



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Eriel Bernardo Albino

Controle e monitoramento de refrigeradores de hemocomponentes

Araranguá
2022

Eriel Bernardo Albino

Controle e monitoramento de refrigeradores de hemocomponentes

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Marcelo Daniel Berejuck, Dr.

Araranguá
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Albino, Eriel
Controle e monitoramento de refrigeradores de
hemocomponentes / Eriel Albino ; orientador, Marcelo
Daniel Berejuck, 2022.
28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Hemocomponentes. 3.
Sistema de controle. 4. Refrigeração. I. Berejuck, Marcelo
Daniel . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Computação. III. Título.

Eriel Bernardo Albino

Controle e monitoramento de refrigeradores de hemocomponentes

O presente trabalho em nível de bacharel foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Anderson Luiz Fernandes Perez, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rodrigo Vinícius Mendonça Pereira,
Dr.
Avaliador
SENAC - Criciúma

Prof.(a) Fábio Rodrigues De La Rocha,
Dr(a).
Avaliador Suplente
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão de curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Araranguá, 23 de março de 2022.

Prof^a. Analucia Schiaffino Morales, Dr^a.
Coordenadora de Curso

Prof. Marcelo Daniel Berejuck, Dr.
Orientador

Controle e monitoramento de refrigeradores de hemocomponentes

Eriel Bernardo Albino*

Marcelo Daniel Berejuck†

2022, Março

Resumo

Há anos os hospitais brasileiros enfrentam problemas de infraestrutura e falta de equipamentos básicos até para suporte em casos de intercorrências. As práticas, como o empreendedorismo social, podem ser as ferramentas que podem auxiliar essas instituições a aperfeiçoar o atendimento ao cidadão trazendo inovação. O projeto apresentado neste documento vem nessa linha, buscando melhorar o sistema de armazenamento de sangue e plasma de hospitais filantrópicos. Ele consiste no monitoramento da temperatura de refrigeradores comuns, em que os dados coletados são enviados para um aplicativo, que faz o acompanhamento da temperatura interna do refrigerador e gera um alerta em caso de anormalidade. Assim, o profissional responsável pelo banco de sangue poderá reagir à mudanças indevidas de temperatura que possam ocorrer com as bolsas de sangue e plasma, evitando a perda do recurso que se mostra tão escasso e essencial no tratamento dos pacientes. Foi realizada uma pesquisa dos sistemas de refrigeração profissionais disponíveis no mercado para comparar os custos, já que o principal objetivo é fornecer um sistema barato e eficiente, baseado em refrigeradores comuns de mercado, que possa ser aplicado em qualquer hospital com um menor custo, evitando a compra de equipamentos mais caros, como freezers e geladeiras profissionais, que possuem sistema de alerta e controle integrados. O sistema também gera relatórios automáticos sobre o controle de temperatura, que são obrigatórios e devem ser entregues ao HEMOSC periodicamente. Isso elimina a necessidade de intervenção de um funcionário do hospital, a cada hora, para registrar a temperatura interna dos refrigeradores.

Palavras-chaves: hemocomponentes; refrigeração; sistema de controle.

*eriel.bernardo@grad.ufsc.br

†marcelo.berejuck@ufsc.br

Control and monitoring of blood components in standard coolers

Eriel Bernardo Albino*

Marcelo Daniel Berejuck†

2022, Março

Abstract

For years Brazilian hospitals have faced infrastructure problems and a lack of essential equipment even for support in cases of intercurrency. Social entrepreneurship may be the tool that can help these institutions to improve citizen service by bringing innovation. The project presented in this document seeks to improve philanthropic hospitals' blood and plasma storage systems. It consists of monitoring the temperature of standard refrigerators. The data collected is sent to an application that monitors the refrigerator's internal temperature and generates an alert in case of abnormality. Thus, the professional responsible for the blood bank can react to undue temperature changes that may occur with the bags of blood and plasma, avoiding the loss of such a scarce and essential element in the treatment of patients. We searched for professional refrigeration systems available in the market to make a cost comparison since our main objective was to provide a cheap and efficient system based on standard refrigerators. The main idea is to adopt this kind of refrigerator in any hospital at a lower cost, avoiding the purchase of more expensive equipment, such as professional freezers and refrigerators, which have an integrated alert and control system. The system also generates automatic reports on temperature control, which are mandatory and must be delivered to HEMOSC periodically. It eliminates the need for a hospital employee to intervene every hour to record the internal temperature of the refrigerators.

Key-words: Blood components; standard coolers; control system.

*eriel.bernardo@grad.ufsc.br

†marcelo.berejuck@ufsc.br

1 Introdução

Os hospitais do Brasil, principalmente os filantrópicos, vem enfrentando crises financeiras. Segundo [Corrêa e Ritta \(2018\)](#) e [Amorim \(2016\)](#) as entidades filantrópicas são muitas vezes dependentes de recursos públicos tendo como principais fontes de renda repasses do SUS (Sistema Único de Saúde), além de serviços prestados para planos de saúde e de atendimentos particulares. No Brasil é gasto aproximadamente 8,5% do PIB em saúde, dos quais, 43% vem de fontes de recursos públicos, [Alemão \(2021\)](#) compara esse percentual com o gasto por outros países quem têm um sistema de saúde semelhante ao SUS onde 70% dos recursos são provenientes de fontes públicas.

Sendo essas instituições de cunho não somente privados, mas também de natureza social ([AMORIM, 2016](#)), [Carvalho \(2002\)](#) traçou um histórico do financiamento público federal para o SUS mostrando a falta de atualização da tabela de custos hospitalares, que não foi feita entre os anos de 1996 a 2002, causando um subfinanciamento das instituições. Esta situação perdura até hoje, tendo novos aportes de expressão apenas em casos excepcionais, como no combate a epidemias ([ARAUJO et al., 2021](#)), deixando claro o baixo orçamento que é disponibilizado aos hospitais. Isso provoca um acúmulo de dívidas, onde os repasses não cobrem os custos dos serviços ([RAIMUNDINI et al., 2006](#)). Esses fatores, muitas vezes aliados à falta de uma boa gestão hospitalar ([SOUZA et al., 2012](#)), aumentam os problemas tanto nos hospitais públicos quanto nos privados, sejam eles filantrópicos ou não, tornando o sistema de saúde brasileiro ineficiente para atender as demandas crescentes da população.

Por outro lado, a área de tecnologia da informação vem se expandindo ao longo do século XX e XXI. Segundo [OECD \(2010\)](#) a informação auxilia na transparência e na qualidade do serviço público. Assim, o uso de tecnologia pode auxiliar na gestão de recursos hospitalares, apresentando soluções customizadas para, de certa forma, ajudar a resolver os problemas gerados pelos baixos investimentos feitos na área de saúde. A informatização de processos hospitalares pode fornecer uma maior controle e clareza no uso de equipamentos e insumos no tratamento dos pacientes, resultando em mais confiança para médicos e para a equipe de enfermagem.

Neste contexto, este trabalho apresenta os resultados obtidos com a implementação de um sistema de controle e monitoramento de refrigeradores para uso com hemocomponentes em ambientes hospitalares. O projeto surgiu da necessidade identificada no Hospital de Caridade Senhor Bom Jesus dos Passos (HCSBJP), localizado no município de Laguna, Santa Catarina, onde esse monitoramento de temperatura é realizado de forma manual. Naquela instituição, o armazenamento de hemocomponentes é feito em refrigeradores comuns de mercado, sendo que o monitoramento da temperatura exigido pelo HEMOSC demanda que os funcionários do hospital façam a medição da temperatura interna do refrigerador a cada 4 horas, vinte e quatro vezes ao dia, nos sete dias da semana. Isso implica em custo operacional para a instituição, além de possibilidade de falhas nas anotações.

O documento está estruturado em Seções. A Seção 2 apresenta alguns conceitos relativos à conservação de hemocomponentes e faz uma apresentação do caso de estudo, o Hospital de Caridade Senhor Bom Jesus dos Passos, relatando como aquela instituição lida com a conservação de hemocomponentes. A Seção 3 apresenta uma síntese dos trabalhos relacionados que foram encontrados na literatura, os quais serviram de referência para algumas escolhas do projeto. A Seção 4 apresenta a proposta deste projeto, com seus objetivos específicos e resultados esperados. A Seção 5 apresenta os materiais e técnicas escolhidos para a implementação deste projeto, enquanto a Seção 6 descreve algumas etapas da prototipação e do planejamento de *firmware* e aplicativo. A Seção 7 apresenta os

resultado obtidos com três experimentos, utilizados para avaliar o desempenho do sistema em determinadas condições. Por fim, na Seção 8 são apresentadas as considerações finais a respeito dos resultados obtidos e apontadas sugestões de trabalhos futuros, gerados a partir das observações deste estudo.

2 Contextualização do problema

Nesta seção é apresentado o caso de estudo foco deste trabalho, o Hospital de Caridade Senhor Bom Jesus dos Passos. A seção foi dividida em subseções, nas quais são apresentados os termos técnicos mais relevantes para este trabalho, como Agência Transfusional, recomendações de armazenamento de hemocomponentes, além de uma descrição da solução empregada até o momento no hospital.

2.1 Agência Transfusional (AT)

Um dos setores dentro dos hospitais que necessita de monitoramento constante é a Agência Transfusional (AT). Nunes (2010) define algumas possíveis falhas no armazenamento de bolsas de sangue, dentre elas estão: (i) a falha humana; (ii) em equipamentos; (iv) a conservação dos componentes sanguíneos em local contaminado. As falhas (i) e (ii) podem causar uma alteração na temperatura das bolsas e a (iii) pode ser agravada quando as bolsas não são mantidas refrigeradas corretamente. Rivera-López et al. (2011) afirmam que os refrigeradores de baixas temperaturas possibilitaram um maior controle no crescimento das colônias de bactérias.

Nunes (2010) diz que o armazenamento incorreto dos hemocomponentes, onde as bolsas sejam expostas a temperatura fora da faixa estabelecida, pode propiciar uma proliferação de bactérias, vindas do local da coleta ou mesmo do doador, sendo imprescindível que os componentes sejam armazenados em geladeiras e freezers devidamente calibrados, além da presença de alarmes sonoros, que possibilitem a manutenção da temperatura dos componentes sanguíneos. Para evitar alterações nas propriedades do sangue, Bastos (2013) salienta a necessidade do monitoramento da temperatura, durante o transporte e o armazenamento.

A verificação da temperatura em diversos hospitais brasileiros é feito manualmente através de termômetros analógicos e digitais. Assim como o monitoramento da temperatura, o controle da mesma não é realizado automaticamente. Silva, Soares e Rocha (2012) cita a existência de equipamentos mais sofisticados que promovem o controle e verificação automático da temperatura, porém eles não se encaixam com a realidade dos hospitais, devido ao alto custo.

Hospitais que realizam intervenções cirúrgicas de grande porte, atendimentos de urgência e emergência ou que efetuem mais de 60 (sessenta) transfusões por mês, devem dispor de pelo menos uma AT. Além disso, de acordo com a portaria do Ministério da Saúde (2016), as instituições que realizem procedimentos obstétricos ou onde o tempo de amostragem, preparo e instalação do componente sanguíneo afetarem o atendimento ao paciente, devem buscar meios que garantam o suporte e evitar danos aos pacientes.

Os valores de refrigeradores apropriados para armazenamento (câmaras frias) de hemocomponentes podem variar muito, dependendo de suas características e capacidade de armazenamento, como um orçado no pregão eletrônico N° 023/2020¹ realizado pela

¹ <<https://pmcn.pa.gov.br/pregao-eletronico-no-023-2020/>>

Prefeitura de Cumaru do Norte - PA em setembro de 2020, custando R\$ 23.993,00 um modelo de 420 litros. E no pregão eletrônico N° 098/2020², processo de compra N° 2320310.098/2020³ da Fundação Centro de Hematologia e Hemoterapia do Estado de Minas Gerais, realizado em maio de 2020, foram cotados equipamentos de 14.499,00 a 37.725,80 reais.

2.2 HCSBJP

O Hospital de Caridade Senhor Bom Jesus dos Passos (HCSBJP) está localizado no município de Laguna, Santa Catarina. Além do HCSBJP realizar procedimentos obstétricos, os hemocomponentes (concentrado de hemácias, concentrado de plaquetas, plasma fresco congelado e crioprecipitado) vem da capital do estado (Florianópolis) que fica a, aproximadamente, 120km de distância da cidade, inviabilizando o transporte dos componentes a tempo de realizar todos os testes e a transfusão adequadamente. Desta forma, obedecendo a lei estabelecida pelo [Ministério da Saúde \(2016\)](#) o hospital tem um contrato com o HEMOSC (Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina), mantendo assim uma AT no estabelecimento.

A portaria [Ministério da Saúde \(2016\)](#) exige que os refrigeradores da AT para concentrado de hemácias, plaquetas e plasma possuam registrador gráfico, mas caso não seja possível, a verificação e o registro da temperatura devem ser realizados a cada 4 horas, se os equipamentos estiverem com abertura constante das portas, e a cada 12 horas, caso contrário. A regulamentação ainda exige um sistema de alarme sonoro e visual, que permita a realização das medidas apropriadas para evitar o descarte dos hemocomponentes em virtude da exposição a temperaturas incorretas.

Outro ponto é o fato de os controles de temperatura dos refrigeradores comuns serem pouco eficientes e inadequados para armazenar esses componentes. O hospital, então, trabalha com um controle manual, ou seja, quando o dia está quente e o equipamento não consegue manter a temperatura baixa, um enfermeiro vai até a agência transfusional e adiciona gelo ao refrigerador para manter a temperatura baixa, caso contrário, em dias frios, uma garrafa com água morna é inserida para elevar a temperatura. Esse sistema é impreciso, já que depende de uma verificação constante para observar se a temperatura está sendo mantida, e caso seja feita uma alteração muito grande na temperatura o próprio método pode causar instabilidade na condição das bolsas.

Portanto, para estar de acordo com as normas estabelecidas pelo governo, o hospital de Laguna deveria comprar equipamentos dispendiosos para ter um sistema de alarme e verificação de temperatura, contudo igualmente à muitos hospitais brasileiros, o hospital não tem condições de adquirir o mesmo.

No HCSBJP, até a chegada da pandemia de COVID-19 em 2020, em sua agência transfusional havia dois refrigeradores domésticos para armazenamento de bolsas de hemocomponentes, reagentes e afins. Atualmente, devido a situação pandêmica de COVID-19 e a abertura de leitos de UTI para atendimento, foram obtidos uma câmara fria de 150 litros e Ar-Condicionado, porém, para a armazenagem de testes, reagentes e amostras, ainda continuam sendo feito em um refrigerador doméstico, Figura 1, com monitoramento manual.

² <<https://www1.compras.mg.gov.br/processocompra/pregao/consulta/dados/abaDadosPregao.html?metodo=abrirArquivoEdital&idPregao=139091>>

³ <<https://www1.compras.mg.gov.br/processocompra/pregao/consulta/dados/lotos/lancesLote.html?idLote=441959&idPregao=139091>>



Figura 1 – Refrigerador para armazenamentos de amostras e reagentes do HCSBJP. Fonte: O Autor

Entre outros elementos, o HCSBJP conta com hemocomponentes que são armazenados em uma geladeira e em um freezer dependendo da sua característica de armazenamento. No freezer são armazenadas as bolsas contendo plasma fresco congelado e na geladeira o concentrado de hemácias. O plasma fresco congelado é mantido a temperatura entre -20°C e -30°C , com validade de 1 ano a partir da data da coleta (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

O concentrado de hemácias deve ser armazenado em uma temperatura de 2°C à 6°C e tem validade dependente da solução a qual é submetida, sendo no ACD (ácido cítrico-citrato de sódio-dextrose) e no CPD (Ácido cítrico-citrato de sódiofosfato-dextrose) a duração de 21 dias, no CPDA-1 (citrato de sódio, fosfato, dextrose, adenina) a duração de 35 dias e na solução aditiva a validade é de 42 dias (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016). Os concentrados de plaquetas devem ser conservados sob agitação constante e entre 20°C e 24°C e tem validade de 3 a 5 dias dependendo do plastificante da bolsa de conservação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Como na AT do HCSBJ não possui refrigerador com agitação, o concentrado de plaquetas é transplantado, em geral, no momento da chegada ao hospital, no caso da permanência na unidade de saúde sem ser utilizado por mais de 4 horas, a bolsa deve ser descartada (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

As temperaturas de armazenamento dos principais hemocomponentes e relacionados pode ser visualizada na Tabela 1.

O sistema de armazenamento atual é totalmente dependente de funcionários, assim, qualquer erro na verificação e manutenção da temperatura, pode ocasionar o aumento ou diminuição da temperatura fora dos padrões exigidos ou ainda o desligamento dos refrigeradores, deste modo, causando o descarte das bolsas com hemocomponentes.

Tabela 1 – Temperatura de armazenamento dos principais hemocomponentes

Hemocomponente	Temperatura de armazenamento
Concentrado de hemácias (CH)	2° C a 6° C
Concentrado de plaquetas (CP)	22 ± 2° C, sob agitação constante
Plasma fresco congelado (PFC)	-18° C. Recomendada -25° C ou inferior
Plasma isento do crioprecipitado (PIC)	-18° C. Recomendada -25° C ou inferior
Plasma de 24 horas (P24)	-18° C. Recomendada -25° C ou inferior
Crioprecipitado (CRIO)	-18° C. Recomendada -25° C ou inferior
Concentrado de granulócitos (CG)	Devem ser transfundidos assim q possível, se inevitável, armazenar entre 20°C a 24°C por no máximo 24 horas
Reagentes	2°C a 8°C
Amostras	2°C a 8°C

Fonte: [Ministério da Saúde \(2016\)](#)

2.3 Demandas da Instituição

A entidade conta com três equipamentos mantidos em temperaturas distintas, um freezer para os componentes congelados, uma câmara para hemocomponentes que podem ser armazenados de 2° C a 6° C e um refrigerador doméstico que deve ser mantido de 2° C a 8° C para amostras e reagentes, neste caso é observado a necessidade de se obter um sistema de monitoramento e controle para ambos. Isso causaria um gasto exorbitante, logo, constata-se a carência de um produto que possa realizar o controle de uma maneira menos onerosa, possibilitando uma maior segurança na conservação dos elementos.

O registro da temperatura que ainda é feita de maneira visual demanda uma aplicação que permita a anotação automática, isentando os funcionários do compromisso de verificar a temperatura dos refrigeradores a cada 4 horas. Outra possibilidade é a implantação de um sistema de alerta mais eficaz, pois se a agência se encontra em um lugar mais isolado, de baixa circulação de funcionários, pode não ser ouvido.

O hospital de laguna não conta com nenhum sistema de alerta e depende somente da verificação ocular da temperatura. Pela falta de recursos não é possível ter um funcionário exclusivo para a AT e caso haja um descuido por parte do encarregado, por excesso de atribuições ou demora na verificação, o desligamento dos refrigeradores só será notado quando alguém for a agência, justificando a criação de um sistema de controle e alerta para os refrigeradores.

3 Trabalhos Relacionados

Na literatura, foram consultadas diversas fontes, sendo que poucas foram as referências encontradas que abordem o problema de armazenamento de hemocomponentes nos aspectos dos problemas encontrados no HCSBJP. Algumas delas estão relacionadas com monitoramento no transporte de vacinas, controle de bolsas para transfusão, automação de refrigeradores para uso doméstico ou algum outro tipo de monitoramento e automação hospitalar, como dispositivos vestíveis. Nesta seção são apresentadas os principais trabalhos à automação e monitoramento de insumos em ambientes hospitalares. O principal objetivo foi mapear as tecnologias utilizadas nas soluções propostas, o que ajudou na escolha dos materiais e métodos adotados na implementação do projeto apresentado neste documento.

Silva, Soares e Rocha (2012) buscando automatizar a coleta da temperatura com maior confiabilidade, desenvolveram um protótipo, Figura 2, facilitando o controle da temperatura. O protocolo de comunicação ZigBee foi escolhido devido ao baixo custo de aquisição e consumo de energia, além de fácil manutenção. A rede deste trabalho é composta por 3 transmissores X-Bee: um coordenador ligado a um computador e dois roteadores que coletam a temperatura.

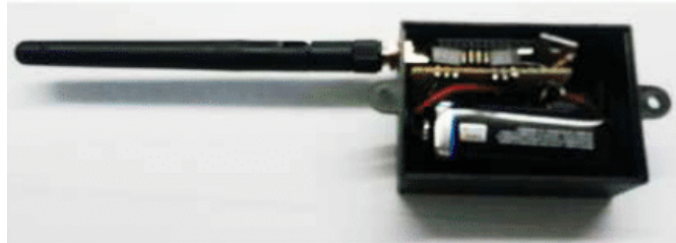


Figura 2 – Protótipo do dispositivo de monitoramento de temperatura. Fonte: Silva, Soares e Rocha (2012)

O monitoramento é feito através do *software* Processing apresentando no computador, em uma tela, a identificação do sensor, data/hora e o valor da temperatura em graus Celsius e, em outra tela, dois termômetros representando cada sensor. Todos os dados adquiridos são armazenados em uma tabela. Além disso, o sistema é alimentado por uma bateria de 9V transmitindo 4 amostras por hora com um alcance em local fechado de 100 m. Dessa maneira, o dispositivo é disposto completamente na parte interna do refrigerador, assim como é mostrado na Figura 3 destacado em vermelho.



Figura 3 – Protótipo em teste em uma câmara fria. Fonte: Silva, Soares e Rocha (2012)

Comparações entre dados adquiridos pelos técnicos e dados adquiridos pelo sistema proposto apresentaram uma ligeira diferença. Essa divergência pode ser ocasionada devido a falta de calibração dos sensores dos estabelecimentos, já que os do equipamento foram calibrados antes dos testes. Silva, Soares e Rocha (2012) afirmam que a escolha do sensor LM335 se deve devido a necessidade da medição da temperatura em uma área e não em um ponto específico. Esse sensor permite a mensura em uma faixa entre -40°C e 100°C .

Outro trabalho encontrado que trata de problemas que se aproximem ao do cenário encontrado no HCSBP é o de [Morais et al. \(2021\)](#), que em seu projeto desenvolve um sistema de refrigeração monitorada, Figura 4, onde utilizam-se pastilhas termoelétricas de Peltier, dissipadores e ventoinhas para a refrigeração de uma caixa térmica, controlados por um microcontrolador, ESP32 DEV Kit V1, além de módulo GPS para monitoramento da localização, cartão de memória para armazenamento de dados localmente, sensor de temperatura termopar do tipo k.

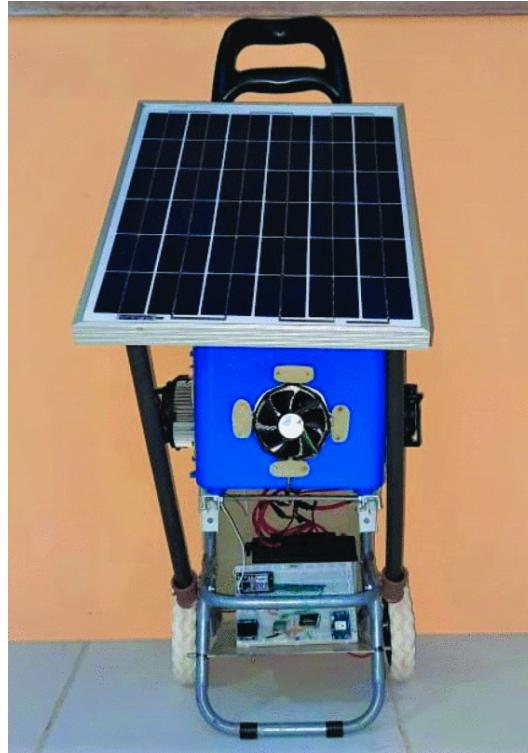


Figura 4 – Dispositivo de transporte de vacinas. Fonte: [Morais et al. \(2021\)](#)

Há um sistema de gestão através de sistema web, já que o dispositivo possui conexão WiFi, são armazenados os em banco de dados MySQL, também foi desenvolvido uma Interface de Programação de Aplicações (API) no padrão *Restful* para conexão com um *front-end* onde se pode visualizar os dados monitorados.

[Ali et al. \(2017\)](#) desenvolvem um sistema web para gerenciamento de bolsas de sangue e hemocomponentes, com enfoque na administração de estoque, registrando quais, quantos e para quem foi destinados tais componentes, além de gestão de pacientes doadores rejeitados e aprovados, doações realizadas e descarte de bolsas.

No trabalho de [Karvounis et al. \(2021\)](#) foi construído um protótipo vestível, Figura 5, para o monitoramento constante os parâmetros fisiológicos do paciente, frequência cardíaca, frequência respiratória, saturação de oxigênio, temperatura, alteração da pressão arterial sistólica, movimento, postura e sua localização.

Utilizando da conexão WiFi e API's, os dados são armazenados em um banco de dados PostgreSQL e processados usando técnicas inteligentes em um ambiente baseado em *cloud*, alertas precoces são enviados automaticamente para a equipe médica.

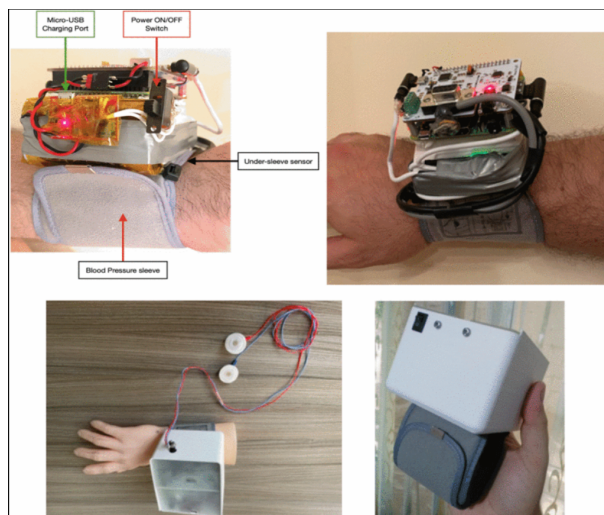


Figura 5 – Protótipo de dispositivo vestível. Fonte: [Karvounis et al. \(2021\)](#)

O microcontrolador escolhido foi o Raspberry Pi 3 - Model A+, além da utilização de sensores como de Frequência Cardíaca, Frequência Respiratória, Eletrocardiograma, Oxigenação do Sangue (SpO2), Aceleração Corporal de 3 eixos, Pressão Arterial e Temperatura Corporal.

[Prasath et al. \(2021\)](#) desenvolveram um protótipo simples, utilizando o microcontrolador Arduino UNO, um módulo sensor de pressão barométrica, para aferir a pressão, um sensor LM35 para medir a temperatura corporal e um sensor infra vermelho para aferir a pulsação do corpo humano, sendo apresentado na Figura 6.

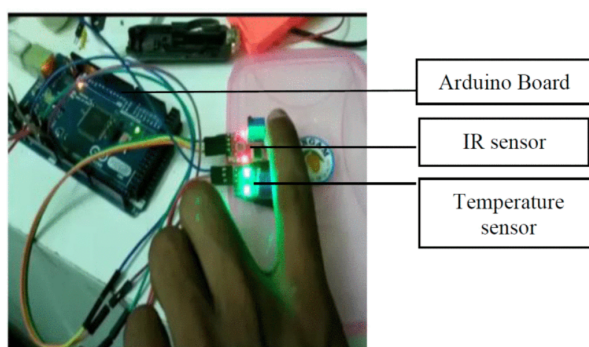


Figura 6 – Protótipo de aferição de temperatura, pressão e pulsação. Fonte: [Prasath et al. \(2021\)](#)

O trabalho de [Quintana, Atea e Frattari \(2014\)](#) visou monitorar a temperatura de transporte de hemocomponentes, para tal, utilizou-se de um *data logger*, TagTemp da marca Novus, que é uma solução industrial / comercial de monitoramento de temperatura, onde são armazenadas as medições que podem ser descarregadas em um *software* proprietário, LogChartII.

[Edward, Karyono e Meidia \(2017\)](#) buscaram construir um refrigerador inteligente a partir de um comum para o monitoramento e rastreamento dos produtos armazenados. O protótipo utiliza o sensor de temperatura DS18B20, devido a sua faixa de operação de -55°C a 125°C , e NodeMCU como controlador para coleta de informações, pelo seu baixo

custo e por possuir as portas ADC e GPIO necessárias para seu projeto. Para receber, armazenar e processar esses dados, foi utilizado um Raspberry Pi 3 que atua como um servidor.

Um compilado das tecnologias empregadas nos trabalhos relatados aqui pode ser visualizado na Tabela 2. Esse levantamento teve como objetivo elencar as principais tecnologias adotadas nos trabalhos relacionados para balizar as escolhas feitas no projeto apresentado neste documento.

Tabela 2 – Principais tecnologias utilizadas

Trabalho	Sensor de Temperatura	MCU	Protocolo de Comunicação	Banco de Dados
Silva, Soares e Rocha (2012)	LM335	XBee	ZigBee	-
Morais et al. (2021)	Termopar tipo K	ESP32	WiFi	Local + MySQL
Ali et al. (2017)	-	-	-	Microsoft SQL Server
Karvounis et al. (2021)	Não especificado	Raspberry Pi 3	WiFi	PostgreSQL
Prasath et al. (2021)	LM35	Arduino UNO	-	-
Quintana, Atea e Frattari (2014)	NOVUS TAGTEMP		-	Local
Edward, Karyono e Meidia (2017)	DS18B20	ESP8666 + Raspberry Pi 3	WiFi	Local

Fonte: O autor

4 Abordagem proposta

Com base nos trabalhos relacionados que foram pesquisados na bibliografia e na situação do HCSBJP, a solução proposta neste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de temperatura para ser adaptado à um refrigerador de uso comercial, com as seguintes características: *(i)* ser capaz de monitorar a temperatura interna do refrigerador; *(ii)* controlar essa temperatura, ligando ou desligando o compressor; *(iii)* armazenar os dados relativos às temperaturas para posterior geração de relatório; e *(iv)* ser capaz de gerar um alerta para parâmetros fora do padrão, como o tempo de abertura da porta do refrigerador.

4.1 Objetivos Específicos

- Identificar equipamentos e ferramentas de forma barata para controle e automatização de refrigeradores domésticos;
- Desenvolver um protótipo de monitoramento de temperatura de baixo custo e de fácil replicação;

- Propor uma forma de obter a temperatura dos refrigeradores procurando a integridade dos dados e a transparência da informação;
- Desenvolver uma aplicação e um site que recebam os dados do sistema e gerem alertas, relatórios e gráficos, para uma melhor supervisão dos hemocomponentes;
- Avaliar a eficiência do sistema e compará-lo a sistemas existentes no mercado.

4.2 Resultados Esperados

Era esperado que o sistema de monitoramento e controle de temperatura fosse de baixo custo, fácil aquisição e instalação. Além disso, a instalação desse sistema não deveria ser feita de forma “invasiva” no refrigerador. Ou seja, sem alterar a sua estrutura elétrica ou mecânica. Pelos resultados obtidos, que serão apresentados nas seções seguintes, estes resultados foram alcançados. Além disso, espera-se submeter este trabalho, com devidas complementações e alterações, em conferência ou periódico na área de Informática na Saúde.

5 Materiais e Métodos

Assim como em outras instituições, o HCSBJP também está ampliando a disponibilidade de conexão com redes WiFi em suas instalações. Por esse motivo, decidiu-se por utilizar a rede WiFi já existente no hospital para a comunicação de dados.

Como em outros trabalhos relacionados, para o sensoriamento da temperatura do refrigerador, optou-se pelo modelo DS18B20. Foram instalados dois sensores, um na parte interna do refrigerador e outro na sua superfície externa. Isso foi feito para que se pudesse ter uma correlação futura entre acionamentos do compressor, frequência de abertura da geladeira e ambiente externo. Estes sensores operam na faixa de -55°C à 125°C , já trabalhando de maneira digital. Quando operado no intervalo de -10°C à 85°C , possuem precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Sua faixa de valor de tensão de alimentação é de 3 V à 5,5 V (KAUR; JASUJA, 2017).

Para o controle do refrigerador, optou-se por usar um relé de estado sólido, fazendo o papel de ligar e desligar o refrigerador da energia elétrica, já que um dos objetivos é ser um sistema não invasivo e de fácil replicação, podendo ser instalado em qualquer tipo de refrigerador. O relé escolhido, suporta uma corrente de 10 A, operando nas tensões de entrada de 3 V à 32 V DC, e tensões de saída de 24 V a 380 V AC.

Por ser de fácil acesso, baixo custo e contar com WiFi, optou-se por utilizar um módulo de desenvolvimento baseado em ESP32-WROOM-32, o qual conta com um microcontrolador de 32 bits com 2 núcleos, 36 portas GPIO (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017), suprimindo totalmente a demanda dos sensores a serem utilizados e demais requisitos do protótipo.

Um resistor dependente de luz (LDR) foi o escolhido para o sensoriamento da abertura de porta e um *buzzer* para alertas sonoros. Além dessa sinalização sonora, uma versão futura do aplicativo poderá enviar mensagens para os profissionais do hospital informando sobre a porta do refrigerador estar aberta além do tempo normal de uso.

Para o armazenamento de dados foi escolhido uma solução de *cloud*, o MongoDB Atlas, que tem um plano gratuito limitado a 512 MB de armazenamento e diversas opções de locais e provedores para hospedagem. Para a comunicação desses dados escolheu-se

construir uma API em Python, utilizando o *framework* FastAPI, e hospedando-a no serviço Heroku, que também possui um plano gratuito de uso limitado, mas que atende ao propósito de uso.

O refrigerador utilizado é do modelo MRC10B1 de 220 V da marca Midea Springer, mostrado na Figura 11, o qual tem capacidade de 93 litros, sendo bem próximo das características do refrigerador utilizado no hospital, porém de menor volume.

Decidiu-se criar uma aplicação para o monitoramento remoto, a linguagem escolhida foi o Dart utilizando o *framework* Flutter, pelo fator de que com um único código, se consegue desenvolver aplicações para *mobile*, Android e IOS, e *web*. Um *display* também foi escolhido para visualização dos dados corrente de forma local. Como são poucas as informações para serem apresentadas, optou-se por um *display* OLED monocromático de resolução de 128x64 pixels com interface I²C compatível com ESP32.

A Figura 7 demonstra o esquema das principais tecnologias e serviços utilizado no sistema desenvolvido descritas aqui. Cada nuvem representa um serviço de *cloud* distinto, como a base de dados MongoDB Atlas, a API desenvolvida em Python com o *framework* FastAPI hospedada no Heroku, a aplicação desenvolvida em Flutter e o módulo desenvolvido com ESP32 com conectividade WiFi.

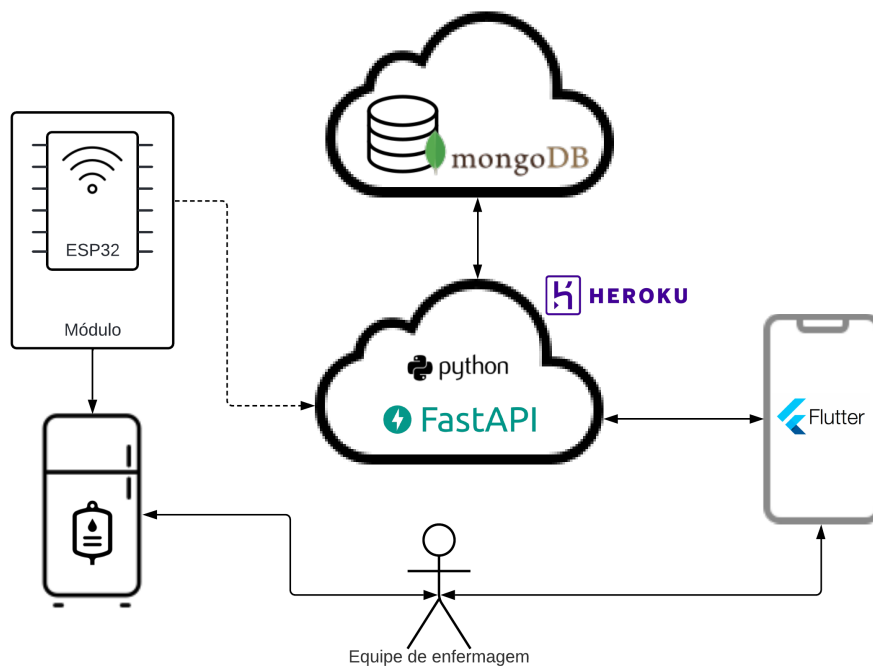


Figura 7 – Esquema das principais tecnologias utilizadas. Fonte: O autor

6 Prototipação

6.1 Módulo

A partir da escolha dos componentes, atuadores e sensores, desenvolve-se o esquema de disposição dos componentes e como eles serão aplicados, o diagrama da Figura 8 demonstra como eles são dispostos no módulo.

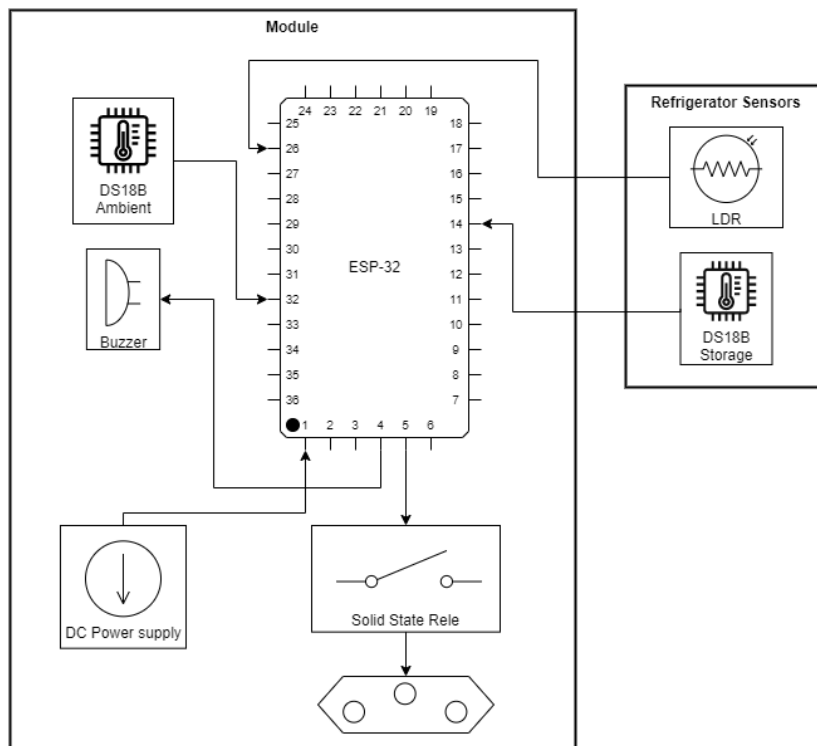


Figura 8 – Esquema do módulo de monitoramento e controle de refrigerador desenvolvido.
 Fonte: O autor

Nesse esquema, os sensores de temperatura e luminosidade do módulo são acoplados na parte interna do refrigerador, passando os fios pela borda da porta, de forma a garantir o isolamento térmico da borracha de vedação. Como o HCSBJP possui geradores que alimentam todo o hospital, não foi necessária, ao menos inicialmente, a adição de baterias ao módulo para casos de falta de energia.

O esquema de ligação do módulo com o refrigerador proposto pode ser visualizado na Figura 9, onde os sensores do módulo que monitoram o refrigerador são dispostos internamente, o refrigerador é ligado à tomada do módulo e o módulo ligado a rede elétrica.

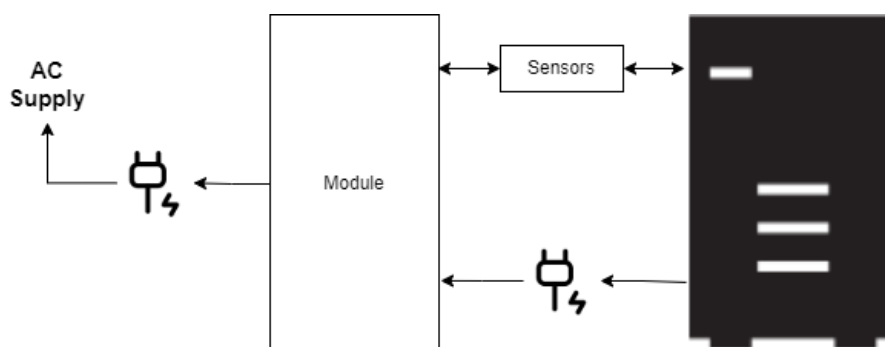


Figura 9 – Esquema de ligação do módulo ao refrigerador. Fonte: O autor

Para o acondicionamento dos componentes foi desenvolvido uma *case* impressa em impressora 3D, a qual comporta a placa do circuito com o microcontrolador, o *buzzer*, o

sensor de temperatura DS18B20 de aferição da temperatura ambiente, fonte DC, o relé de estado sólido e a tomada para a ligação do refrigerador. Na Figura 10 é apresentado a montagem do protótipo do módulo.

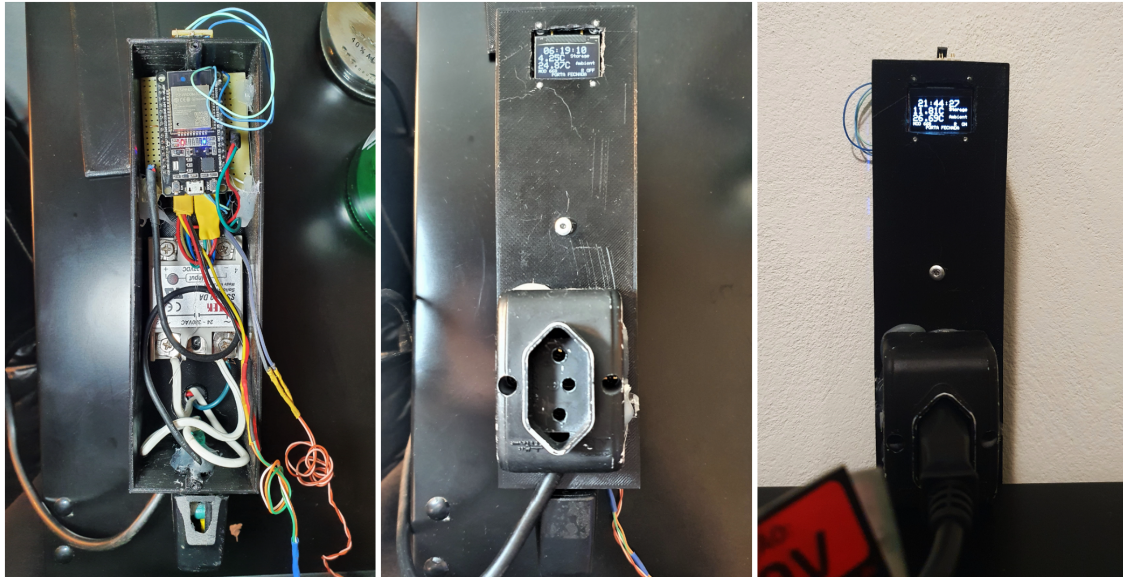


Figura 10 – Protótipo do módulo de monitoramento e controle de refrigerador desenvolvido.
Fonte: O autor

Um *display* também foi incluído no módulo. Assim como é mostrada na Figura 8, existe uma ligação entre o módulo e os sensores de temperatura e de luminosidade que são acoplados ao refrigerador. A instalação completa do módulo, incluindo os sensores de temperatura e luminosidade no interior do refrigerador, podem ser visualizados na Figura 11.



Figura 11 – Protótipo instalado no cenário de testes. Fonte: O autor

6.2 Tasks

Dado a possibilidade de implementação de *multitasking* e de o ESP32 possuir 2 núcleos de processamento, implementou-se *tasks*, utilizando as funções da biblioteca para sistemas de tempo real FreeRTOS, que que tratam de cada atividade com diferentes prioridades afim de garantir a execução correta das mesmas.

Cada *task* executa uma função responsável por comandar cada recurso. Foram criadas *tasks* para o gerenciamento da conexão WiFi, leitura dos sensores, *display*, controle do relé, armazenamento e envio de dados para a API e alertas sonoros.

6.3 Task de controle

O controle do refrigerador se da através de liga e desliga, onde, a partir dos dados coletados e dos parâmetros inseridos, o controlador ativa e desativa o relé, que por sua vez está conectada em uma tomada a qual alimenta o refrigerador.

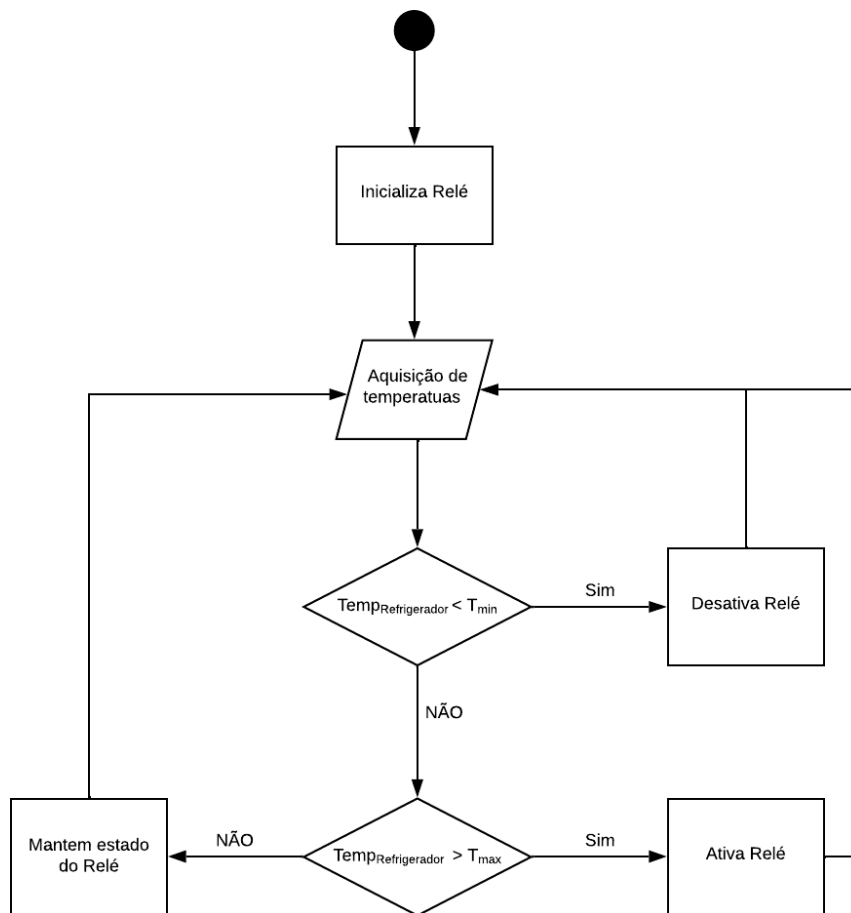


Figura 12 – Fluxograma de controle do Relé. Fonte: O autor

O fluxograma mostrado na Figura 12 detalha a atividade de controle. Nele é possível observar que as tomadas de decisão são com base na temperatura corrente e no estado atual do relé, o qual se mantém o nível lógico do *loop* anterior se a temperatura estiver entre a máxima e mínima definidas nos parâmetros.

6.4 API

Para o armazenamento de dados desenvolveu-se uma API REST (*Representational State Transfer*) que é hospedada em *cloud*, a qual gerencia toda a comunicação com o banco de dados MongoDB Atlas, já que uma API deste tipo deve realizar a comunicação cliente/servidor de forma *stateless*, ou seja, o servidor não armazena estados e cada requisição é independente.

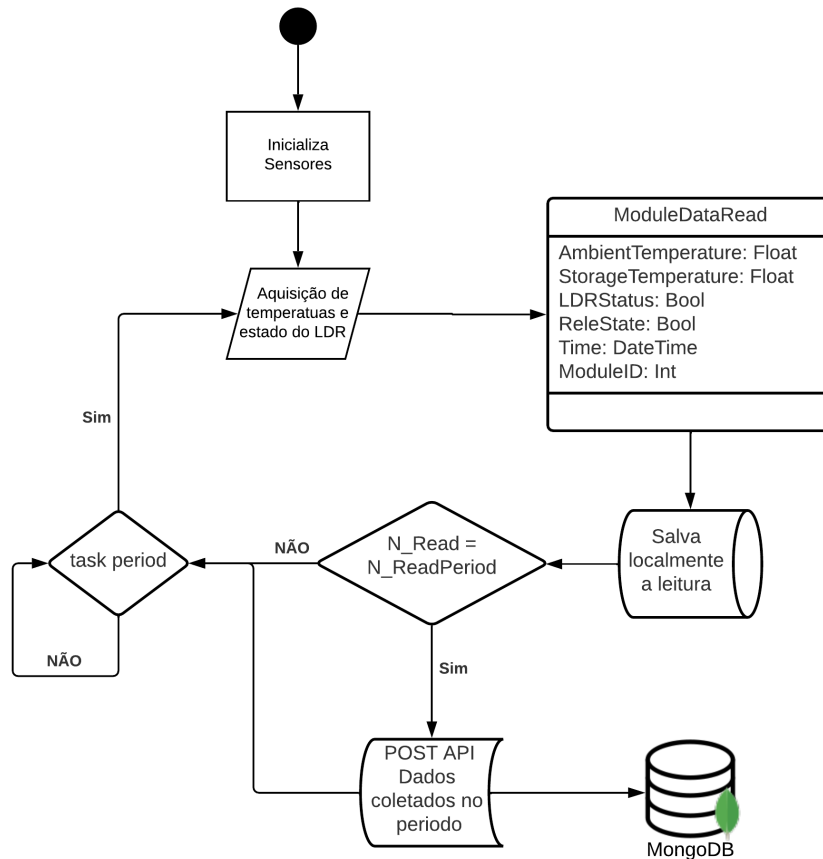


Figura 13 – Fluxograma de funcionamento do armazenamento em banco de dados. Fonte: O autor

A cada intervalo de tempo é armazenada a leitura corrente dos estados de cada sensor e atuador, que são salvas em um *buffer*, e ao atingir uma quantidade pré-determinada às envia via POST Request na API onde são salvas no banco de dados. O fluxograma do funcionamento desses envios por parte do cliente pode ser visualizado na Figura 13.

6.5 BS18B20

O sensor DS18B20 possui um sistema simplificado de ligação dado que ele já é digital, podendo ser ligado apenas a alimentação e conectado a uma das portas de leitura e escrita digitais (GPIO) de leitura e escrita do ESP32. O esquema de sua utilização é mostrada na Figura 14.

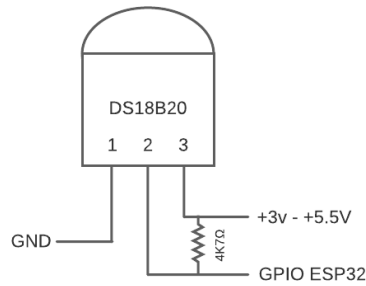


Figura 14 – Esquema de ligação do sensor DS18B20. Fonte: O autor

Ele também permite a ligação de vários sensores utilizando a mesma linha de comunicação, facilitando uma possível adição para o sensoriamento em diversos pontos do refrigerador e a passagem de fios, evitando problemas na vedação da borracha da porta.

6.6 APP

O protótipo da aplicação desenvolvida visa facilitar o acesso às informações dos módulos instalados nos refrigeradores e gerenciá-los. Ele apresenta em sua tela inicial um consolidado das principais informações em formatos de *cards*, indo em “Mais Informações” é apresentado um gráfico das temperaturas, estado do refrigerador e de abertura de porta, a Figura 15 apresenta as capturas dessas telas.

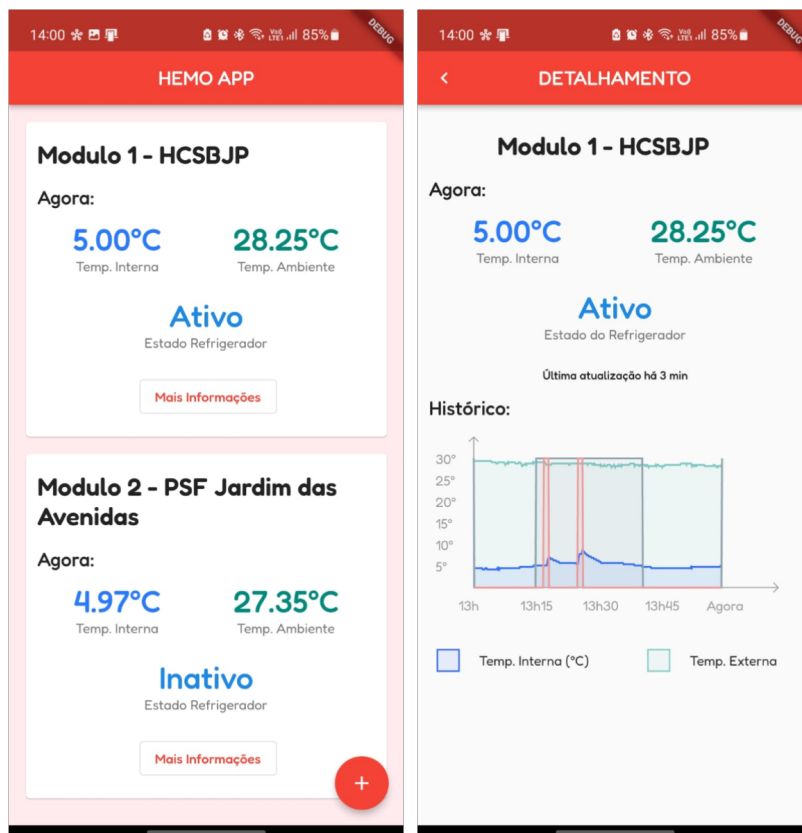


Figura 15 – Telas do protótipo da aplicação. Fonte: O autor

7 Resultados Experimentais

Foram desenvolvidos três cenários de testes. Um para o entendimento do comportamento da temperatura após abertura de porta e outros dois para teste do controle automático com base em limites de temperatura pré-definidos.

A taxa média de amostragem do primeiro cenário foi de 1 amostra por minuto, dos cenários 2 e 3, foi de 1 amostra a cada 3 segundos.

7.1 Cenário 1

No primeiro cenário foram realizados 16 testes de abertura da porta do refrigerador por dois minutos e monitorado o comportamento da curva de temperatura até sua acomodação.

No gráfico da Figura 16, é apresentado um conjunto dos nove primeiros testes, sendo que a temperatura no tempo 00:00 minutos é a temperatura corrente no momento de abertura da porta, a qual ficou aberta por dois minutos.

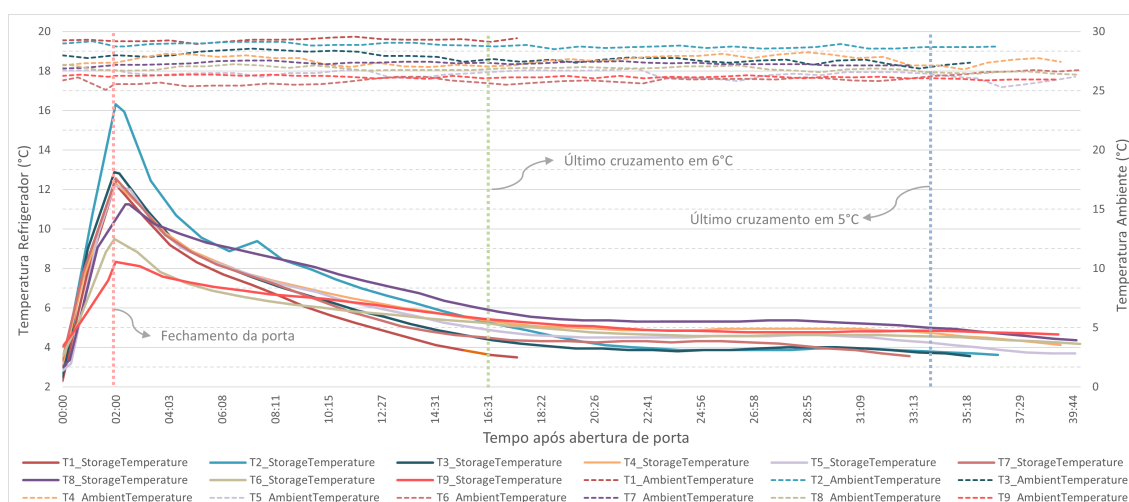


Figura 16 – Gráfico do comportamento da temperatura do refrigerador com abertura de porta por 2 minutos. Fonte: O autor

No gráfico também é mostrado a temperatura ambiente ao longo dos testes, as curvas cessam após acomodação. Nele também é indicado com uma linha tracejada em vermelho na vertical o momento de fechamento da porta aos dois minutos, uma verde no momento em que o último teste chega na temperatura de 6° C, aos 16 minutos, e uma azul ao atingir 5° C aos 33 minutos.

A Figura 17 apresenta os resultados dos testes realizados, combinando a temperatura na abertura e fechamento da porta, e o tempo que levou, após a abertura, para chegar à 6° C e 5° C. Como os testes foram realizados em sequência percebeu-se uma queda no desempenho de refrigeração, como pode-se observar a partir da diferença nos ângulos das regressões lineares do tempo de 6° C, linha tracejada na cor laranja, e do tempo de 5° C, linha tracejada na cor vermelha.

O tempo médio nos testes realizados para o retorno da temperatura do refrigerador à 6° C foi de 15:55 minutos com desvio padrão de 04:01, e para retornar à 5° C foi de 28:06 minutos com desvio padrão de 12:22.

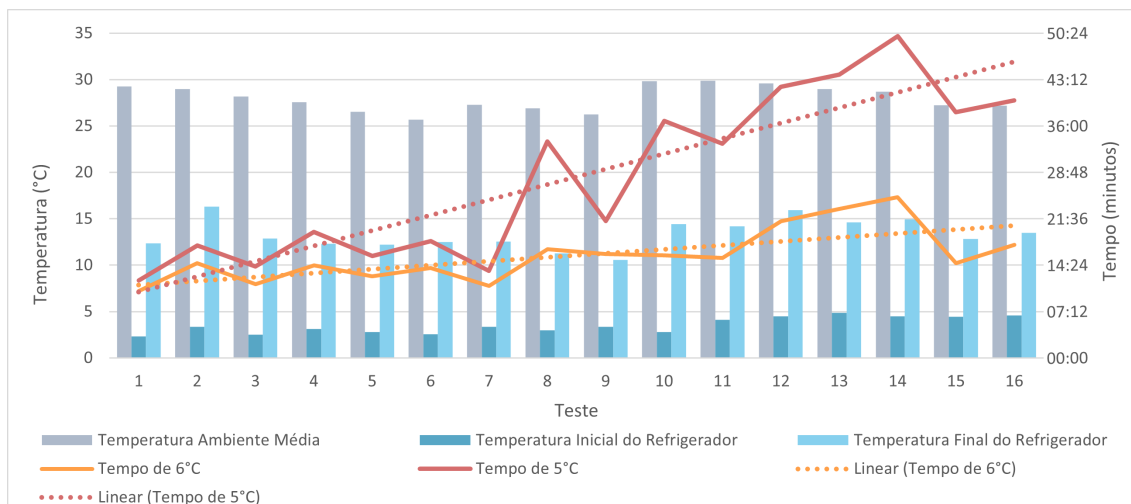


Figura 17 – Gráfico do comportamento da temperatura do refrigerador com abertura de porta por 2 minutos. Fonte: O autor

7.2 Cenário 2

No segundo cenário, validou-se o funcionamento do controle liga e desliga por meio do relé de estado sólido, utilizando a lógica do fluxograma da Figura 12. O objetivo desses testes é analisar o comportamento das temperaturas mantendo a porta do refrigerador fechada.

O primeiro teste utilizou-se 5° C como parâmetro de temperatura mínima e 6° C como máxima. Ou seja, quando o refrigerador está com temperatura abaixo de 5° C, o relé é desativado, quando voltar a atingir um valor acima de 6° C o relé é ativado, nesse intervalo, o estado do relé é preservado. Os testes foram realizados durante o período de 25 dias, resultando em 1405 ciclos de mudança de estado monitorados.

Na Figura 18, é mostrado os tempos em que o relé ficou ativo após o refrigerador atingir 6° C até retornar ao valor mínimo de desativação do teste, 5° C. No eixo da direita temos a temperatura ambiente média durante os testes e à esquerda os tempos em estado ativo em minutos.

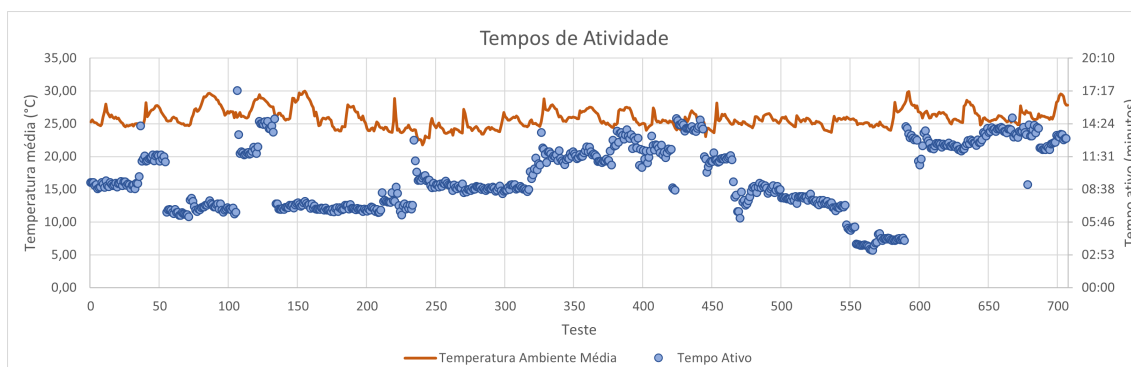


Figura 18 – Gráfico dos tempos em que o refrigerador ficou ligado a partir do momento que atingiu 6° C até retornar à 5° C. Fonte: O autor

Na Figura 19, é possível visualizar os tempos em que o relé ficou inativo, ou seja, o tempo em que o refrigerador levou para retornar à 6° C após o seu desativamento ao ter atingido 5° C. No eixo da direita temos a temperatura ambiente média durante os testes e à esquerda os tempos inativo em minutos.

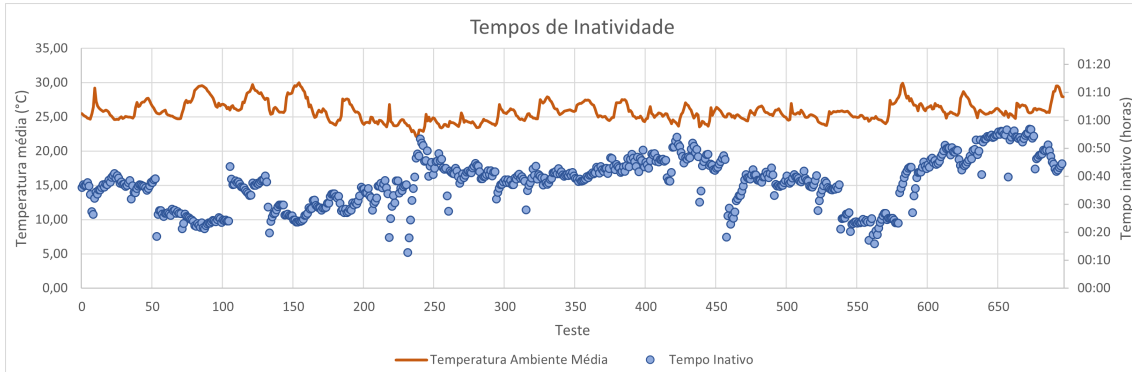


Figura 19 – Gráfico dos tempos em que o refrigerador ficou desligado a partir do momento que atingiu 5° C até retornar à 6° C. Fonte: O autor

Como pode-se observar, em ambos os ciclos houve muitos *outliers* nas amostras, assim, a Figura 20 apresenta um histograma e traça uma curva de Pareto para cada tipo de ciclo, estado ativo e inativo.

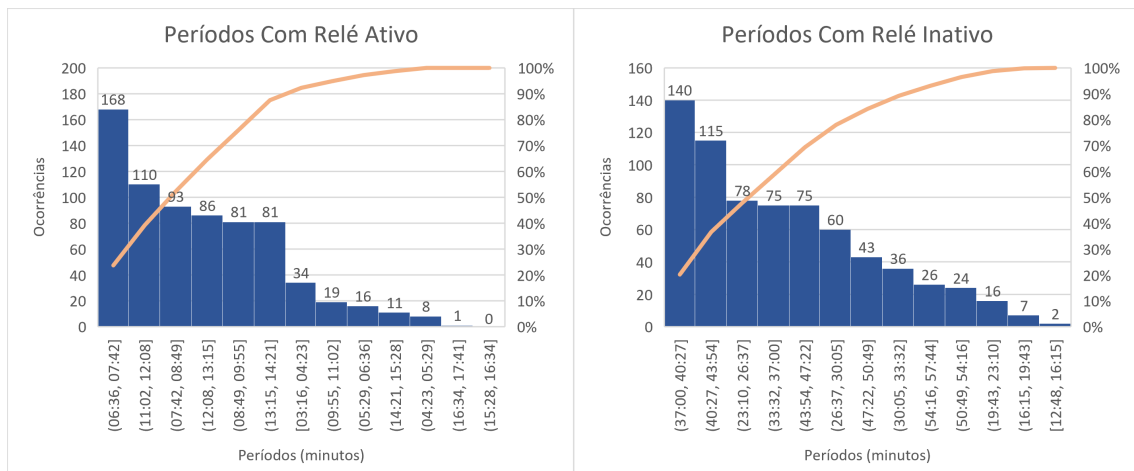


Figura 20 – Histograma dos períodos para retorno à 5° C a partir da ativação e dos períodos para atingir 6° C a partir do desligamento. Fonte: O autor

No gráfico à direita da figura, onde é mostrado os períodos de inatividade, pode-se observar que os dois primeiros grupos com mais amostras, que abrangem o período de 37 minutos à 43:54 minutos, representam 36,64 % do total dos testes. Já os períodos menores que 23:10 minutos ocorreram apenas 3,59 %. A média dos períodos inativo foi de 37:56 minutos, contando com 697 testes amostrados.

A esquerda temos as ocorrências de períodos de atividade do relé, contando com 708 amostras e um tempo médio de 09:41 minutos. Os grupos que têm uma variação de ± 3 minutos em relação à média representam 78,67% dos testes amostrados, tempos maiores que 14:21 minutos ocorrem apenas em 1,69%.

7.3 Cenário 3

Seguindo as premissas do cenário de testes apresentado na Seção 7.2, foi realizado um segundo teste utilizando-se o *range* de temperatura de 4,5° C à 5° C durante 6 dias, gerando um total de 308 ciclos de mudança de estado. Da mesma forma quando o refrigerador está com temperatura abaixo de 4.5° C, o relé é desativado, quando voltar a atingir um valor acima de 5° C o relé é novamente ativado, nesse intervalo, o estado do relé é preservado.

Na Figura 21, é mostrado os tempos em que o relé ficou ativo após a leitura de temperatura do refrigerador atingir 5° C, até retornar ao valor mínimo para desativação definido para o teste, 4.5° C.

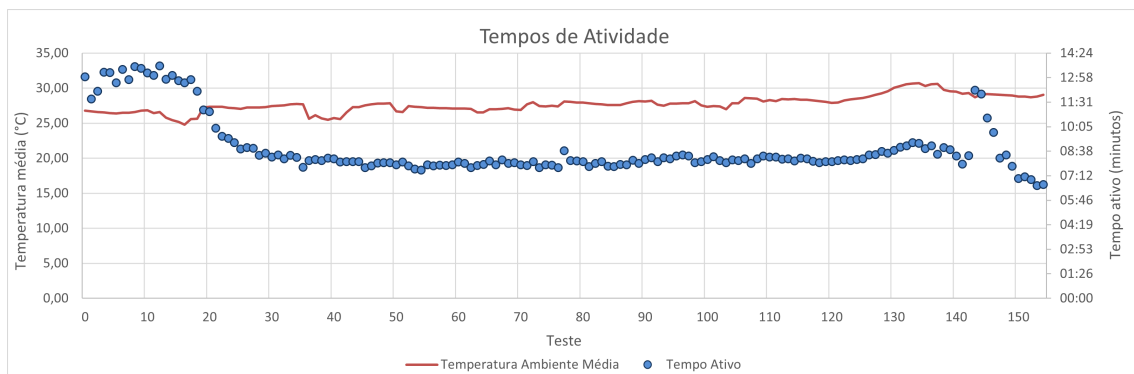


Figura 21 – Gráfico dos tempos em que o refrigerador ficou no ciclo de estado ligado a partir do momento que atingiu 5° C até retornar à 4.5° C. Fonte: O autor

No eixo da direita temos a temperatura ambiente média durante os testes e à esquerda os tempos em estado ativo em minutos. Percebe-se a maior estabilidade no comportamento comparado ao mesmo ciclo do teste anterior apresentado na Figura 18.

A Figura 22 mostra os tempos em que o relé ficou em estado inativo, ou seja, o tempo em que o refrigerador levou para retornar à 5° C após o seu desativamento ao ter atingido 4.5° C. No eixo da direita temos a temperatura ambiente média durante os testes e à esquerda os tempos inativo em minutos. Como no estado ativo, também encontramos um comportamento mais estável comparado ao cenário anterior da Figura 19.

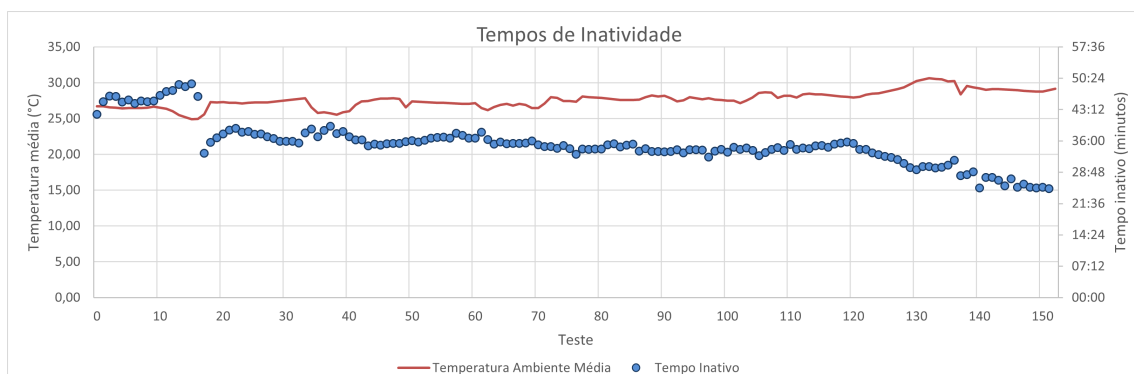


Figura 22 – Gráfico dos tempos em que o refrigerador ficou desligado a partir do momento que atingiu 4.5° C até retornar à 5° C. Fonte: O autor

Nos gráficos da Figura 23 é apresentado o histograma dos testes realizados, reforçando a estabilidade em ambos os ciclos mencionados anteriormente.

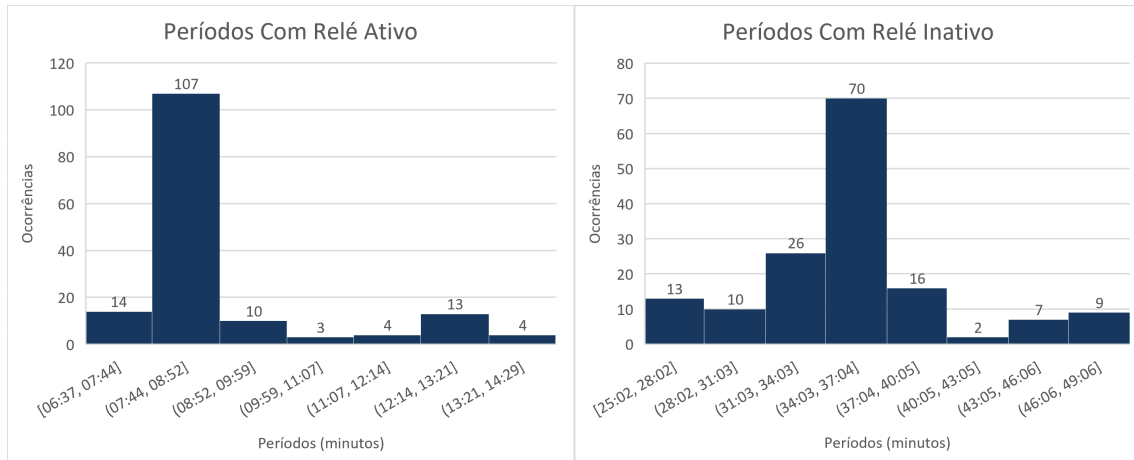


Figura 23 – Histograma dos períodos para retornar à 4.5° C a partir da ativação e dos períodos para atingir 5° C a partir do desligamento. Fonte: O autor

Foram coletados 155 ciclos de ativação com um tempo médio de 08:50 minutos, mínimo de 06:37 e máximo de 13:39 minutos. O quadrante do gráfico à direita, de períodos em estado ativo, com maior número de ocorrências, 107, que compreende os tempos de 07:44 à 08:52 minutos, ficando da média ou abaixo dela, representa 69,03% de todos os ciclos de ativação amostrados.

No gráfico à esquerda, de períodos em estado inativo, podemos observar uma distribuição mais próxima à normal. Contando com 153 ciclos de estado inativo amostrados, temos três quadrantes que compreende de 31:03 minutos à 40:05 minutos, que ficam 04:19 minutos abaixo e 04:43 minutos acima da média de 35:22, representando 73,20% dos ciclos de inatividade.

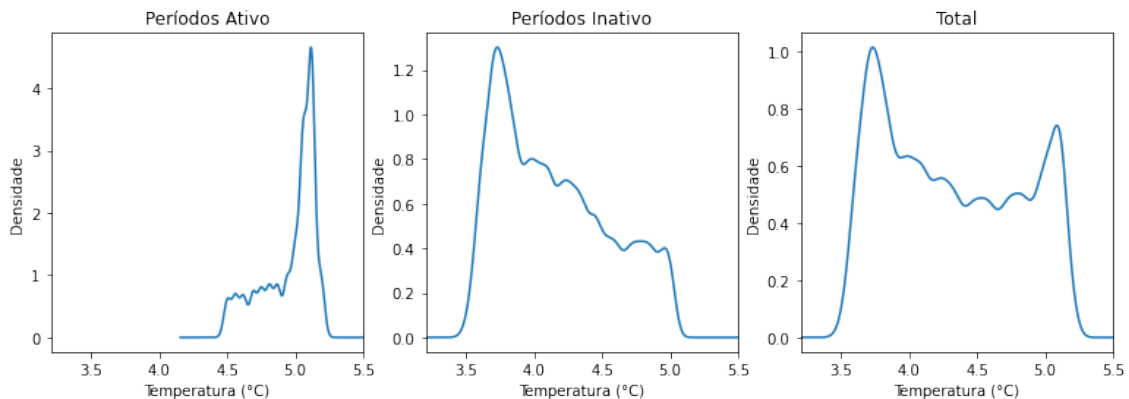


Figura 24 – Densidade de temperaturas amostradas no total e por ciclo. Fonte: O autor

Plotando todos os períodos em gráficos de Estimativa de Densidade por Kernel, temos o comportamento global das temperaturas durante os testes. Na Figura 24 é mostrado três plotagens comparando períodos, em que o relé ficou inativo, ativo e uma combinando o total de amostras. Quanto maior for o valor da densidade, maior foi o tempo que ocorreu

a temperatura. Na Tabela 3 temos um conjunto de dados que nos auxiliam a termos uma melhor observação desses gráficos.

Tabela 3 – Resultados dos testes do cenário 3

	Total		Ciclo Inativo			Ciclo Ativo		
	Amb (° C)	Refr (° C)	Amb (° C)	Refr (° C)	Tempo (min)	Amb (° C)	Refr (° C)	Tempo (min)
Nº Amostras	120220		95931			24289		
Média	27,6	4,3	27,5	4,1	35:22	27,6	5,0	08:50
Desvio Padrão	1,2	0,5	1,1	0,4	01:43	1,2	0,2	01:43
Mínimo	24,4	3,5	24,4	3,5	25:02	24,4	4,5	06:37
Máximo	30,9	5,2	30,9	5,0	49:06	30,9	5,2	13:39

Fonte: O Autor

Para os períodos de atividade, gráfico à esquerda, a densidade vai a 0 quando abaixo de 4,5° C. Apesar de o limite superior para ativamento ser de 5° C, a temperatura continua subindo um pouco além, isso se deve, entre outros fatores, pelo fato de que quando o refrigerador é ligado, não necessariamente será acionado seu compressor.

O mesmo que ocorre com o ciclo de atividade, segue no ciclo de inatividade, gráfico ao centro, a densidade tende a 0 quando chega em 5° C, porém o limiar de 4,5° C é ultrapassado, chegando abaixo de 4° C, inclusive, nessa temperatura temos a maior densidade. Ao chegar no limite inferior o relé é desativado, mas o líquido refrigerante continua pressurizado, isso leva a um resfriamento por um maior tempo. Temos também, em ambos os casos, o problema de condutividade térmica do encapsulamento do sensor.

Observando o gráfico à direita, onde é plotado todas as amostras combinadas, tem-se claramente a visão global do sistema, onde as temperaturas ficaram próximas ou inferiores ao máximo estabelecido, um pouco abaixo do limiar na maior parte do tempo, mas nunca tingindo o mínimo estabelecido pelo [Ministério da Saúde \(2016\)](#), de 4° C com variação de $\pm 2^\circ$ C.

8 Conclusão e Trabalhos Futuros

No cenário de testes apresentado na Seção 7.1 podemos observar o comportamento do refrigerador com aberturas subsequentes e sua queda de desempenho, mas também pôde-se observar que mesmo depois de muitas aberturas, a temperatura retorna aos 6° C com relativa rapidez, ficando mais prejudicado o retorno aos 5° C. Em um cenário real de uso esse tempo de abertura de dois minutos aliado a repetições não é usualmente encontrada. Tem-se quer levar em consideração outros fatores como nível de gelo, temperatura ambiente e umidade, pois esses fatores influenciam nesse comportamento.

Já nos testes do cenário seguinte, obteve-se muitos valores de tempo com alta desuniformidades, isso pode ser devido a aberturas anteriores à cada teste, onde a temperatura deixa de ser uniforme no seu interior. Ainda com essas discrepâncias, os tempos em que o relé fica ativo são bons, visto que as temperaturas se mantêm por pouco tempo no limite superior dos testes. Nos tempos de inatividade, temos boas performances, com os menores tempos representando uma pequena fração.

Para o terceiro cenário, obteve-se um resultado muito mais estável, sendo que, como mostra os gráficos da Figura 24, temos temperatura sempre abaixo do limite estipulado, e

na maior parte do tempo ficando até 1° C abaixo do limiar.

Esses últimos pontos devem ser observados para um aperfeiçoamento da lógica de controle, podendo variar de modelo para modelo e do estado de conservação das vedações de cada refrigerador. Para os períodos de atividade, como não é controlado diretamente o compressor, pode haver um atraso no seu acionamento efetivo.

A aferição de abertura de porta feita com o sensor de luminosidade resistivo se mostrou muito eficaz quando o ambiente estava muito bem iluminado. Quando o ambiente estava apenas com a iluminação artificial, sombras atrapalhavam sua leitura, resultando em falsos-negativos, o uso de um sistema mais sensível, ou outro meio de verificação, se mostra necessário nesses casos.

Os custos de prototipagem do módulo, orçado em lojas do varejo no Brasil, totalizou R\$ 141,32. O kit de desenvolvimento ESP32 foi o item de maior custo, como mostra a Tabela 4, seguido do relé de estado sólido e do *display* OLED. Em uma pesquisa rápida por sites de venda internacional, conseguiu-se um valor muito mais baixo para esses três itens em específico.

Tabela 4 – Custos dos principais componentes utilizado no protótipo.

Item	Qtd.	Custo
ESP32	1	R\$ 41,90
Relé de Estado Sólido	1	R\$ 34,90
DS18B20	2	R\$ 26,24
LDR	1	R\$ 6,42
Buzzer	1	R\$ 2,51
Display	1	R\$ 29,40
Total		R\$ 141,37

Fonte: O Autor

Com base nos resultados discutidos e observando as conclusões aqui expostas, fica evidente que o sistema desenvolvido atinge os objetivos propostos. Os custos foram baixos em relação ao dos refrigeradores específicos que foram cotados nos pregões pesquisados. Não houve a necessidade de alterações no refrigerador para o uso do protótipo. As temperaturas ficaram dentro dos parâmetros da norma.

Os dados obtidos nos cenários de testes realizados podem ser observados para um aperfeiçoamento da lógica de controle, para serem utilizado para o treinamento de algum método de controle com inteligência artificial em trabalhos futuros.

A implementação da aplicação de monitoramento e gerenciamento do módulo proposto no *mockup* apresentado, tem como recurso a visualização de gráfico histórico e informações correntes, porém é possível, em um aperfeiçoamento deste trabalho, adicionar recursos de controle de bolsas de hemocomponentes, estoque de reagentes e amostras. Como pôde-se constatar, esses são pontos de queixas do hospital que ainda usam sistemas manuais para esse controle. Por mais que o ESP32 seja o de maior valor, em uma versão finalizada poderia ser utilizada outra versão ou, até mesmo, um outro microcontrolador.

Em uma aplicação de um sistema embarcado de baixo custo para o monitoramento e controle desses refrigeradores, utilizando a tecnologia IEEE 802.11 já existente, o tráfego de dados da rede seria compartilhado com os dispositivos atuais. Para solucionar possíveis problemas de entrega de pacotes em congestionamentos da rede *wireless*, propõe-se a implementação do protocolo de *Quality of Service* (QoS), no sistema de automação com

base em ESP32.

Para a aplicação em outras realidades de outros hospitais do Brasil ou mesmo do mundo, que podem ser que não se encontre disponível rede WiFi, teria-se a necessidade de se utilizar outros meios de comunicação de dados que cubram essa deficiência, sendo necessária a avaliação da tecnologia substituta.

Alguns outros pontos de melhorias do sistema para trabalhos futuros seriam uma busca por métodos de controle mais eficientes, testes com outros sensores de temperatura adequados ao ambiente, integração com sistemas de centros de hematologia, como o Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina (HEMOSC) no caso do HCSBJP, rastreamento e registro dos hemocomponentes.

Referências

- ALEMÃO, M. M. Financiamento do SUS: Uma discussão sobre a gestão hospitalar. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. *Ciências sociais aplicadas: a sociedade em sua integralidade*. Picaranjuba: Editora Conhecimento Livre, 2021. (1, IV), p. 78–90. Disponível em: <<http://api.conhecimentolivres.org/ecl-api/storage/app/public/L.310-2021.pdf>>. Citado na página 8.
- ALI, R. S. et al. Blood bag: A web application to manage all blood donation and transfusion processes. In: *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. IEEE, 2017. p. 2125–2130. ISBN 978-1-5090-4442-9. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8300136/>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- AMORIM, D. P. L. Análise financeira de hospitais: O caso da santa casa de misericórdia de itaguara financeira. *Revista de Auditoria, Governança e Contabilidade - RAGC*, v. 4, p. 94–16, 5 2016. ISSN 2317-0484. Citado na página 8.
- ARAÚJO, J. M. B. G. de et al. O direito à saúde e o papel do sistema único de saúde em tempos de pandemia no brasil. *Research, Society and Development*, Research, Society and Development, v. 10, n. 11, p. 7, sep 2021. Citado na página 8.
- BASTOS, N. G. D. C. de S. *Projeto de um Conversor A/D por aproximações sucessivas contido em uma etiqueta RFID para o controle da temperatura do sangue*. 84 p. Monografia (Monografia de bacharelado) — Universidade de Brasília, Brasília, 12 2013. Citado na página 9.
- CARVALHO, G. de C. M. *O financiamento público federal do Sistema único de Saúde - 1988-2001*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Citado na página 8.
- CORRÊA, R.; RITTA, C. D. O. Análise da situação financeira de capital de giro de um hospital filantrópico do sul do Brasil. *RAHIS*, RAHIS - Revista de Administração Hospitalar e Inovação em Saúde, v. 14, 5 2018. ISSN 1983-5205. Disponível em: <<http://revistas.face.ufmg.br/index.php/rahis/article/view/4710>>. Citado na página 8.
- EDWARD, M.; KARYONO, K.; MEIDIA, H. Smart fridge design using nodemcu and home server based on raspberry pi 3. In: . IEEE, 2017. v. 2018-January, p. 148–151. ISBN 978-1-5090-6282-9. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8266047/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- KARVOUNIS, E. et al. A hospital healthcare monitoring system using internet of things technologies. In: *2021 6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*. IEEE, 2021. p. 1–6. ISBN 978-1-6654-2742-5. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9566252/>>. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 16.
- KAUR, A.; JASUJA, A. Health monitoring based on IoT using raspberry PI. In: *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation*

- (*ICCCA*). IEEE, 2017. p. 1335–1340. ISBN 978-1-5090-6471-7. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8230004/>>. Citado na página 17.
- MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. In: *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. IEEE, 2017. p. 143–148. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8101926/>>. Citado na página 17.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria N° 158*. 25. ed. Brasília, 2016. 89 p. Diário Oficial da União. Citado 5 vezes nas páginas 9, 10, 11, 12 e 29.
- MORAIS, L. R. de S. et al. Desenvolvimento de um sistema refrigerador monitorado para vacinação e amostras biológicas. In: *2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*. IEEE, 2021. p. 338–343. ISBN 978-1-6654-4118-6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9529879/>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- NUNES, H. F. *Responsabilidade Civil e a Transfusão de Sangue*. 170 p. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Citado na página 9.
- OECD. *Improving Health Sector Efficiency: The Role of Information and Communication Technologies*. Paris: OECD, 2010. 156 p. ISBN 9789264084605. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/improving-health-sector-efficiency_9789264084612-en>. Citado na página 8.
- PRASATH, T. et al. Device for monitoring blood components using sensors. In: *2021 Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*. IEEE, 2021. p. 457–462. ISBN 978-1-6654-2867-5. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9533027/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- QUINTANA, M. L. Q.; ATEA, J. J.; FRATTARI, S. R. de. Registro de temperatura de envíos de hemocomponentes. In: *2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*. IEEE, 2014. p. 344–347. ISBN 978-1-4799-4269-5. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6868517/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- RAIMUNDINI, S. L. et al. Aplicabilidade do custeio baseado em atividades e análise de custos em hospitais públicos. *Revista De Administração*, v. 41, p. 453–465, 5 2006. Disponível em: <<https://revistas.face.ufmg.br/index.php/contabilidadevistaerevista/article/view/283>>. Citado na página 8.
- RIVERA-LÓPEZ, M. R. F. et al. Contaminación bacteriana de hemocomponentes. *Revista mexicana de patología clínica*, Cidade do México, v. 58, p. 151–155, 7 2011. ISSN 0185-6014. Citado na página 9.
- SILVA, J. R. C. D.; SOARES, F.; ROCHA, A. Sistema para automação do monitoramento de temperatura em estabelecimentos assistenciais de saúde. In: . Porto de Galinhas: [s.n.], 2012. p. 596–600. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/296705513>>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 13 e 16.
- SOUZA, A. A. de Souza de et al. Uma análise financeira do hospital metropolitano de urgência e emergência. *IX Convibra Administração – Congresso Virtual Brasileiro de Administração*, 2012. ISSN 2179-5967. Disponível em: <https://convibra.org/publicacao/get/2012_33_5276.pdf>. Citado na página 8.