

# Implementação de Internet das Coisas no Monitoramento de Vacinas e Ensumos Biológicos

Gabriel de Lima e Silva  
João Edinaldo Gomes do Santos  
Antonio Gabriel Araújo  
Jonathan Souto

<sup>1</sup>Instituto federal da Paraíba, Campus Campina Grande (IFPB)  
58.432-300 – Campina Grande – PB – Brazil

**Abstract.** *The article addresses the use of IoT technology to monitor and control the temperature of vaccine batches, which is extremely relevant to prevent vaccines from spoiling. During the COVID-19 pandemic, there were cases of vaccines being damaged due to temperature control issues, which resulted in a large loss of doses and, consequently, reduced effectiveness of the vaccination program. IoT technology can help prevent this type of problem, allowing continuous monitoring of the temperature of vaccine batches and alerting responsible professionals in case of any significant variation. This way, you can act quickly to prevent vaccines from spoiling and ensure the effectiveness of the vaccination program. The article therefore emphasizes the importance of using IoT technology to control the temperature of vaccine batches and how this can significantly contribute to preserving the quality and efficacy of vaccines.*

**Resumo.** *O artigo aborda o uso da tecnologia IoT para monitorar e controlar a temperatura de lotes de vacinas, o que é extremamente relevante para evitar que as vacinas estraguem. Durante a pandemia de COVID-19, houve casos de vacinas que foram danificadas devido a problemas de controle de temperatura, o que resultou em uma grande perda de doses e, conseqüentemente, na redução da eficácia do programa de vacinação. A tecnologia IoT pode ajudar a prevenir esse tipo de problema, permitindo o monitoramento contínuo da temperatura dos lotes de vacinas e alertando os profissionais responsáveis em caso de qualquer variação significativa. Dessa forma, é possível agir rapidamente para evitar que as vacinas estraguem e garantir a eficácia do programa de vacinação. O artigo ressalta, portanto, a importância do uso da tecnologia IoT para o controle de temperatura de lotes de vacinas e como isso pode contribuir significativamente para a preservação da qualidade e eficácia das vacinas.*

## 1. Introdução

A manipulação genética é um marco tecnológico de extrema importância do último século, impulsionando avanços significativos na criação de vacinas. Essa abordagem revolucionária tem contribuído de maneira fundamental para a prevenção e combate a doenças, proporcionando esperança e bem-estar à humanidade.. Mas mesmo com tais avanços, outros desafios surgem e se fazem inerentes na busca do aperfeiçoamento do uso das bases tecnológicas. Nesse contexto, pode ser citado como um dos principais,

a alta sensibilidade dos insumos ao meio em que estão sendo armazenados, refletindo diretamente na sua integridade, e assim, na possibilidade de seu uso. Tratando de vacinas, a fim de manter sua capacidade imunogênica, deve ser garantido que seu armazenamento deve ser feito em local que conte com condições favoráveis de umidade e proteção contra a luz, além de ser essencial que seja mantido um nível de temperatura entre +2°C e +8 °C, conforme preconiza o PNI. Para tanto, o controle e monitoramento diário da temperatura acabam sendo obrigatório nos equipamentos das instâncias de armazenamento[Ministério da Saúde (BR) 2017]. Rotinas deste caráter, representam problemáticas enfrentadas diariamente por profissionais na área da saúde, principalmente os que atuam na vertente pública da prestação do serviço. Levando isso em consideração, e atenuando conceitos de ‘Internet das coisas’, que tem sido um dos pilares da indústria 4.0, entende-se a possibilidade de desenvolvimento de uma aplicação que contribuirá na diminuição das dificuldades enfrentadas nas instâncias de armazenamento.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Internet das coisas**

Internet das coisas foi um termo concebido/criado em 1999 por Kevin Ashton. Cientista da computação que pesquisava uma solução na distribuição de produtos da empresa P&G usando etiquetas de identificação, que contribuíram no monitoramento de informações como identificação de lotes e localização. o conceito geral da Internet das Coisas pode ser considerado aquele que transforma objetos físicos, tradicionais do dia a dia, em inteligentes, fazendo isso por meio da exploração de bases tecnológicas como sistemas embarcados, tecnologias de comunicação ,fazendo com que os objetos físicos vejam, ouçam, tomem decisões, executem tarefas, “conversem”, compartilhem informações e coordenam decisões[Al-Fuqaha 2015].

### **2.2. Websockets**

Os WebSockets são um protocolo de comunicação bidirecional e em tempo real, que permite uma conexão persistente e de baixa latência entre um cliente e um servidor. Diferente do protocolo HTTP tradicional, os WebSockets permitem uma comunicação contínua, ideal para aplicações que exigem atualizações em tempo real, como bate-papos, jogos online e notificações em tempo real. Os WebSockets utilizam o protocolo HTTP para estabelecer a conexão inicial e, em seguida, criam um canal de comunicação persistente, permitindo a troca de mensagens em ambas as direções a qualquer momento.[Mozilla Developer Network (MDN) 2023]

### **2.3. Http**

O HTTP (Hypertext Transfer Protocol) é um protocolo de comunicação utilizado na World Wide Web para transferir informações entre um cliente e um servidor. Ele opera em um modelo de solicitação e resposta, em que o cliente envia uma solicitação ao servidor e o servidor responde com os dados solicitados. O HTTP é amplamente utilizado para acessar e interagir com recursos da web, como páginas da web, imagens e arquivos.[RFC 2616 1999]

## **2.4. Gateway**

O gateway IoT desempenha um papel inteligente e pode ser utilizado em aplicações de Edge Computing. Ele direciona a troca de dados entre os dispositivos e o CLP responsável pelo processo, em vez de armazená-los em um banco de dados ou na nuvem. Isso evita o acúmulo de informações desnecessárias fora dos dispositivos e atrasos na comunicação. O gateway atua como um filtro, removendo as informações rotineiras que não são relevantes para o funcionamento dos equipamentos e transmitindo apenas dados incomuns ou críticos, garantindo que o sistema não seja sobrecarregado.[ALTUS S.A 1999]

## **2.5. Node**

No contexto da Internet das Coisas (IoT), um node (nó) é um dispositivo individual conectado à rede que desempenha um papel ativo na coleta e transmissão de dados. Um node IoT pode ser um sensor, atuador ou qualquer outro dispositivo capaz de adquirir informações do ambiente ou interagir com ele. Esses nodes são componentes fundamentais em uma rede IoT, permitindo a troca de dados, o processamento local e a tomada de decisões autônomas. Eles podem operar com eficiência energética, possuir recursos de conectividade e serem projetados para diversas aplicações, como monitoramento ambiental, saúde, automação residencial, entre outros.[Li, S. and Da Xu, L. and Zhao, S. 2015]

## **2.6. Cloud**

A computação em nuvem, ou cloud computing, é um modelo de entrega de serviços de computação através da internet. Nesse modelo, recursos como armazenamento, processamento e aplicativos são disponibilizados sob demanda, permitindo acesso flexível e escalável aos usuários. A computação em nuvem elimina a necessidade de investir em infraestrutura local, oferecendo benefícios como escalabilidade, alta disponibilidade, compartilhamento de recursos e gerenciamento simplificado. Os serviços em nuvem são categorizados em três modelos principais: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) e Software as a Service (SaaS).[Armbrust, M. and Fox, A 2010]

## **3. Metodologia**

Nessa seção, serão descritos os passos do desenvolvimento da pesquisa, os quais foram divididos em quatro etapas: definição do escopo, definição da arquitetura e tecnologias, implementação do hardware e desenvolvimento da aplicação mobile.

### **3.1. Análise da problemática**

Os aspectos levados em conta para embasar as motivações do desenvolvimento foram compreendidos principalmente através de pesquisas relacionadas aos impactos que variação de temperatura podem trazer na logística empregada ao redor do consumo de vacinas e insumos biológicos, junto com relatos de profissionais atuantes da área. A partir das pesquisas foi possível concluir uma certa inconsistência nos dados durante o período de pandemia, portanto para um melhor embasamento, foram utilizados dados datados de antes dela. A utilização de dados pré-pandemia permitiu uma análise mais precisa dos desafios inerentes ao armazenamento e abriu caminho para pesquisas adicionais que levem em conta o contexto atual e suas particularidades. Uma pesquisa executada nos anos de 2020 e 2021, levantou uma análise de notificações de alterações de temperatura de temperatura utilizadas pelo Grupo de Vigilância Epidemiológica XXIX de São José do Rio

Preto, entre 2010 e 2017[FS 2020]. Os resultados da pesquisa trazem dados alarmantes a respeito do impacto que as alterações de temperatura trouxeram para o estoque de vacinas do município, este que tem em média 460 mil habitantes. Os resultados apontam que durante o intervalo analisado, as notificações de alteração de temperatura englobam cerca de 398 mil doses, das quais cerca de 164 mil doses acabaram tendo sua capacidade imunogênica comprometida, acarretando em descarte. Também é possível ressaltar a informação de que das 341 notificações recebidas nesse período, 239, apontam que a causa por trás da alteração da temperatura está ligada a problemas estruturais como falta de energia elétrica e alteração na regulagem do termostato do dispositivo usado como armazenamento.

Ano da Notificação	Número de Notificações	Total de Doses	Doses Perdidas		Doses Utilizadas	
			nº	%	nº	%
2010	32	52.245	18.701	35,8	33.544	64,2%
2011	32	29.773	13.204	44,3	16.569	55,6
2012	38	25.151	9.271	36,9	15.880	63,1
2013	47	48.784	19.230	39,4	29.554	60,6
2014	41	42.754	19.591	45,8	23.163	54,2
2015	55	84.707	20.104	23,7	64.603	76,3
2016	53	61.974	34.573	55,8	27.401	44,2
2017	43	52.948	30.188	57,0	22.760	43,0
Total	341	398.336	164.862	41,4	233.474	58,6
Média	42,6	49.792	20.608	41,4	29.184	58,6

**Figura 1. Tabela da relação entre doses perdidas e utilizadas, englobadas em notificações de alteração de temperatura[FS 2020]**

A perspectiva de defasamento na execução dos processos de controle e registro das condições de armazenamento é evidenciada pelos relatos dos profissionais responsáveis por essas tarefas. Muitos profissionais ainda dependem de métodos manuais para aferir a temperatura e registrar os dados no software disponibilizado pelo Programa Nacional de Imunizações (PNI). Essa abordagem tradicional pode ser trabalhosa e propensa a erros, comprometendo a eficiência e confiabilidade do controle do armazenamento. A necessidade de que um profissional, periodicamente, se dedique exclusivamente a execução dessa rotina, aumenta a demanda de recursos humanos. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções inovadoras que otimizem o processo de controle e registro, que principalmente sejam capazes de automatizar as rotinas manuais. Essas soluções além de simplificar e agilizar o processo, tem enorme potencial de reduzir erros além de fornecer relatórios mais precisos para o monitoramento eficaz do armazenamento das vacinas.

### 3.2. Definição do escopo

A etapa inicial do processo, foi definir qual escopo que seria executado nesta versão da aplicação, para ser possível pensar na arquitetura, tecnologias e sensores seriam necessários para contemplar o serviço, chegou-se a consenso de criar uma aplicação capaz de monitorar em tempo real as temperaturas, podendo haver também a possibilidade de visualização a partir de gráficos do histórico dessas temperaturas.

### 3.3. Definição da arquitetura e tecnologias

Com o escopo fechado que a aplicação IoT, começamos a pensar na arquitetura e tecnologias utilizadas para resolver o problema, foi decidido que para utilizar como gateway

e nós, foi escolhido usar ESP8266[Espressif Systems 2022b], por serem de custo baixo, possuírem conectividade WI-FI, e a aplicação não requisitar grande poder computacional.

Para coletar a temperatura, o sensor escolhido foi o DS18B20[Maxim Integrated 2022] à prova d'água, por se tratar de um componente mais resistente e mais preciso que o seu modelo tradicional, com ele é possível também além de monitorar temperatura de líquidos, além do sistema de aquecimento e resfriamento.

Com os hardwares definidos, começou a ser pensando as tecnologia alto nível para serem utilizadas para comunicação entre os componentes, e foi estabelecido que entre o node e o gateway, a comunicação irá ocorrer utilizando ESP-NOW[Espressif Systems 2022a], pois desta forma se tem um baixo consumo de energia, comunicação direta entre dispositivos ESP e com baixa latência.

**Tabela 1. Componentes**

Quantidade	Nome
1	Sensor de temperatura
2	ESP-32
1	Dispositivo celular

Como servidor de nuvem para realizar o armazenamento foi escolhido o Google Firebase[Firebase 2022], por oferecer diversas funcionalidades de fácil implementação como o Real Time database, que foi utilizado para mandar informações em tempo real para aplicação Mobile.

Para enviar os dados do gateway para o firebase, foi feita uma comunicação HTTP, onde periodicamente o gateway manda uma requisição com as novas informações.

Por último a ser definido, foi a tecnologia para implementação do aplicativo mobile onde é possível realizar o monitoramento, e por sua vez foi escolhido o Flutter, por se tratar de uma tecnologia híbrida para desenvolver em uma única base de código a aplicação tanto para iOS quanto Android, e de fácil implementação com Firebase.

**Tabela 2. Protocolos**

Nome	Utilidade
HTTP	Protocolo utilizado para enviar dados do gateway para o clouding
ESP NOW	Protocolo utilizado para enviar os dados do(s) node(s) para o gateway
WEBSOCKET	Conexão bidirecional de baixa latência utilizado para enviar dados em tempo real

### 3.4. Implementação do hardware

Foi utilizado o ESP-32 tanto para o node quanto para o gateway, aqui será descrito como foi a implementação de cada um deles:

O node, é o equipamento que fica acoplado no recipiente que possui os insumos, ele fica responsável por coletar o valor medido pelo sensor, essa comunicação entre o sensor e o ESP é chamada de One-Wire, um protocolo de comunicação que permite a

transferência de dados usando apenas um fio de comunicação, simplificando a conectividade entre dispositivos, por sua vez ao coletar, essa informação, é responsável por mandar junto com sua identificação para o gateway.

Por sua vez, o gateway faz uso da biblioteca ESP-NOW, onde dispõe de uma rede onde os nodes são capazes de se conectar e ela, funcionando como um servidor, onde fica aguardando as conexões, e periodicamente de cada conexão recebida ele espera recebe dois dados, um valor numérico representando a temperatura, e um valor textual com identificador do nó que mandou essa temperatura, ao receber e validar que são dados válidos, ele realiza o envio para o Firebase junto com a data e hora do acontecimento.

### **3.5. Desenvolvimento da aplicação mobile**

Na última etapa, foi desenvolvido a aplicação mobile. Esta dispõe de um leque de funcionalidades características da solução proposta. Estas foram divididas em módulos, onde cada um desse teria seu próprio escopo de atuação, entre eles estão: monitoramento; gerenciamento de usuários; processamento de dados e geração de registros.

O módulo de monitoramento é o responsável pela comunicação em tempo real com a plataforma de clouding. Através da conexão em tempo real, possibilita o usuário a aferir a temperatura a qualquer momento, além de gerar alertas caso alguma alteração crítica de temperatura ocorra.

O módulo de gerenciamento de usuário usa da abordagem de interface de aplicação conhecida como Restful API, que possibilita um leque de funcionalidades no âmbito de gerência de usuários, dentre elas cadastrar e relacionar usuários a responsabilidade de monitoramento de determinadas instâncias.

O módulo de gerenciamento de dados é o responsável por oferecer uma camada de processamento dos dados gerados a partir das aferições de temperatura. Dentre as possibilidades desta camada estão utilidades como, informações responsáveis pela plotagem de gráficos; checagem de menor e maior temperatura de determinado dia; filtragem das informações por determinado dia.

O módulo de geração de registros é o responsável por gerar documentos utilizados na validação do controle das condições de armazenamento, segundo especificações da PNI.

## **4. Resultados**

Os resultados revelaram que a aplicação móvel permitiu o monitoramento em tempo real das temperaturas dos contêineres de vacina. Isso trouxe maior segurança no monitoramento, uma vez que o celular pode ajudar a notificar imediatamente caso algo esteja fora do comum, agilizando a detecção de problemas que poderiam passar despercebidos pelo ser humano sozinho. Essa abordagem resultou em uma redução significativa do número de vacinas perdidas devido a danos causados por temperaturas inadequadas.

Além disso, a capacidade de visualizar as mudanças de temperatura ao longo do tempo oferece oportunidades valiosas. A geração de relatórios detalhados permite um melhor entendimento dos horários em que ocorreram as variações de temperatura. Essa informação pode ser correlacionada com eventos ou circunstâncias do mundo real durante o mesmo período, o que ajuda a mitigar problemas e evitar recorrências no futuro.



**Figura 2. Esp 32**

Esses benefícios oferecidos pela aplicação mobile permitem um monitoramento mais eficiente e preciso das condições dos contêineres de vacina, garantindo a integridade das vacinas e contribuindo para a redução das perdas decorrentes de danos causados por temperaturas inadequadas.

## **5. Trabalhos Futuros**

Em futuros trabalhos, é possível explorar a adição de atuadores à aplicação móvel existente. No momento, a aplicação consegue identificar variações de temperatura inadequadas nos contêineres de vacina. No entanto, com a inclusão de atuadores, a aplicação teria a capacidade de ir além do monitoramento e tomar medidas corretivas em tempo real.

Por exemplo, se a temperatura fosse detectada como muito alta, a aplicação poderia acionar um mecanismo para aumentar o resfriamento do contêiner, assegurando que a temperatura volte ao nível adequado. Da mesma forma, se a temperatura estivesse muito baixa, a aplicação poderia acionar um mecanismo para diminuir o resfriamento e evitar danos às vacinas.

Ao integrar atuadores à aplicação móvel, seria possível ter uma resposta imediata e automatizada às variações de temperatura, resultando em um controle mais preciso do ambiente de armazenamento das vacinas. Isso garantiria que as condições ideais de temperatura fossem mantidas e reduziria ainda mais os riscos de perda de vacinas devido a condições inadequadas.

Essa abordagem aumentaria a eficiência e a eficácia do sistema de monitoramento, permitindo uma resposta proativa e automatizada para garantir a integridade das vacinas e minimizar os riscos relacionados às variações de temperatura.

Além da adição de atuadores, um trabalho futuro interessante seria incluir a detecção de luminosidade à aplicação móvel. Isso permitiria monitorar não apenas as variações de temperatura, mas também as condições de luminosidade dos contêineres de vacina.



**Figura 3. Esp 32**

A exposição a luminosidade inadequada pode ser prejudicial para as vacinas. A luz excessiva, especialmente a luz solar direta, pode acelerar o processo de degradação das vacinas, reduzindo sua eficácia. Portanto, é essencial monitorar e controlar a luminosidade para garantir a qualidade das vacinas ao longo do tempo.

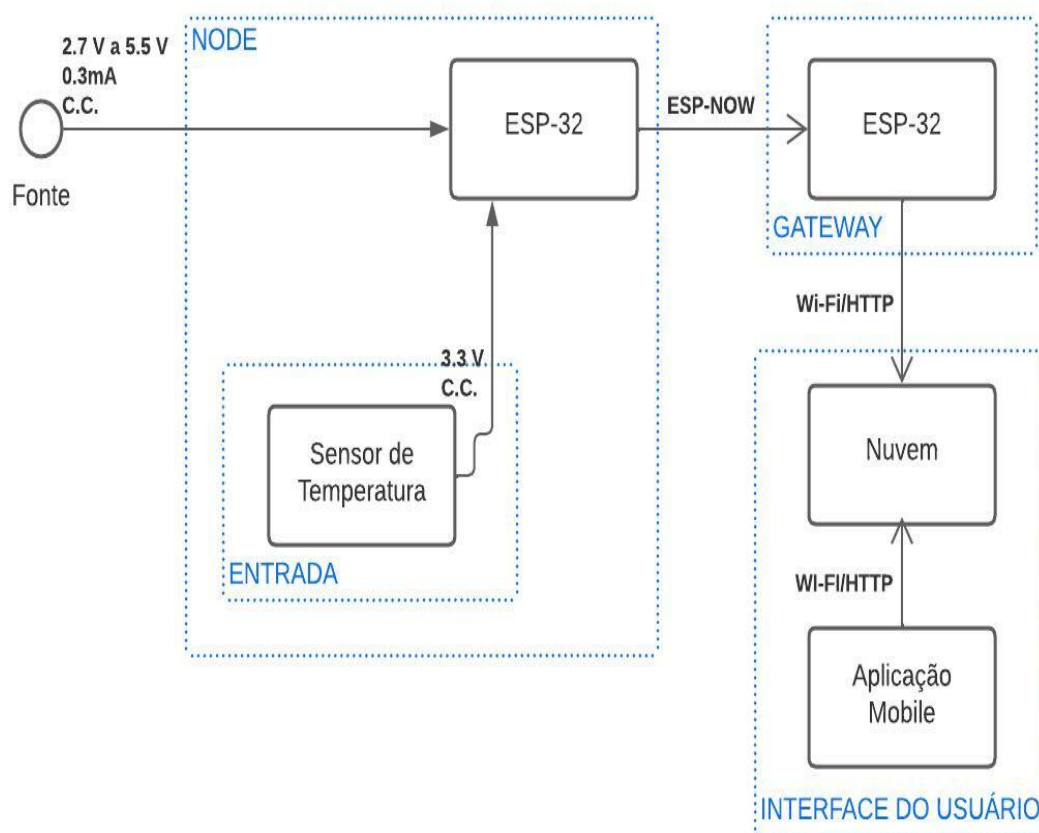
Ao adicionar a detecção de luminosidade à aplicação móvel, seria possível receber alertas e notificações caso os contêineres de vacina estejam expostos a uma luminosidade excessiva ou inadequada. Dessa forma, seriam tomadas medidas corretivas, como reposicionar os contêineres em locais mais escuros ou usar proteção adequada contra a luz, a fim de evitar danos às vacinas.

Portanto, a incorporação da detecção de luminosidade na aplicação móvel ampliaria a capacidade de monitoramento abrangente, fornecendo informações essenciais sobre as condições de armazenamento das vacinas. Isso ajudaria a mitigar os riscos relacionados à exposição inadequada à luz e contribuiria para a preservação da qualidade e eficácia das vacinas ao longo do tempo.

## **Referências**

- Al-Fuqaha, A. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. pages 1–2. IEEE COMMUNICATION SURVEYS TUTORIALS, VOL. 17, NO. 4.
- ALTUS S.A (1999). A VERSATILIDADE DO GATEWAY IOT. <https://www.altus.com.br/post/431/a-versatilidade-do-gateway-iot#:~:text=Termo%20em%20ingl%C3%AAs%20para%20%E2%80%9Cport%C3%A3o,e%20troquem%20dados%20entre%20si.>
- Armbrust, M. and Fox, A (2010). A View of Cloud Computing. *Communications of the ACM*, 53(4):50–58.





**Figura 4. Diagrama de topologia**

Espressif Systems (2022a). ESP-NOW Documentation. [https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp\\_now.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html).

Espressif Systems (2022b). ESP32 Datasheet. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).

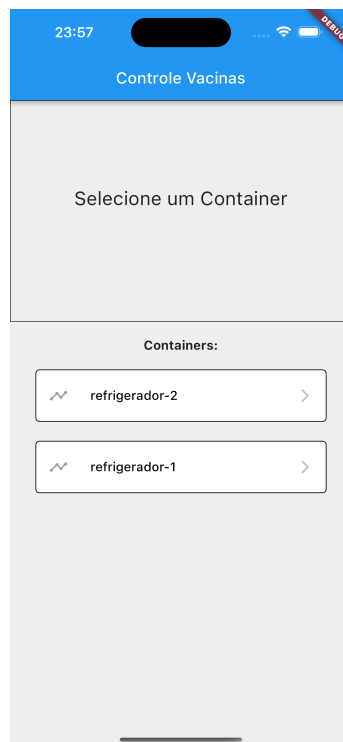
Firebase (2022). Firebase Documentation. <https://firebase.google.com/docs>.

FS, P. (2020). Análise da perda de vacinas por alteração de temperatura. pages 1–2. REBEN.

Li, S. and Da Xu, L. and Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A Survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2):243–259.

Maxim Integrated (2022). DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

Ministério da Saúde (BR), S. d. V. e. S. (2017). Manual de rede de frio do programa nacional de imunizações.



**Figura 5. Lista de Containers**

Mozilla Developer Network (MDN) (Acessado em 2023). WebSockets API. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API).

RFC 2616 (1999). Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2616>.

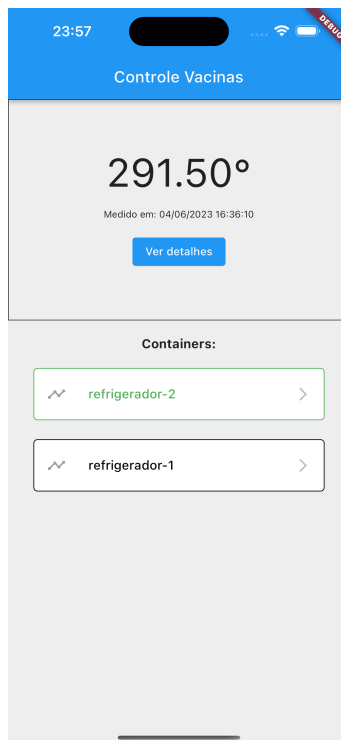


Figura 6. Temperatura em tempo real

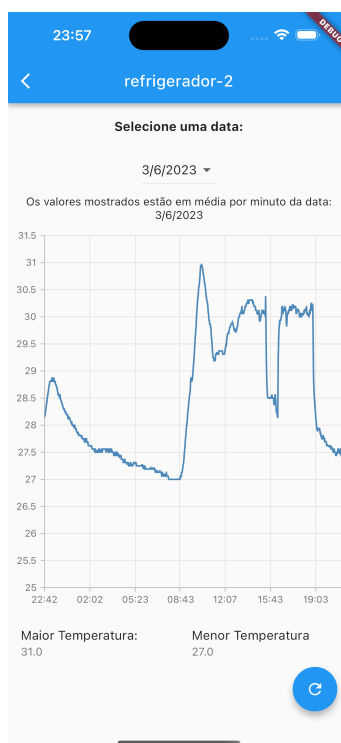


Figura 7. Gráfico durante o tempo



**Figura 8. Seletor de dada do gráfico**