Naeini, A. **Feedback Control of Dynamic Systems**. Pearson. 2019.

GUTERRES, Francisco José Costa. **Plano de manutenção, operação e controle em ar condicionados do centro de ciências tecnológicas do campus Paulo VI**. São Luís: CCT/UEMA, 2019.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HUMBERT, Marcelo Ruzzarin. **Análise de práticas de eficiência energética no setor hoteleiro: um estudo de caso na pousada caminho do rei – Imbituba/Sc**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

FROTA A.B. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel. 2021.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

LEVENSPIEL, O.; **Termodinâmica amistosa para engenheiros**. São Paulo: Blücher, 2002.

LIMA, Fábio Soares. **A Automação e sua evolução**. Natal: UFRN, 2003.

LOPEZ, R. A. **Sistemas de Redes para Controle e Automação**. Book Express. 2000.

MACHADO, H. A. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2009.

MAITELLI, A. L. **Controladores Lógicos Programáveis**. Apostila. 2011.

MARTINS, Juliana CÓ. **Metodologia para análise e escolha de sistemas de condicionamento de ar**. Disponível em: <http://www.engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/014-1_danilo_e_juliana-1.pdf>. Acesso em: 15/09/2023.

MURRIL, P.W. **Fundamentals of Process Control Theory Instrument**. América, 2011.

NATALE, F. **Automação Industrial**. Editora Érica, 2003.

- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. São Paulo: Editora: LTC, 2011.
- OLIVEIRA, A. L. LIMA, **Instrumentação – Fundamentos de Controle de Processo**. Espírito Santo: SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. 2009.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro:Qualitymark, 2008.
- PIRANI, M. J. **Refrigeração e Ar Condicionado: Parte I Refrigeração**. São Paulo: Ed. Premeira Impressão, 2011.
- RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Petrobras. 2000.
- ROBERTSON, B; ROBERTS, M; YAU, T. **Google Sheets Programming with Google Apps Script**. O'Reilly Media. 2016.
- SALVADOR, Francisco. **Projeto de um Sistema de Refrigeração Industrial com “Set-Point” Variável**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.
- SCERVINI, Michele. **Thermoelectric materials for thermocouples**. 2009. Disponível em: <<https://www.msm.cam.ac.uk/utc/thermocouple/pages/ThermocouplesOperatingPrinciples.html>>. Acesso em: 18/08/2023.
- SILVA, Luana Nunes Da. **Controle PID de temperatura com integração de dados em rede**. Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2018.
- SILVA, Flávio Thimotio da Silva. **Simulated annealing aplicado ao problema de sintonia de parâmetros de controladores PID**. Ouro Preto: UFOP, 2005.
- SILVA, J. C.; **Refrigeração comercial e climatização industrial**. Hermus, 2014.
- SOARES, Sérgio. **Treinamento linha residencial: pós vendas**. Apostila de Programa de Capacitação Profissional Midea Carrier, 2014.
- SOUZA, G. J.; ROCHA, S. P. **Desenho técnico para refrigeração e climatização**. Ed. São José, 2014.
- STOECKER, W. F.; JONES, J.W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 2015.
- TANNURI, Eduardo. **Apostila sobre PID e Métodos de Sintonia**. São Paulo: USP, 2023.
- SOARES, Sérgio. **Treinamento linha residencial: pós vendas**. Apostila de Programa de Capacitação Profissional Midea Carrier, 2014.
- STOECKER, Wilbert.; JABARDO, José. **Refrigeração industrial**. São Paulo: Blücher, 2012.
- TANNURI, Eduardo. **Apostila sobre PID e Métodos de Sintonia**. São Paulo: USP, 2018.
- TOIGO, Éverton. **Desenvolvimento do projeto de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor**. Caxias do Sul/RS: Universidade de Caxias do Sul, 2013.

AZEVEDO, Rogério; ENSSLIN, Leonardo. **Metodologia Da Pesquisa Para Engenharias**. 1ª Edição. Belo Horizonte/MG: CEFET-MG, 2020

APÊNDICE A - CÓDIGO DO CONTROLADOR

```
//-----Inclusão das bibliotecas
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include "HTTPSRedirect.h"
#include "DHT.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <PID_v1.h>
//-----

//-----Variaveis de controle PID
#define chave D2
double Setpoint, Input, Output;
double Kp=586.3361, Kd=0, Ki=0,estado;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,Kp,Ki,Kd, REVERSE);
//-----

//-----sensor de temperatura ds18b20
#define oneWireBus D3
float TAmbiente;
OneWire oneWire(oneWireBus);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
//-----

//-----Configurações WIFI
const char* ssid = "Familia Lima 2.4"; // Nome da rede
const char* password = "f250812129194m"; // Senha
WiFiClientSecure client;
//-----

//-----Configurações de timer
long long Tempo=0;
unsigned long intervalo = 1; // Intervalo de 1 segundo (1000 milissegundos)
unsigned long ultimaExecucao = 0; // Variável para armazenar o tempo da última execução

//-----

//-----Ventilador
#define ventilador D8
float Tensao;
float PWM=0;
//-----

//-----Sensor DHT
#define DHTPin D7 //pino
#define DHTTYPE DHT11 // tipo do sensor
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE); // Inicializando sensor DHT
float Temperature; //guarda o valor da temperatura
```

```

float Humidity; //guarda o valor da umidade
//-----

//-----Host & httpsPort
const char* host = "script.google.com";
const int httpsPort = 443;
//-----

//----- Google spreadsheet script ID
String GAS_ID
"AKfycbxtgwcv810J1H2MYg_vBM5e9ww2Yd_TNpwWIXTSZWCzkNlOcKjg-
1xq3WvKFWnoUwk"; //código de implantação
//-----

void setup() {

//----- Inicializa a serial
Serial.begin(115200);
//-----

//----- Definições da chave PWM/PID
pinMode(chave,INPUT_PULLUP);
//-----

//----- Definições do ventilador
pinMode(ventilador,OUTPUT);
digitalWrite(ventilador,LOW);
//-----

//----- Inicializa o sensor dht11
pinMode(DHTPin, INPUT);
dht.begin();
//-----
//----- Inicializa o sensor ds18b20
sensors.begin();
//-----
//----- Inicializa as variáveis do PID
Setpoint=map(analogRead(A0),0,1023,43,50);
myPID.SetMode(AUTOMATIC);//Ligando o PID e deixando-o em modo Automático
//-----

//----- Inicializa a conexão wifi
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.println("");
//-----aguardando conexão
Serial.print("Connecting");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  Serial.print(".");
}
Serial.println("");

```

```

Serial.print("Successfully connected to : ");
Serial.println(ssid);
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println();
//-----
client.setInsecure();
}

void loop() {

    //-----Leitura dos dados
    sensors.requestTemperatures(); // faz a leitura do valor da temperatura externa
    TAmbiente = sensors.getTempCByIndex(0);
    Temperature = dht.readTemperature(); // faz a leitura do valor da temperatura no interior da
caixa
    //-----
    //-----Impressão na serial
    Serial.print("Temperatura : ");
    Serial.println(Temperature);

    Serial.print("Temperatura externa : ");
    Serial.println(TAmbiente);
    //----- Configura o setpoint e recebe Input
    //Setpoint=map(analogRead(A0),0,1023,43,50);
    Setpoint=46;
    Serial.print(" Setpoint : ");
    Serial.println( Setpoint);
    Input = Temperature;
    Serial.print("input : ");
    Serial.println( Input);
    //-----
    //----- Inicia os calculos de controle
    myPID.Compute();
    Serial.print("output = ");
    Serial.println(Output);
    //-----Leitura do estado da chave PWM/PID
    estado=digitalRead(chave);
    Serial.print("estado da chave = ");
    Serial.println(estado);
    if (estado == 1){
    //-----Controle PID

        if(Input>Setpoint){
            PWM=255;
        }
    else{
        PWM=0;
    }
    //-----

```

```

}
else{
    PWM=0;

}

//-----
//-----Escreve o valor de tensão na saída
analogWrite(ventilador,PWM);
    Tensao = (PWM*3.3)/255;
    Serial.print("Tensão : ");
Serial.println(Tensao);
    Serial.print("PWM : ");
Serial.println(PWM);
//-----
Tempo=millis()/1000;
if ( Tempo - ultimaExecucao >= intervalo) {
    // Realiza ação ou tarefa aqui
    sendData(Temperature,TAmbiente,Tensao,PWM,Tempo,Setpoint);
    Serial.println("dados enviados para planilha!");

    // Atualiza o valor da variável 'ultimaExecucao' com o tempo atual
    ultimaExecucao = millis()/1000;
}

//-----
}
//-----subrotina que envia os dados para a planilha
void sendData(float tem, float tam, float ten,float pwm, long long Tem,double set) {
    if (!client.connect(host, httpsPort)) {
        Serial.println("connection failed"); //informa se houver falha na conexão da planilha
        return;
    }
//-----Processando e enviando os dados
String string_temperature = String(tem);
String string_tambiente = String(tam);
String string_tensao = String(ten);
String string_pwm = String(pwm);
String string_tempo = String(Tem);
String string_setpoint = String(set);
String url = "/macros/s/" + GAS_ID + "/exec?temperature=" + string_temperature +
"&tambiente=" + string_tambiente + "&tensao=" + string_tensao + "&pwm=" + string_pwm +
"&tempo=" + string_tempo+ "&setpoint=" + string_setpoint;
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "User-Agent: BuildFailureDetectorESP8266\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");
//-----
}

```

APÊNDICE B - SCRIPT DA PLANILHA

```
function doGet(e) {
  Logger.log( JSON.stringify(e) );
  var result = 'Ok';
  if (e.parameter == 'undefined') {
    result = 'No Parameters';
  }
  else {
    var sheet_id = '1wBdTUXGX4YG0iX7w0LbwhfnSuhYk2lGIfvdu8C08PkQ'; // Spreadsheet
    ID
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getActiveSheet();
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];
    var Curr_Date = Utilities.formatDate(new Date(), "CST", "yyyy/MM/dd");
    rowData[0] = Curr_Date; // Date in column A
    var Curr_Time = Utilities.formatDate(new Date(), "CST", "hh:mm:ss a");
    rowData[1] = Curr_Time; // Time in column B
    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param=' + param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
      switch (param) {

        case 'tempo':
          rowData[2] = value;
          result = 'OK';
          break;

        case 'ambiente':
          rowData[3] = value;
          result += ', OK';
          break;

        case 'setpoint':
          rowData[4] = value;
          result = 'OK';
          break;

        case 'temperature':
          rowData[5] = value;
          result = 'OK';
          break;

        case 'pwm':
          rowData[6] = value;
          result = 'OK';
          break;

        case 'tensao':
```

```
rowData[7] = value;
result = 'OK';
break;

default:
result = "unsupported parameter";
}
}
Logger.log(JSON.stringify(rowData));
var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
newRange.setValues([rowData]);
}
return ContentService.createTextOutput(result);
}
function stripQuotes( value ) {
return value.replace(/^["|'"]$/g, "");
}
```