



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Matheus Passos Vaz

**Sistema de Medição IOT e Gestão do Consumo de Gás Medicinal em Beira Leito  
utilizando protocolo LoRaWAN**

Florianópolis  
2021

Matheus Passos Vaz

**Sistema de Medição IOT e Gestão do Consumo de Gás Medicinal em Beira Leito  
utilizando protocolo LoRaWAN**

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. Carlos Barros Montez, Dr.  
Supervisor: Victor Rocha Pusch, Eng.

Florianópolis  
2021

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

Passos Vaz, Matheus

Sistema de Medição IOT e Gestão do Consumo de Gás Medicinal em Beira Leito utilizando protocolo LoRaWAN / Matheus Passos Vaz ; orientador, Carlos Barros Montez, 2021.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. LoRaWAN. 3. LoRa. 4. internet das coisa. I. Barros Montez, Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

Matheus Passos Vaz

**Sistema de Medição IOT e Gestão do Consumo de Gás Medicinal em Beira Leito  
utilizando protocolo LoRaWAN**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Florianópolis, 27 de setembro de 2021.

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

Prof. Carlos Barros Montez, Dr.  
Orientador  
UFSC/CTC/DAS

Victor Rocha Pusch, Eng.  
Supervisor  
Sensorweb

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Dr.  
Avaliador  
UFSC

Prof. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira, Dr.  
Presidente da Banca  
UFSC/CTC/DAS



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à minha família por sempre me apoiar nas minhas decisões, em especial meu pai e minha mãe, que me ajudaram sempre, e ao meu irmão, pelos ensinamentos que me passou. Gostaria de agradecer à empresa Sensorweb pela oportunidade da realização do estágio e aos colegas de trabalho pelos ensinamentos. Gostaria de agradecer ao Professor Calos Montez pela orientação, e agradecer a Victor e Tiago por me orientar durante o trabalho.



## RESUMO

Com o avanço da tecnologia e o crescimento do uso da Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT), a área da saúde tem se desenvolvido, atualmente, em processos digitais e monitoramentos inteligentes. Neste contexto, a empresa Sensorweb se encaixa com soluções com base na Internet das Coisas, dando foco à área da saúde; a empresa investe em novas tecnologias e novos produtos, sendo o seu principal produto o monitoramento de temperatura de freezer e geladeiras de hospitais, farmácias e demais centros da saúde. Neste caminho, este Projeto de Fim de Curso visa o desenvolvimento de um sistema de monitoramento IoT para gases medicinais, dado que esse tipo de monitoramento, nos dias atuais, ainda é realizado, na maior parte, através de processos manuais e a pela utilização de pranchetas para anotações, com medições imprecisas e aproximadas, o que dificulta a cobrança por planos de saúde e pacientes. O projeto resultou em um sistema de monitoramento de gases medicinais utilizando a tecnologia de comunicação LoRaWAN para a transmissão dos dados para a plataforma da empresa. Os requisitos propostos foram cumpridos, resultando em um equipamento compacto e autônomo, não necessitando fontes externas para sua alimentação.

**Palavras-chave:** LoRaWAN. LoRa. internet das coisa.

## **ABSTRACT**

With the advancement of technology and the growth in the use of the Internet of Things (IoT), the healthcare area has currently developed in digital processes and intelligent monitoring. In this context, the company Sensorweb fits in with solutions based on the Internet of Things, focusing on the health area; the company invests in new technologies and new products, its main product being the temperature monitoring of freezers and refrigerators in hospitals, pharmacies and other health centers. In this way, this End of Course Project aims at the development of an IoT monitoring system for medicinal gases, given that the monitoring of medicinal gases, nowadays, is still carried out, for the most part, through manual processes and by the use from clipboards to notes, with inaccurate and approximate measurements, which makes it difficult to charge for health plans and patients. The project resulted in a medical gas monitoring system using LoRaWAN communication technology to transmit data to the company's platform. The proposed requirements were fulfilled, resulting in a compact and autonomous equipment, not requiring external sources for its power.

**Keywords:** LoRaWAN. LoRa. internet of things.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração do princípio da medição de vazão por massa térmica.	21
Figura 2 – Escoamento interno através de um bocal genérico . . . . .	22
Figura 3 – Diagrama de conexão I2C genérico . . . . .	25
Figura 4 – Implementação típica da rede LoRaWAN . . . . .	26
Figura 5 – Equipamento instalado em um leito de hospital . . . . .	28
Figura 6 – Sensor acoplado a saída de oxigênio com fluxômetro . . . . .	29
Figura 7 – Esquema elétrico do projeto . . . . .	32
Figura 8 – <i>shield</i> para acoplar a placa de desenvolvimento no sensor . . . . .	33
Figura 9 – Fluxograma do <i>firmware</i> desenvolvido . . . . .	34
Figura 10 – Fluxograma da aquisição de dados . . . . .	35
Figura 11 – Exemplo do <i>payload</i> . . . . .	36
Figura 12 – Fluxograma para codificação dos dados . . . . .	36
Figura 13 – Fluxograma da Configuração e envio pelo protocolo LoRaWAN . . . . .	37
Figura 14 – <i>Gateway</i> da Khomp ITG 200 . . . . .	38
Figura 15 – Diagrama de sequencia . . . . .	39
Figura 16 – Plataforma Endrixx, decodificação do <i>payload</i> . . . . .	40
Figura 17 – Plataforma Endrixx, painel de usuário . . . . .	40
Figura 18 – Plataforma Endrixx, detalhamento do gráfico . . . . .	41
Figura 19 – Dispositivo . . . . .	42
Figura 20 – Dispositivo . . . . .	43
Figura 21 – Gabinete para o projeto . . . . .	44
Figura 22 – Gabinete para o projeto . . . . .	45
Figura 23 – Log de dispositivos conectados no <i>gateway</i> . . . . .	47
Figura 24 – Dados recebidos do <i>gateway</i> pelo protocolo MQTT dentro do Endrixx	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado dos ensaios . . . . .	46
Tabela 2 – Resultado do teste de distância máxima . . . . .	48
Tabela 3 – Resultado do consumo . . . . .	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IOT	<i>Internet of Things</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
LORA	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network)</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
GPS	<i>Global positioning system</i>
ABP	<i>Activating a device by personalization</i>
OTAA	<i>Over-the-Air Activation</i>
SDA	<i>Serial data line</i>
SCL	<i>Serial clock line</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
SDK	<i>Vehicle control unit</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVO	16
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	METODOLOGIA	17
1.5	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	17
<b>2</b>	<b>SENSORWEB</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
3.1	INTERNET DAS COISAS - IOT ( <i>INTERNET OF THINGS</i> )	20
3.2	MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GASES	20
<b>3.2.1</b>	<b>Massa térmica</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Medição por pressão diferencial</b>	<b>21</b>
3.3	<i>HARDWARE</i>	23
<b>3.3.1</b>	<b>ESP32</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2</b>	<b>AXP192</b>	<b>23</b>
<b>3.3.3</b>	<b>SX1276</b>	<b>24</b>
3.4	COMUNICAÇÃO	24
<b>3.4.1</b>	<b>I2C (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2</b>	<b>MQTT (<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>)</b>	<b>25</b>
3.5	LORA	26
<b>3.5.1</b>	<b>LoRaWAN</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DO PROBLEMA</b>	<b>28</b>
4.1	VISÃO GERAL	28
4.2	PROBLEMAS RELATADOS	29
4.3	NOVOS REQUISITOS	30
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>31</b>
5.1	MÉTODOS UTILIZADOS	31
5.2	VISÃO GERAL	31
5.3	<i>HARDWARE</i>	32
5.4	<i>FIRMWARE</i>	33
<b>5.4.1</b>	<b>Aquisição de dados do sensor</b>	<b>34</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Processamento de dados</b>	<b>35</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Configuração LoRaWan</b>	<b>36</b>
5.5	TOPOLOGIA LORAWAN	37
<b>5.5.1</b>	<b>Interface Web</b>	<b>39</b>
5.6	DESIGN	40
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>46</b>

6.1	VALIDAÇÃO DOS DADOS DO SENSOR . . . . .	46
6.2	CONEXÃO LORAWAN . . . . .	46
6.3	DISTÂNCIA MÁXIMA DE ALCANCE DA REDE LORA . . . . .	48
6.4	CONSUMO . . . . .	48
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>50</b>
7.1	PERSPECTIVAS FUTURAS . . . . .	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente complexidade dos sistemas de saúde, à nível global, e ao fato da medicina moderna estar se transformando em uma ciência com uso intensivo de dados, as abordagens tradicionais para lidar com este *big data* não conseguem acompanhar a demanda, o que aumenta o risco da entrega de resultados insatisfatórios. Consequentemente, para lidar com a crescente e constante quantidade de dados, as abordagens inteligentes são vitais (HOLZINGER; RÖCKER; ZIEFLE, 2015).

Os recentes avanços tecnológicos em sensores e em rede, circuitos integrados de baixa potência e comunicações sem fio, permitiram o projeto de baixo custo, em miniatura, de sensores fisiológicos leves e inteligentes. Todos esses desenvolvimentos deixam grandes expectativas para o futuro: ambientes inteligentes serão capazes de rastrear automaticamente a saúde das pessoas e irá, até certo ponto, mudar o ponto de atendimento de consultórios clínicos. Há uma clara mudança no paradigma da medição explícita dos sinais vitais da saúde. Além disto, os consumidores tendem a gostar, cada vez mais, a tornar-se gestores de sua própria saúde e participar ativamente em cuidados de saúde (HOLZINGER; RÖCKER; ZIEFLE, 2015).

O uso de gases medicinais é essencial para intervenções médicas adequadas em hospitais e centros de saúde, fornecendo vantajosas propriedades anestésicas, analgésicas e respiratórias, favorecendo no âmbito de diagnóstico, de tratamento, na prevenção ou alívio de doenças. Assim, os gases são atualmente classificados como medicamentos especiais. Conforme referido, em hospitais e outras instituições de saúde, os gases medicinais mais amplamente utilizados são os seguintes: Oxigênio (O<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>), ar medicinal, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e protóxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O), para todos os quais o abastecimento eficiente e seguro é garantido pela existência de instalações específicas (GÓMEZ CHAPARRO; SANZ-CALCEDO; MÁRQUEZ, 2018).

A instalação de equipamentos de gases medicinais é um fator chave na gestão de edifícios no âmbito da assistência à saúde. Esse ponto é bem conhecido por profissionais da engenharia hospitalar, que são responsáveis pela implementação das ações voltadas para a otimização da gestão, para o aumento da vida útil das instalações e redução dos custos operacionais. Viabilidade da automação de sistemas para gases medicinais na operação de um departamento de um hospital de 400 leitos, para finalmente sugerir uma falta de monitoramento preventivo e controle de custos que podem ter ajudado a otimizar o manuseio de gases medicinais (GÓMEZ CHAPARRO; SANZ-CALCEDO; MÁRQUEZ, 2018).

## 1.1 DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Sensorweb trabalha no desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para uso em hospitais e centros de saúde, com foco na internet das coisas para a área da saúde. Neste contexto, se deu início o projeto de gases medicinais, visto que a maior parte do procedimento para monitoramento destes gases, nos hospitais, ainda é executada manualmente. Desta forma, atualmente, o registro do consumo dos gases medicinal é feito de forma manual, não individualizada, e sem precisão metrológica. O instrumento para medição é o fluxômetro, um instrumento analógico que possui erros e incertezas. Os enfermeiros fazem a coleta do consumo em determinados períodos de tempo e, em alguns casos, esses dados não são coletados.

Diante disto, a cobrança pelo consumo de gases medicinais, por parte dos planos de saúde e dos pacientes, acaba sendo incerta, realizada através de resultados aproximados, dados coletados pelo fluxômetro. Por consequência, não há elaboração de relatórios ou produção de recibos que explicitem o consumo real. Isto pode trazer prejuízos financeiros aos pacientes e aos hospitais, pelo desperdício de insumos vitais para o bom funcionamento - devido ao mal monitoramento dos gases medicinais.

Com a aplicação do sistema para medição de gases medicinais, os enfermeiros e médicos podem monitorar o consumo, de maneira instantânea e individualizada, coletando informações de cada paciente. O consumo fica exposto em um painel de fácil visualização, evitando, assim, desperdícios. Para os pacientes, haverá entrega de relatórios individualizados do consumo, e estes poderão ser cobrados pelo consumo de maneira adequada e precisa.

O projeto visa melhorar a gestão hospitalar e a transparência na comunicação entre os planos de saúde e os pacientes hospitalares. O sistema visa simplificar os prontuários e adaptá-los à era digital, transformando as instituições em hospitais 4.0.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo do projeto é desenvolver um sistema de medição da vazão para gases medicinais, conectado, via tecnologia sem fio, a um sistema de informação capaz de monitorar continuamente o consumo individualizado, por paciente, em leitos hospitalares. O sistema de informação é realizado em nuvem, dispensando instalação e manutenção de sistemas locais, totalizando o consumo de cada paciente, o que permite reportar automaticamente o faturamento devido, servido tanto à cobrança do paciente pelo hospital, ou para reembolso pelo plano de saúde, de forma precisa e transparente.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montar protótipos que atendam à solução proposta;
- Conhecer a autonomia de bateria, para operação com mínima alocação de infraestrutura e recursos humanos na manutenção do sistema; visando escala e por requisito dos hospitais;
- Desenvolver o *firmware* utilizado no protótipo, para garantir a implementação da rede de comunicação sem fio;
- Realizar o encapsulamento dos componentes em um conjunto mecânico compacto, que dispõe sobre padrões de conexão em rede de gases medicinais hospitalares;
- Entregar os dados de forma interoperável, para cruzamento entre valores prescritos e aplicados, integração com prontuário eletrônico.

### 1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto, foi necessário o entendimento do problema tratado, sendo realizadas pesquisas para conhecer os melhores caminhos para encontrar a solução do problema. Assim, foram estruturadas ferramentas e dispositivos necessários para o decorrer do projeto. Foram propostas pequenas soluções, ao longo do trabalho, para validações, e foram realizados testes para analisar a solução proposta.

O trabalho ocorreu com a orientação do supervisor e com o apoio da equipe de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) da empresa, mostrando o funcionamento da plataforma da empresa e ensinando os processos e novas tecnologias utilizadas.

### 1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Nesta seção, será exposta a divisão da monografia, de acordo com seus capítulos.

- No capítulo 2, será abordada a empresa onde ocorreu o projeto, sendo feita a descrição de sua história e os produtos desenvolvidos.
- No capítulo 3, será detalhada a fundamentação teórica, além de expostas as técnicas utilizadas, bem como as tecnologias empregadas no projeto.
- No capítulo 4, será abordada uma análise do problema, como uma primeira versão, sendo detalhados os requisitos para o projeto.

- O capítulo 5 representa a parte do desenvolvimento do texto do projeto, onde serão detalhados os métodos utilizados para seu desenvolvimento, o *hardware*, o desenvolvimento do *firmware* e a configuração do protocolo LoRaWAN.
- No capítulo 6, será feita uma análise dos resultados obtidos, sendo efetuada a validação do protótipo.
- Na última parte da monografia, o capítulo 6, será feita uma breve conclusão do projeto, analisando os resultados macros e se o objetivo foi alcançado, exibindo rumos para possíveis trabalhos futuros.

## 2 SENSORWEB

A Sensorweb é uma empresa de tecnologia que desenvolve soluções com a Internet das Coisas para a Saúde – IoT Healthcare – sendo referência em cadeia fria no Brasil. Acreditamos na inovação estabelecida por meio da tecnologia e do relacionamento construído entre a nossa equipe e clientes, contribuindo para que os serviços prestados tenham excelência e confiabilidade com o intuito de proporcionar qualidade de vida às pessoas (QUEM. . . , 2021). A Sensorweb foi criada por ex-alunos do Curso de Engenharia de Controle e Automação no ano de 2009. A empresa foi responsável pelo desenvolvimento e manutenção do Projeto ScadaBR, que se trata de um software supervisor de código aberto, e além disto, desenvolveu diversos sistemas de monitoramento e supervisão nas áreas de saneamento, energia e saúde. Atualmente, a empresa está focada em oferecer uma solução de monitoramento de temperatura para a área da saúde. A Sensorweb possui, hoje, mais de 5000 Pontos de Monitoramento, além de 355 Unidades de Saúde monitoradas.

Fundada em 2009, a Sensorweb tem alcançado resultados expressivos desde então. Ao todo, a *startup* cresceu mais de 200% neste período de incubação, permitindo uma economia de mais de R\$5 milhões em seus clientes. Este valor foi investido em medicamentos e insumos críticos na área de saúde, que tiveram suas perdas evitadas com o uso da solução. Em 2014, a empresa associou-se à Fanem, multinacional brasileira que fabrica produtos nas áreas de neonatologia e de laboratórios (SENSORWEB. . . , 2021).

Atualmente, a Sensorweb tem mais de 5000 mil sensores em operação espalhados em várias regiões do país, número que demonstra o grau de confiabilidade e robustez da solução entregue aos clientes, dentre os quais pode se citar os grandes hospitais, as clínicas oncológicas, bancos de sangue, institutos e laboratórios de pesquisa. A solução da Sensorweb atua de maneira significativa na preservação de produtos e insumos sensíveis à temperatura e umidade. São exemplos de itens monitorados: sangue; vacinas; medicamentos; pesquisas; reagentes; e ambientes. Desta maneira, são preservadas mais de 260 mil bolsas de sangue, sendo economizado mais de R\$120 milhões em medicamentos, especialmente os que se destinam a tratamentos de doenças como câncer, além de promover economia de amostras biológicas com valores inestimáveis, como embriões, medulas e pesquisas (SENSORWEB. . . , 2021).

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão expostas as principais tecnologias utilizadas no projeto e a base teórica adotada para realizar o desenvolvimento do projeto. Serão apresentados os conceitos das tecnologias e será feita uma breve explicação do seu uso e de suas funções.

#### 3.1 INTERNET DAS COISAS - IOT (*INTERNET OF THINGS*)

O conceito do termo Internet das Coisas (*Internet of Things*) foi adotado por Kevin Ashton durante uma apresentação em 1999. Ele acreditava no aspecto das "coisas", da maneira como se interage e se vive dentro do mundo físico que rodeia as pessoas; necessitando de uma séria reconsideração, devido aos avanços em computação, Internet e taxa de geração de dados por dispositivos inteligentes (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

IIoT industrial (IIoT) é outra forma de aplicações de IoT favorecido por grandes empresas de alta tecnologia. O fato das máquinas poderem realizar tarefas específicas, como aquisição e comunicação de dados, com maior precisão do que os humanos, impulsionou a adoção da IIoT. Comunicação de Máquina para Máquina (M2M), análise de *Big Data* e técnicas de aprendizado de máquina são os principais blocos de construção, quando se trata da definição de IIoT. Esses dados permitem que as empresas detectem e resolvam problemas mais rapidamente, resultando em economia geral de tempo e dinheiro. Por exemplo, em uma manufatura empresa, o IIoT pode ser usado para rastrear e gerenciar com eficiência a cadeia de abastecimento, realizar o controle de qualidade e garantia, e diminuir o consumo total de energia (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

A IoT promete uma rede interconectada de objetos inteligentes identificáveis com exclusividade. Esta infraestrutura cria o *backbone* necessário para muitos aplicativos interessantes que requerem conectividade e endereçamento contínuos entre seus componentes. A gama de domínio de aplicativo IoT é ampla e engloba aplicativos de automação residencial a ambientes mais sofisticados, como cidades inteligentes e governo eletrônico (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

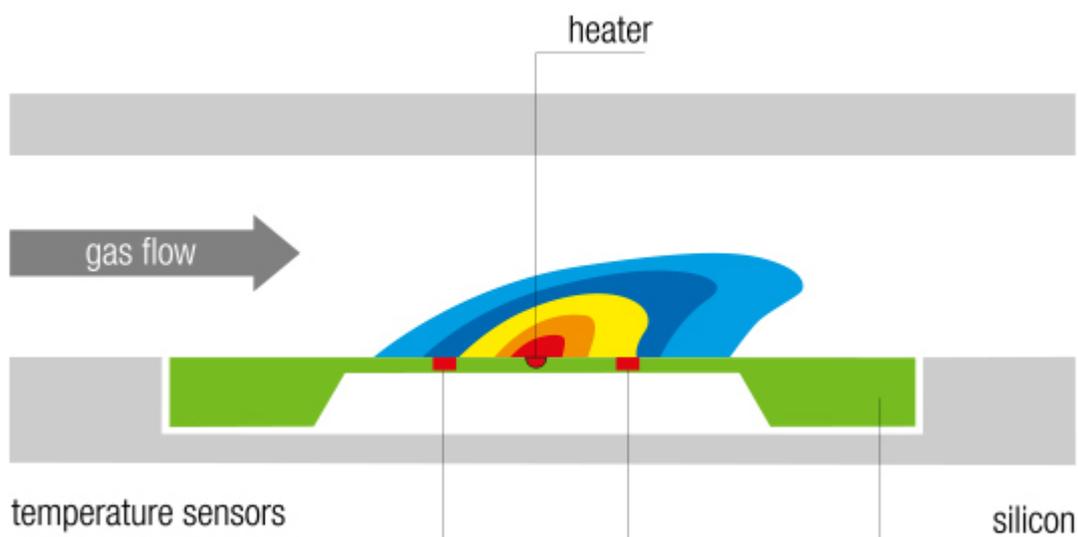
#### 3.2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GASES

##### 3.2.1 Massa térmica

O fluxo de massa é determinado usando um princípio de medição térmica. No referido processo, um elemento de aquecimento ajustável é posicionado no centro de uma membrana, com dois sensores de temperatura: um sensor colocado em momento anterior ao aquecimento e outro, colocado após o aquecimento do elemento. Cada

fluxo de gás sobre a membrana causa uma transferência térmica de calor para o sensor de temperatura posicionado no final da membrana, por causa da diferença de temperatura resultante, criando um sinal mensurável com precisão (*THE THERMAL MEASUREMENT PRINCIPLE...*, 2021).

Figura 1 – Demonstração do princípio da medição de vazão por massa térmica.



Fonte – (*THE THERMAL MEASUREMENT PRINCIPLE...*, 2021)

Durante à ausência de fluxo, a distribuição da temperatura ao redor do aquecedor é simétrica. Quando há fluxo, a temperatura do lado contra o fluxo esfria e a temperatura do lado do fluxo aumenta, interrompendo a simetria da distribuição de temperatura, a Figura 1 ilustra esse princípio.

### 3.2.2 Medição por pressão diferencial

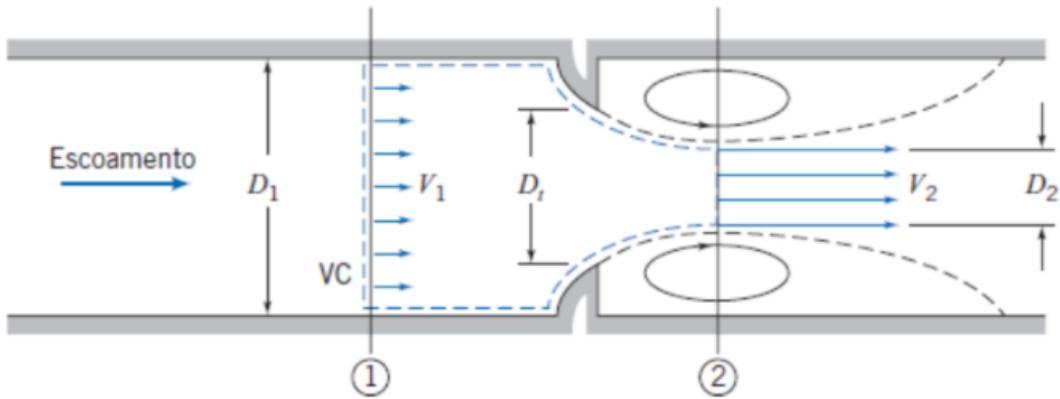
A medição por pressão diferencial baseia-se na mudança de área do escoamento, podendo se tratar de uma variação no diâmetro ou algum obstáculo. Esta mudança de área provoca um aumento de velocidade local, assim, mudando a pressão local, a variação da pressão é proporcional à vazão.

Os medidores de vazão por pressão diferencial mais comuns são a placa de orifício e tubo de Venturi. A vazão teórica pode se ter pela Equação (1), que é a equação de Bernoulli (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2004).

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Gz_2. \quad (1)$$

Onde  $P$  é a pressão,  $V$  é a velocidade,  $\rho$  é densidade,  $G$  é a gravidade e  $z$  é diferença de altura no eixo  $z$ . Aplicando a Equação (1) em 1 e 2, como demonstra na Figura 2, como  $z_1 = z_2$  temos,

Figura 2 – escoamento interno através de um bocal genérico



Fonte – (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2004)

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Da conservação da massa, tem-se,

$$V_1 A_1 = V_2 A_2. \quad (3)$$

De modo que

$$\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2. \quad (4)$$

Substituindo Equação (4) em Equação (2), obtemos:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Isolando a velocidade 2,  $V_2$ :

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}}. \quad (6)$$

A vazão mássica é dada por

$$\dot{m} = \rho V_2 A_2. \quad (7)$$

Aplicando a velocidade 2 da Equação (6) em Equação (7), então, temos:

$$\dot{m} = \rho \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}} A_2. \quad (8)$$

Com a equação Equação (8) é possível ter a vazão mássica teórica para o um bocal genérico, utilizando o princípio da pressão diferencial.

### 3.3 HARDWARE

#### 3.3.1 ESP32

O ESP32 é um microcontrolador produzido pela empresa Espressif Systems. Ele é muito aplicado em projetos de IoT pelo seu baixo consumo de energia, possuindo suporte para interfaces de comunicação como I2C, UART e SPI, além de possuir suporte para Wi-Fi e Bluetooth.

A questão de determinar por quanto tempo um ESP32 pode funcionar com baterias é interessante. O consumo atual está longe de ser constante. Ao transmitir com potência total, pode consumir 260mA, mas quando em sono profundo, ele só precisa de 20 $\mu$ A (KOLBAN, 2017).

O ESP32 conta com um processador de duplo núcleo de 160MHz e memória RAM de 520K, ainda possui sete saídas digital e analógicas. Ele pode ser programado com a ferramenta do IDE Arduino, *firmware* em Lua, SDK (*Software Development Kit*) Espressif ou Micropython. Vários fabricantes disponibilizaram módulos para desenvolvimento usando o ESP32, entre eles, o TTGO e o T-beam (OLIVEIRA, 2021).

#### 3.3.2 AXP192

O AXP192 circuito integrado é um gerenciador de baterias de íon-lítio, com ele é possível controlar a carga e descarga da bateria, ligar e desligar componestes periféricos, e além disto, possui sensor de temperatura integrado. O circuito "*Intelligent Power Select*"(IPS) do AX192 distribui de forma segura e transparente entre o USB, adaptador externo, bateria de lítio e o aplicativo sistema. Também permite que o sistema de aplicativos funcione sem bateria ou com bateria descarregada (AXP192. . . , 2021).

AXP192 fornece uma saída I2C para comunicar-se com o processador do aplicativo. Pela interface, o processador pode habilitar ou desabilitar o saídas, e definir a tensão de saída, bem como obter o dados de status de potência e carga da bateria. O ADC de alta precisão faz com que seja conveniente para o controle do consumidor em tempo real e para conhecer a dissipação de energia do sistema, que traz economia no consumo de energia para aplicação (AXP192. . . , 2021).

### 3.3.3 SX1276

O transceptores SX1276 apresentam o modem de longo alcance LoRa, que fornece comunicação de espectro espalhado de alcance ultralongo e alta imunidade a interferências, minimizando o consumo de corrente (SEMTECH. . . , 2021).

Usando a técnica de modulação LoRa patenteada da Semtech, SX1276, pode-se atingir uma sensibilidade de mais de -148dBm usando um cristal e lista de materiais de baixo custo. A alta sensibilidade combinada com o amplificador de potência de +20dBm integrado resulta em um orçamento de link líder da indústria, tornando-o ideal para qualquer aplicação que requiera alcance ou robustez. LoRa também oferece vantagens significativas tanto no bloqueio quanto na seletividade em relação às técnicas de modulação convencionais, resolvendo o compromisso de design tradicional entre alcance, imunidade a interferências e consumo de energia (SEMTECH. . . , 2021).

## 3.4 COMUNICAÇÃO

### 3.4.1 I2C (*Inter-Integrated Circuit*)

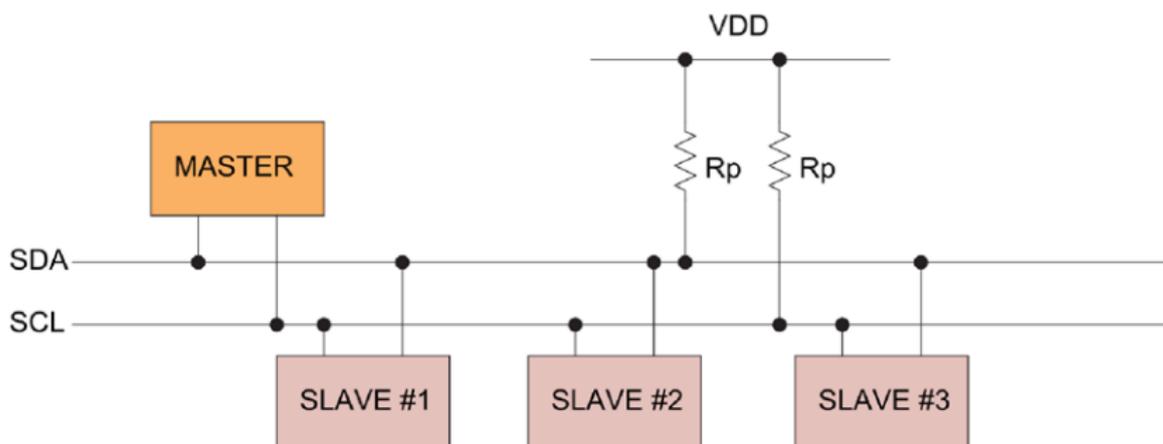
I2C significa barramento de circuito integrado (*Inter-Integrated Circuit*), o protocolo I2C original foi desenvolvido pela Phillips Semiconductor e, anos depois, a Intel definiu o protocolo SMBus como uma extensão do I2C (*I2C PRIMER: WHAT IS I2C?. . . , 2021*).

Consiste em um barramento bidirecional facilmente implementado em qualquer processo IC (NMOS, CMOS, bipolar) e permite uma comunicação inter-IC simples. As conexões são minimizadas pelo uso de uma linha *serial data* (SDA), uma linha de *serial clock* (SCL) e um aterramento comum para transportar todas as comunicações (*INTRODUCTION TO THE I2C BUS. . . , 2021*).

O protocolo de comunicação I2C segue uma hierarquia mestre / escravo, em que o mestre é definido como o dispositivo que faz o *clock* do barramento, endereça os escravos e grava ou lê dados de e para os registradores nos escravos. Os escravos são dispositivos que respondem apenas quando interrogados pelo mestre, por meio de seu endereço único. Portanto, é imperativo evitar a duplicação de endereços entre escravos. Os escravos nunca iniciam uma transferência de dados (*INTRODUCTION TO THE I2C BUS. . . , 2021*).

Os pacotes de dados I2C são organizados em bytes de 8 bits compreendendo o endereço do escravo, o número do registro e os dados a serem transferidos. A transmissão pelo barramento é uma operação de leitura ou gravação. Os protocolos de leitura e escrita baseiam-se em uma série de sub-protocolos, como condições de início e parada, bits de início repetidos, byte de endereço, bits de transferência de dados e bits de reconhecimento / não reconhecimento (*INTRODUCTION TO THE I2C BUS. . . , 2021*).

Figura 3 – Diagrama de conexão I2C genérico



Fonte – (INTRODUCTION TO THE I2C BUS..., 2021)

### 3.4.2 MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)

O *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) foi desenvolvido pela IBM na década de 90, tendo foco na supervisão e na aquisição de dados. O MQTT foi concebido para usar pouca banda de rede e usar a infraestrutura e realizar integração com protocolo TCP/IP.

Como um protocolo de conectividade M2M / Internet of Things (IoT), MQTT é projetado para oferecer suporte ao transporte de mensagens de locais / dispositivos remotos, baixo consumo de energia, largura de banda baixa, alto custo conexões, alta latência, disponibilidade variável e garantias de entrega negociadas. Por exemplo, o MQTT está sendo usado em sensores que se comunicam com um corretor via links de satélite, SCADA, em conexões discadas ocasionais com provedores de saúde (dispositivos médicos) e em uma variedade de cenários de automação residencial e pequenos dispositivos. MQTT também é ideal para aplicativos móveis devido ao seu tamanho pequeno, pacotes de dados minimizados e distribuição eficiente de informações para um ou vários receptores (*OASIS MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT (MQTT) TC...*, 2021).

MQTT é um protocolo de publicação / assinatura que permite que dispositivos de borda de rede publiquem em um *broker*. Os clientes se conectam a este *broker*, que então mediando a comunicação entre os dois dispositivos. Cada dispositivo pode se inscrever ou registrar-se em tópicos específicos. Quando outro cliente publica uma mensagem em um tópico inscrito, o *broker* encaminha a mensagem a qualquer cliente que tenha se inscrito (WHAT..., 2021).

### 3.5 LORA

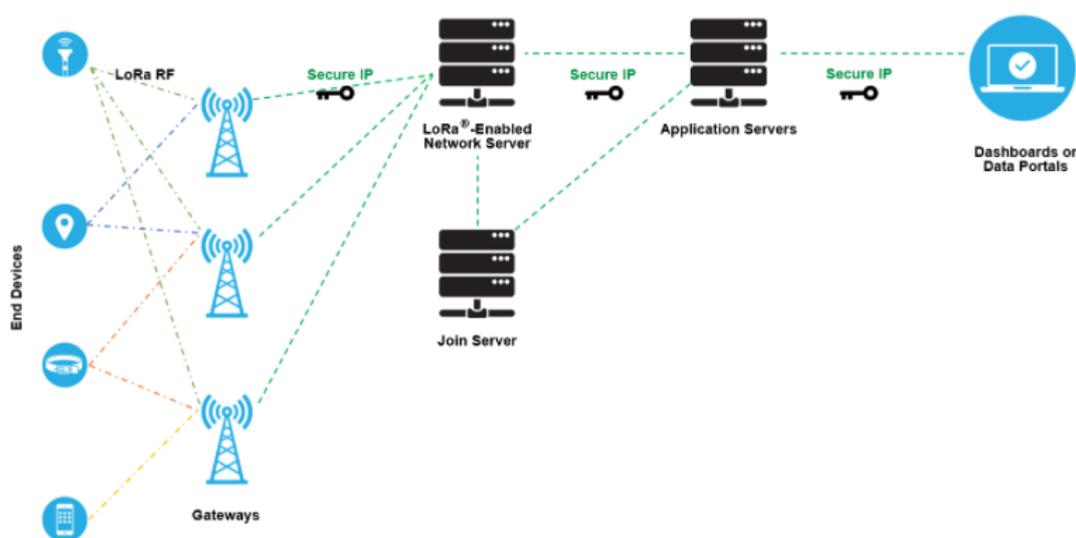
LoRa (Long Range) é um sistema de comunicação sem fio de longo alcance desenvolvido pela empresa Semtech. Este sistema visa ser utilizável em dispositivos alimentados por bateria de longa duração, onde o consumo de energia é de extrema importância. Quando se fala em LoRa, refere-se à camada física; o protocolo de comunicação é o LoRaWan.

A camada física LoRa, desenvolvida pela Semtech, permite comunicações de longo alcance, baixo consumo de energia e baixo rendimento. Ela opera nas bandas ISM de 433, 868 ou 915 MHz. No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) regulamentou o uso do LoRa para a frequência de 915Mhz. A carga útil de cada transmissão pode variar de 2 a 255 octetos, e a taxa de dados pode atingir até 50 Kbps quando a agregação de canal é empregada. A técnica de modulação é uma tecnologia proprietária da Semtech (AUGUSTIN *et al.*, 2016).

#### 3.5.1 LoRaWAN

A especificação LoRaWAN é um protocolo de rede *Low Power wide Area* (LPWA) projetado para conectar "coisas" operadas por bateria sem fio à internet em redes regionais, nacionais ou globais, e tem como alvo os principais requisitos da Internet das Coisas (IoT), como comunicação bidirecional, segurança ponta a ponta, serviços de mobilidade e localização (WHAT ARE LORA AND LORAWAN?..., 2021).

Figura 4 – Implementação típica da rede LoRaWAN



Fonte – (WHAT ARE LORA AND LORAWAN?..., 2021)

O sensor de ligação à rede loRaWan é referido como *end point* ou *end device*.

Sempre que o sensor faz uma leitura, o dispositivo envia condicionalmente um sinal (pacote de dados) para que os *gateways* capturem os dados.

Um *gateway* pode ser considerado um ponto de acesso ou modem. Ele recebe todas as mensagens de rádio LoRa enviadas por dispositivos dentro do alcance. Se o *gateway* tiver um servidor de rede integrado, ele processará a carga de dados localmente, e se o servidor de rede estiver localizado na nuvem, o *gateway* simplesmente retransmitirá o pacote criptografado para o servidor.

O servidor de rede, na maioria das instâncias, direcionará mensagens de um ID e porta em particular para um aplicativo especificado ou predefinido. Isso normalmente acontece enviando-o para um serviço da web (HTTP (S)) ou colocando-o em uma fila MQTT para ser enviado ao local certo em um determinado intervalo.

A etapa final da transmissão de dados em uma rede LoRa são os dados enviados para o aplicativo final real. Neste ponto, os fabricantes e desenvolvedores criarão o código para analisar as mensagens recebidas pelos dispositivos relevantes para o aplicativo que está sendo usado. Aqui, os dados brutos são reunidos em informações digeríveis para a interpretação do usuário final.

## 4 ANÁLISE DO PROBLEMA

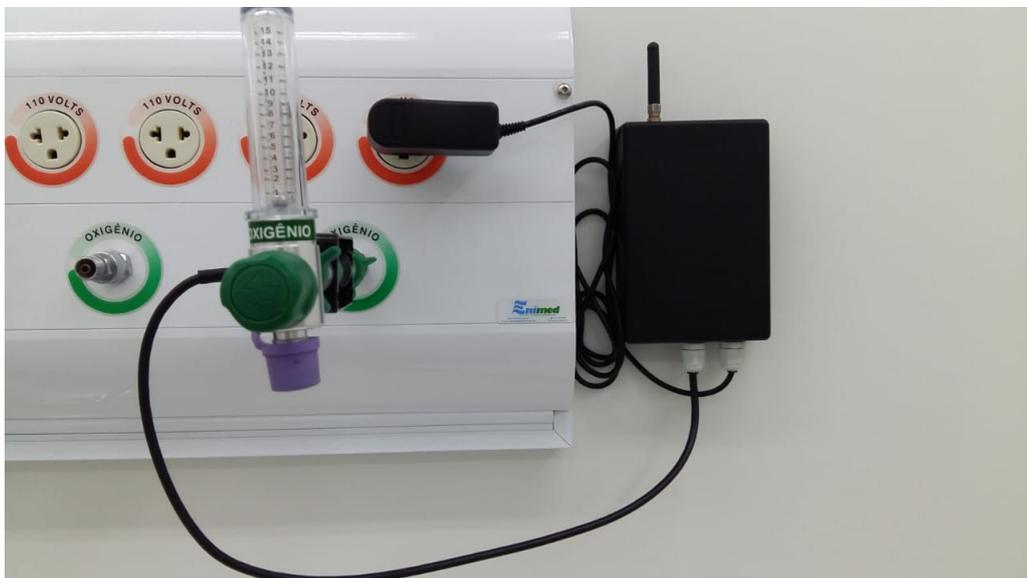
Nesse capítulo, será relatada a primeira versão da prova de conceito do projeto de gases medicinais desenvolvido pelo equipe de P&D da Sensorweb. Na primeira parte, serão construídas as principais funções da versão 1.0, e no segundo momento, serão mostrados os problemas relatados nos testes em campo. Enfim, na última parte do capítulo, será feita a análise de requisito para o desenvolvimento da nova versão.

### 4.1 VISÃO GERAL

A versão 1.0 da prova de conceito para gases medicinais foi desenvolvida pela equipe de P&D da Sensorweb. A versão 1.0 foi desenvolvida para ser usada em beira de leito, antes do fluxômetro de oxigênio ou de outros gases usados em ambiente hospitalar.

A versão 1.0 é composta pelo sensor de vazão, pela fonte de alimentação e a central IoT. A Figura 5 exibe a versão 1.0, instalada na beira do leito. A Figura 6 mostra o sensor de vazão acoplado ao fluxômetro na saída de oxigênio do leito.

Figura 5 – Equipamento instalado em um leito de hospital



Fonte – SensorWeb

A versão 1.0 utiliza um sensor de vazão com o princípio massa térmica, o qual possui a escala de medição até 20 L/min, que é a mesma escala dos fluxômetros hospitalares. O sensor utiliza o protocolo de comunicação **i2C** para transmitir os dados.

O *hardware* utilizado foi uma central IOT de mercado. Essa central utilizada conta com um ESP32 como seu microcontrolador, além disso, possui um modem

Figura 6 – Sensor acoplado a saída de oxigênio com fluxômetro



Fonte – SensorWeb

GPRS para a conexão com a internet. Os dados são enviados para aplicação da Sensorweb utilizando o protocolo HTTP.

#### 4.2 PROBLEMAS RELATADOS

Durante os testes da prova de conceito em hospitais, foram relatados alguns problemas com a versão 1.0, por parte dos enfermeiros que operaram e pela equipe de operação e suporte da Sensorweb.

O principal problema relatado nos testes em campo está no tamanho da versão 1.0. Ela possui o tamanho de 10 cm de largura e 15 cm de comprimento e 5 cm de altura, além de possuir muitos cabos, como o da alimentação e o de dados do sensor. Outro problema relatado foi que o sensor era usado como "cabide": pessoas que trabalhavam ou pessoas que estavam acompanhando os pacientes depositavam roupas e objetos pessoais sobre o sensor, o que pode causar danos ao sensor e problemas de mal contato.

Outro problema relatado é que, para usar a versão 1.0 em ambientes de alta complexidade, como UTI e centros cirúrgicos, é necessário utilizar fontes de alimentação homologadas ou fazer uso de baterias, visto que nesses ambientes há equipamentos vitais, não podendo haver interferências nos equipamentos.

### 4.3 NOVOS REQUISITOS

Claramente, antes de projetar um sistema, deve se saber o que se está projetando. Os estágios iniciais do processo de design capturam essas informações para uso na criação da arquitetura e dos componentes. Geralmente, se procede em duas fases: primeiro, reúne-se uma descrição informal dos clientes, conhecida como requisitos, os quais são refinados uma especificação que contém informações suficientes para o início do projeto, para a arquitetura do sistema (WOLF, 2008).

Os requisitos para o projeto foram definidos baseados nos problemas relatados nos testes em campo da versão 1.0 e nas melhorias que empresa entendeu como necessárias para evolução do protótipo. Sendo assim, propõe-se que os requisitos para a nova versão da prova de conceito sejam os seguintes:

- Ser autônomo, não depender de fonte de energia externa.
- Ser capaz de medir vazão, com dados confiáveis.
- Ser compacto, possuir dimensões mecânicas menor possível.
- Possuir comunicação sem fio, não necessitar de meios físicos para enviar dados para aplicação.

## 5 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento do projeto de medição da vazão dos gases medicinais para uma nova versão **de uma prova de conceito**. Será detalhada a forma da abordagem do problema, exibindo uma visão geral do sistema, além de detalhada a escolha do *hardware* e tecnologias usadas.

### 5.1 MÉTODOS UTILIZADOS

Para essa nova versão foi feito um longo estudo sobre métodos de medição de vazão. Desta investigação, os principais métodos que se destacaram foram: (1) medição por massa térmica, que é o princípio mais utilizado no meio, e (2) medição por pressão diferencial, demandaria o projeto e fabricação de um dispositivo específico.

O sensor da versão 1.0 utiliza o princípio da massa térmica. Para a nova versão planejada, foi definido pela utilização do mesmo, pois a empresa possui uma grande quantidade deste sensor, o qual tem boa exatidão e precisão nas medidas. Assim, como é necessário o desenvolvimento do equipamento e a sua calibração, na medição por pressão diferencial, a versão 2.0 foi desconsiderada para a escolha, no projeto. Reforça-se, no entanto, que esta pode ser vista como uma alternativa futura, especialmente se considerando a redução de custos.

A tecnologia sem fio para transmitir os dados para a aplicação foi pensada em algumas soluções para o projeto como GPRS, Sigfox, Zigbee e LoRa. O LoRa foi a tecnologia escolhida pelo seu desempenho, baixo consumo de energia e grande alcance; o GPRS foi outra possibilidade, mas seu custo seria muito alto com uma grande escalabilidade de dispositivos, o que não o tornava viável.

O *device* utilizado no projeto foi uma placa de desenvolvimento de mercado, voltada à Internet das Coisas. Ela possui um microcontrolador ESP32, um modem GPS e um módulo LoRa com o circuito integrado SX1276, além de um suporte bateria e controlador de carga.

### 5.2 VISÃO GERAL

O dispositivo desenvolvido é utilizado em beira de leito, antes do fluxômetro, operando, assim, de forma autônoma, não necessitando de fontes externas de energia. O dispositivo envia os dados coletados para uma plataforma da empresa, onde os enfermeiros e médicos podem monitorar continuamente. Os dados vão ser transmitido através do protocolo LoRaWAN. O funcionamento do LoRaWAN requer a existência de uma rede interna, desta forma, será instalado um *gateway* no hospital, tendo em vista que o mesmo terá de cobrir todos os leitos. Assim, quando o dispositivo envia os dados, o *gateway* os receberá, e então enviará para a camada da aplicação via

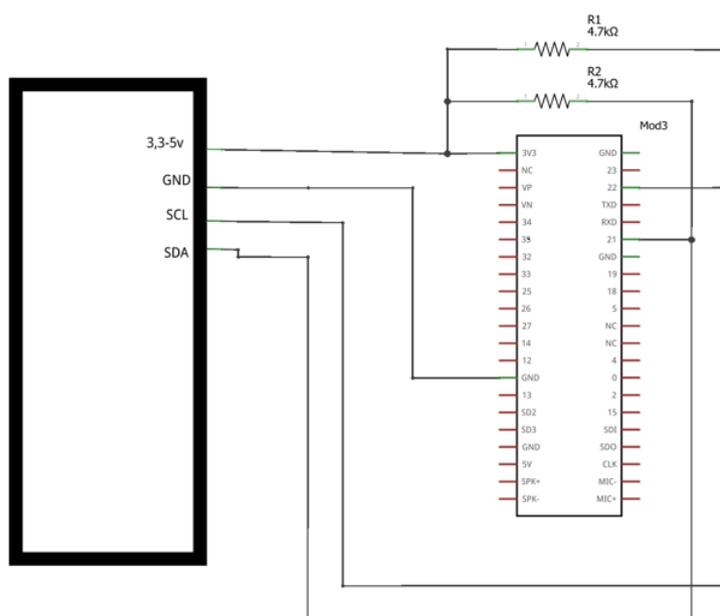
protocolo MQTT. Na aplicação, um painel de controle com os leitos monitorados será exibido, com alarmes e alertas configuráveis.

### 5.3 HARDWARE

O *hardware* consiste na placa de desenvolvimento e os periféricos, como o sensor. A placa de desenvolvimento possui um microcontrolador ESP32. O microcontrolador possui saída I2C, necessária para a comunicação com o sensor de vazão.

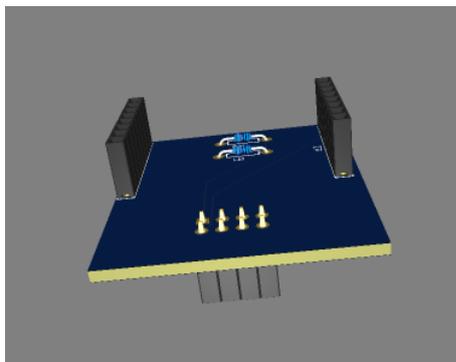
A Figura 7 mostra o projeto de *hardware*. Neste, consiste o sensor de vazão, o qual opera com alimentação de 3v a 5v. A placa de desenvolvimento possui saídas de alimentação no seu projeto, onde é possível ligar e desligar as saídas. Foi usada uma saída de 3.3v e uma saída *ground* para a referencia, além dos pinos SDA, ligados ao pino 21, e SCL, ligado no pino 22, necessários para a comunicação I2C.

Figura 7 – Esquema elétrico do projeto



Fonte – Elaborado pelo autor

Foi desenvolvido um *shield* para acoplar a placa de desenvolvimento no sensor de vazão, mostrado na Figura 8. No *shield* está localizado os resistores de *pull-ups* *R1* e *R2*, mostrado na Figura 7, os quais têm o valor de 4.7k Ohms, conforme recomendado pelo fabricante do sensor de vazão. Os resistores de *pull-ups* são utilizados para garantir o nível lógico esperado na linhas SDL e SCL da comunicação I2C.

Figura 8 – *shield* para acoplar a placa de desenvolvimento no sensor

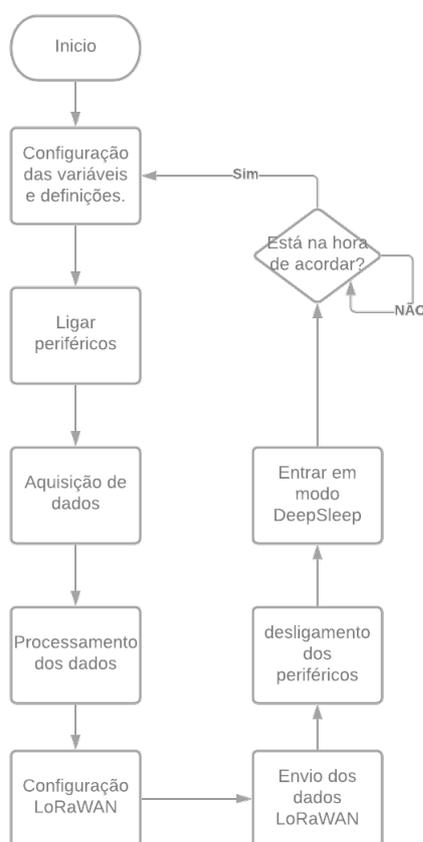
Fonte – Elaborado pelo autor

#### 5.4 FIRMWARE

O *firmware* desenvolvido para o projeto pode ser dividido em três partes: aquisição de dados do sensor, processamento dos dados e a configuração e envio dos dados por LoRaWan. O ESP32 suporta a linguagem C/C++ para a escrita do código. Como o ESP32 utiliza a IDE do Arduíno, pode-se importar suas bibliotecas, assim, a utilização de uma biblioteca facilita o desenvolvimento, tornando o código mais simples e mais organizado.

O fluxo principal do *firmware* é ilustrado na Figura 9. A primeira parte é a definição das variáveis e a configuração, como a importação das bibliotecas utilizadas e definição dos pinos. Após a finalização da configurações, O ESP32 se comunica com o APX192, circuito integrado que controla as saídas de potência da placa, enviando o comando para o circuito integrado para ligar as saídas dos periféricos, como o modulo LoRa e a alimentação do sensor, comunicação que ocorre pelo barramento I2C integrado na placa T-beam. Os próximos passos do *firmware* consistem na aquisição de dados do sensor e no processamento de dados e configuração do protocolo LoRaWAN, além do envio do *payload*. Essas informações serão detalhadas posteriormente. Ao finalizar o envio do *payload*, o ESP32 envia comando para deligar todos os periféricos, incluindo o sensor de vazão e o modem LoRa, em vias da economia de energia, e o ESP32 entra no modo sono profundo, acordando após um tempo pré-definido, guardado na memória, repetindo, então, as ações.

O ESP32 possui uma função chamada de *DeepSleep*, ou sono profundo, a qual permite que o ESP32 opere em consumo reduzido de energia. Quando esse modo é ativado, são desligados os CPUs e a maior parte da RAM, além dos periféricos digitais. Somente a parte do controlador RTC (*Real Time Clock*) e periféricos RTC e memória RTC funcionam.

Figura 9 – Fluxograma do *firmware* desenvolvido

Fonte – Elaborado pelo autor

#### 5.4.1 Aquisição de dados do sensor

A aquisição de dados do sensor ocorre pela comunicação I2C. O funcionamento da comunicação I2C é por mestre e escravo; quando o mestre solicita uma mensagem, o escravo responde com o que foi pedido. A frequência do SCL da comunicação recomendada pelo fabricante do sensor é de 100kHz.

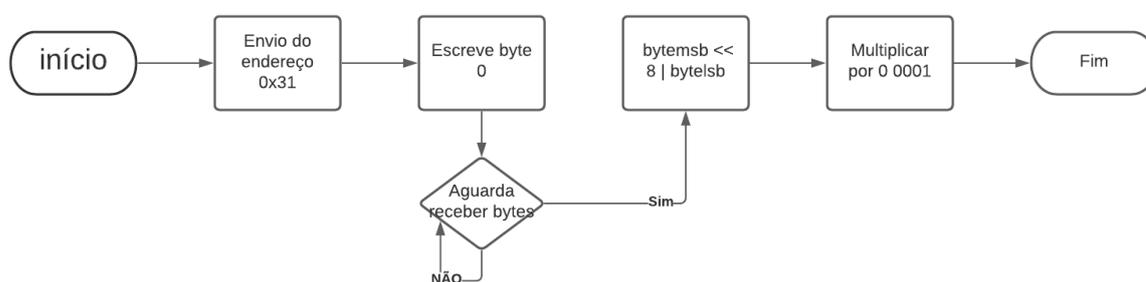
O sensor funciona como escravo. No primeiro byte que receber, deve incluir o endereço escravo de 7 bits (0x31), e um bit que seja de leitura "0". Para ler os dados do registro, o mestre deve primeiro fazer a operação de escrita, onde o mestre deve escrever no barramento 1 byte, especificando qual seria o endereço, e deve começar a ler, primeiro para o escravo, e depois, o mestre faz a operação de leitura.

Após o escravo receber um endereço de 7 bits 0x31 e um bit de leitura do mestre, caso o pino SCL do escravo receba pulsos de dados de 2 bytes gerados pelo mestre, de acordo com o pino SDA do escravo, serão retornados dados de vazão de 2 bytes, um byte mais significativo e outro menos significativo.

Na Figura 10 expõe-se o fluxograma da aquisição de dados do sensor, como

comentado anteriormente. O primeiro passo é o envio do endereço 0x31 pelo mestre, que é o ESP32. Após enviar o endereço, é escrito o byte 0 no barramento, para a leitura dos dados no escravo. Então, este aguardará o recebimento do byte mais significativo e o byte menos significativo. Em seguida, é necessária a concatenação dos bytes recebidos: como os bytes de 8 bits passarão a ter 16 bits cada, por conta do dado concatenado, estes devem ser convertidos para a base decimal, então, ao se multiplicar o valor por 0.001, obtém-se o valor da vazão.

Figura 10 – Fluxograma da aquisição de dados



Fonte – Elaborado pelo autor

#### 5.4.2 Processamento de dados

Os dados recebidos pelo sensor devem ser tratados e preparados para o *payload* para o envio. O *payload* é pacote de dados a ser enviado pelo protocolo LoRaWan, que define como chegará na aplicação. O tamanho máximo do *payload* é de 256 bytes, porém, deve se observar que o maior número de bytes implica em mais energia gasta na transmissão, assim, um *payload* com pouco bytes é o ideal.

Além da vazão, o dispositivo irá mandar, para a aplicação, os dados da tensão de bateria, para monitorar o consumo e determinar quando deve ser realizada a troca. A informação de tensão de bateria é fornecida pelo circuito integrado AXP192 no T-beam, circuito que realiza o controle de carga e distribuição de energia para os periféricos do T-beam e para o microcontrolador ESP32.

O formato do *payload* é na base hexadecimal, possuindo 4 bytes, sendo 2 bytes para a vazão e os outros 2 bytes para tensão de bateria. A Figura 11 mostra o formato do *payload* como exemplo; os bytes 1 e 2 correspondem ao valor da vazão e os bytes 3 e 4 correspondem ao valor da tensão da bateria.

Na Figura 12, exibe-se a conversão dos dados de vazão e tensão de bateria para hexadecimal. Os dados precisam ser multiplicados por um fator de 100 vezes e então ser convertido para hexadecimal. O motivo da multiplicação é que os dados de

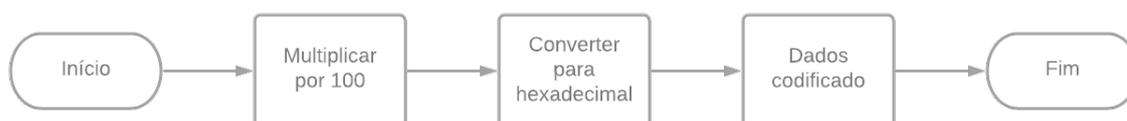
Figura 11 – Exemplo do *payload*

0xFF	0xAB	0xA0	0xAC
1 byte	2 byte	3 byte	4 byte
Vazão		Tensão	

Fonte – Elaborado pelo autor

vazão e tensão são pontos flutuantes, então, é necessário converter para um número inteiro para realizar a conversão para hexadecimal.

Figura 12 – Fluxograma para codificação dos dados



Fonte – Elaborado pelo autor

### 5.4.3 Configuração LoRaWAN

Antes do envio do *payload*, é necessário configurar a rede do protocolo LoRaWAN. Para este fim, foi utilizada uma biblioteca para uso do protocolo LoRaWAN, desse modo, simplificando seu uso, ao abstrair a parte de processamento do rádio.

Para utilização do protocolo LoRaWAN, é preciso configurar o método de conexão com o *gateway*, podendo ser utilizado os métodos OTAA (*Over-The-Air Activation*) ou ABP (*Activation By Personalization*). Para o projeto, preferiu-se pelo uso do OTAA, visto que é a conexão mais segura, em comparação ao ABP.

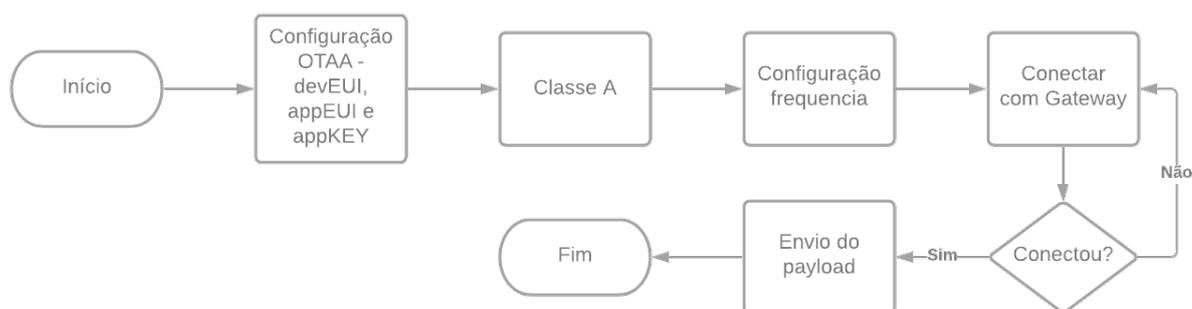
Para a ativação da conexão por OTAA, precisa-se de duas chaves, APPEUI e APPkey, e um identificador único para o dispositivo, chamado de DEVEUI. Com essas informações, o *device* envia uma requisição de conexão para o *gateway*, o qual verifica as chaves enviadas. Caso estejam corretas e sejam válidas, o *gateway* confirma a conexão.

O LoRaWAN possui três classes de protocolo, classes A, B e C, as quais representam padrões de requisições e envio de dados distintos. A classe utilizada foi a A. Esta classe tem menor consumo de energia, visto que só recebe uma resposta do *gateway*.

Cada Região possui uma frequência determinada pelos órgãos Reguladores dos países. No Brasil, a frequência determinada pela Anatel é 923MHz (915MHz a 928MHz) para o uso do LoRa.

O fluxo de informação da configuração e envio do protocolo LoRaWAN é ilustrado na Figura 13. A configuração começa a partir da definição do tipo de conexão a ser usada. Como comentado anteriormente, no projeto, foi utilizado a OTAA. Então, define-se o DEVeui, o identificador único do dispositivo, e as chaves APPeui e APPkey. Nos próximos passos, define-se a classe e a frequência a ser usada, com a configuração completa. O dispositivo tenta se conectar com o *gateway*, e caso não consiga se conectar, tentará uma nova vez. Quando o dispositivo está conectado, ele pode enviar o *payload* para o *gateway*.

Figura 13 – Fluxograma da Configuração e envio pelo protocolo LoRaWAN



Fonte – Elaborado pelo autor

## 5.5 TOPOLOGIA LORAWAN

A topologia de rede LoRaWAN possui outros elementos que interagem com o *end – node* ou *end device*, como o dispositivo beira-leito desenvolvido. Para continuar a construção da rede, é necessário um *gateway*, onde o dispositivo recebe os dados, possuindo conexão com a internet, um *network server* e a aplicação, onde os dados são recebidos e são exibidos para o usuário.

O *gateway* pode ser utilizado em rede aberta, como a rede da ATC (*American Tower Corporation*), ou em rede privada com *gateway* próprios. Para o projeto, foi utilizado um *gateway* próprio, ITG 200 da Khomp, visto na Figura 14. Ele possui portas Ethernet, envia dados a servidores externos através de um protocolo de integração seguro via HTTPS ou MQTT, e tem disponibilidade de operar até 500 *end points*.

Para a comunicação entre o dispositivo desenvolvido e o *gateway*, é necessário configurar os dados do dispositivo no *gateway*, como seu DEVEUI e as chaves

Figura 14 – Gateway da Khomp ITG 200



Fonte – (ITG... , 2021)

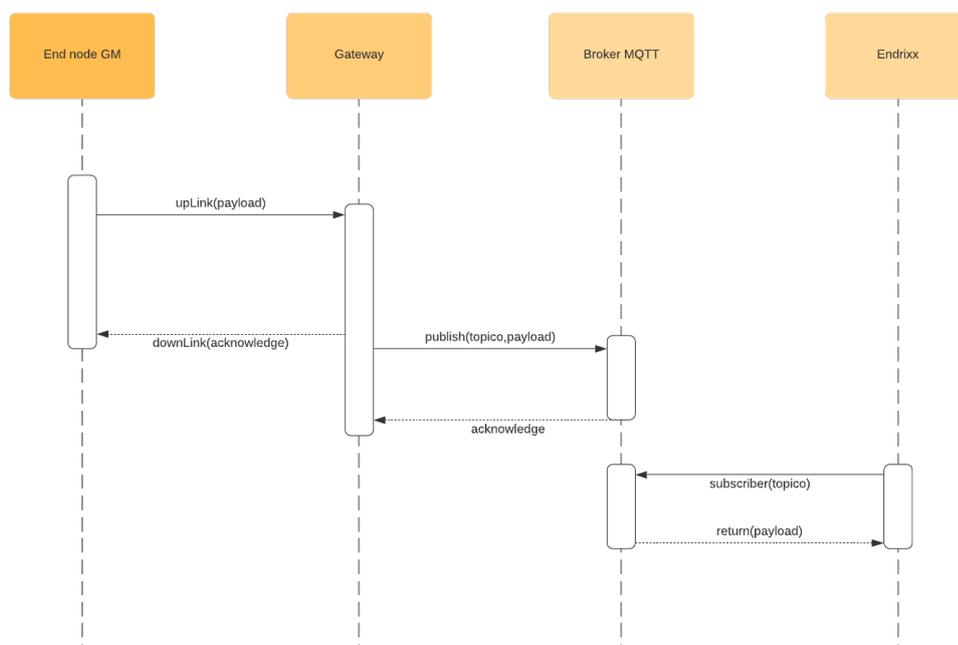
APPKEY e APPEUI. Para transmitir os dados para o servidor da empresa foi utilizado o protocolo MQTT. Como a empresa já possuía a infraestrutura para a utilização do protocolo MQTT, é necessário apenas configurar o *gateway* para a utilização do MQTT do servidor da empresa.

A Figura 15 expõe um diagrama de sequencia que mostra o funcionamento da rede LoRaWAN como um todo. A transmissão começa o *end node*, o dispositivo de gases medicinais, enviando o *payload* para o *gateway*, fazendo um *uplink*; ao receber o *payload* o *gateway* envia um *downlink* confirmando o recebimento do *payload*. O MQTT funciona como publicação e assinatura, o *broker* é o servidor de dados, e cada dado tem um tópico específico dentro do *broker*, tópico este criado na configuração do MQTT. Então, o *gateway* envia os *payloads* para um tópico específico fazendo um *publish*. Na parte da aplicação, são feitas as consultas, ou assinatura, a aplicação faz uma *subscribe* no *broker*, no mesmos tópicos que o *gateway* utilizou. Assim, ele tem retorno dos *payloads*.

A empresa possui uma plataforma chamada Endrixx, que é um *software* SCADA que possui diversos módulos com funcionalidades, como: interface web, gestão de usuários e permissões, módulos de entrada de dados, gestão de alarmes e eventos, registro de dados históricos, relatórios e auditorias.

Na plataforma Endrixx, é necessário tratar os *payloads* recebidos do *gateway*. A plataforma permite tratar os *payloads* com código Javascript, mostrado na Figura 16. Como visto anteriormente, os *payloads* são na base hexadecimal, sendo necessário converter para o decimal e fazer o cálculo para se obter o valor de vazão ou tensão de bateria.

Figura 15 – Diagrama de sequencia



Fonte – Elaborado pelo autor

### 5.5.1 Interface Web

Para exibir os dados para o usuário, é necessário uma interface *web*, e o *software* Endrixx possui uma. A interface web do Endrixx é um ambiente simples e intuitivo para a operação do usuário.

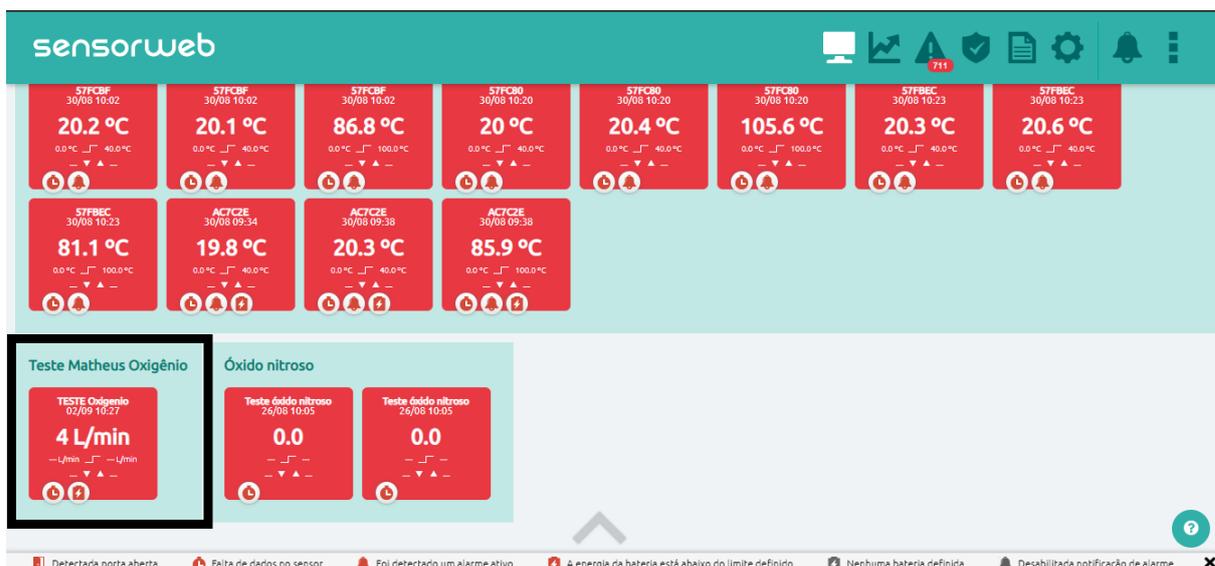
Na Figura 17 é mostrado o painel principal do Endrixx. Expõe-se os pontos disponíveis para o usuário, como exemplo, observa-se que é mostrada a vazão, bem como seu valor atual e os valores de máxima e de mínimo. Na Figura 18 o usuário pode visualizar o dado em forma de um gráfico, podendo mudar a escala do gráfico para uma melhor visualização. Além disto, o usuário pode adicionar alertas para limites inferior e superior; quando o valor passa do limite, fica vermelho, em forma de alerta.

Figura 16 – Plataforma Endrixx, decodificação do *payload*



Fonte – Elaborado pelo autor

Figura 17 – Plataforma Endrixx, painel de usuário



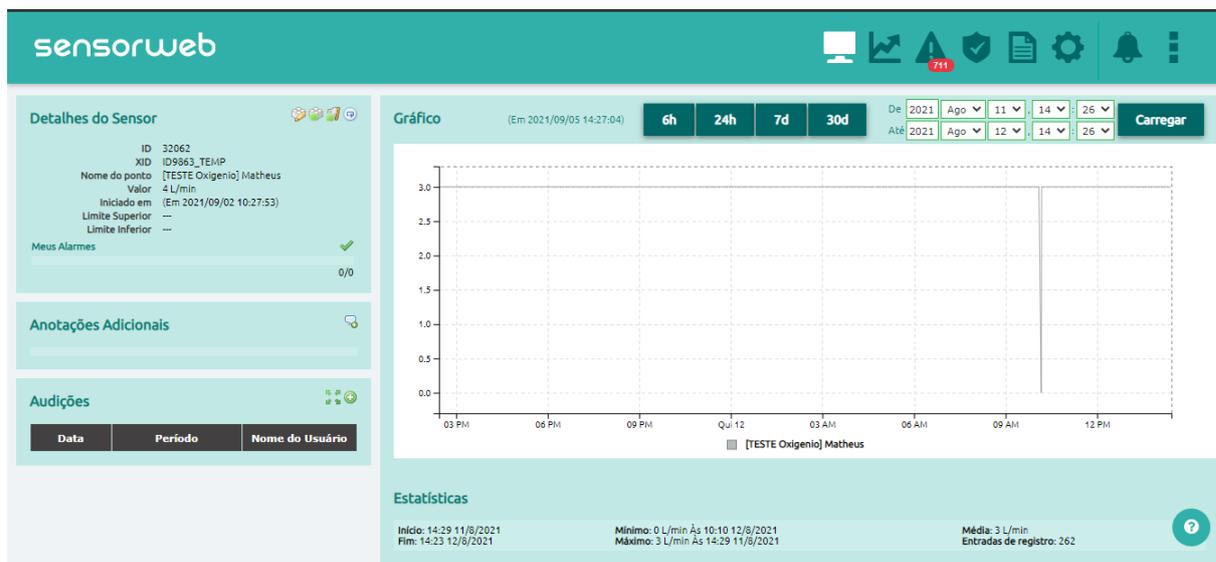
Fonte – Elaborado pelo autor

## 5.6 DESIGN

O desenvolvimento de uma case para o projeto tem a finalidade de proteger a eletrônica de agentes externos e proporcionar um design para o produto. Na Figura 19 e 20 é possível ver o dispositivo sem a case. Nele, observa-se a eletrônica, bem como a bateria e a antena utilizadas.

A Figura 21 e 22 mostra a renderização da case do dispositivo desenvolvida.

Figura 18 – Plataforma Endrixx, detalhamento do gráfico



Fonte – Elaborado pelo autor

Ela possui um tamanho compacto, com as dimensões de 100 mm de comprimento, 50 mm de largura e 80 mm de altura. A princípio, a case vai ser produzida em impressão 3d para os primeiros protótipos. Para uma solução a longo prazo, pensa-se em fazer a case em metal, considerando os fatores robustez e durabilidade.

Figura 19 – Dispositivo



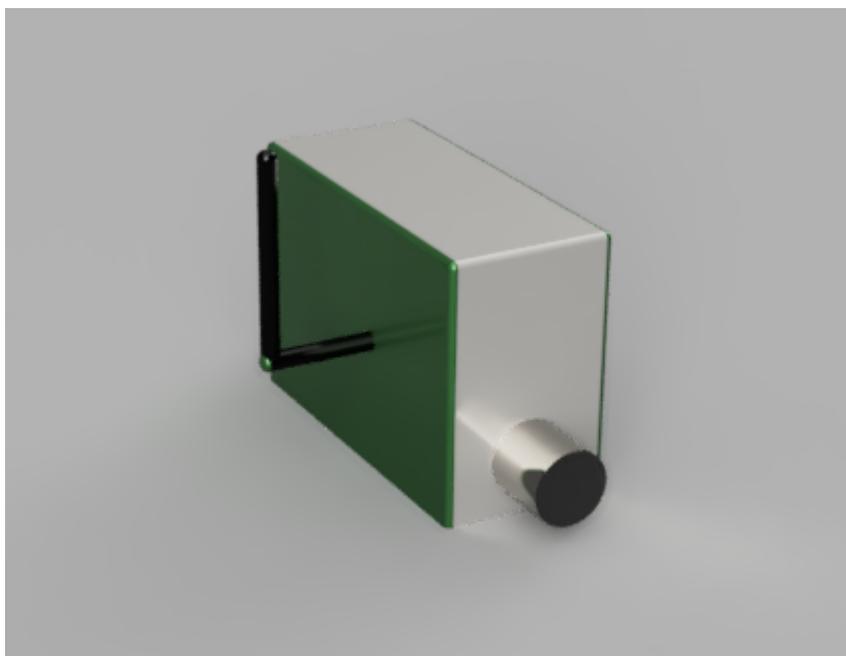
Fonte – Elaborado pelo autor

Figura 20 – Dispositivo



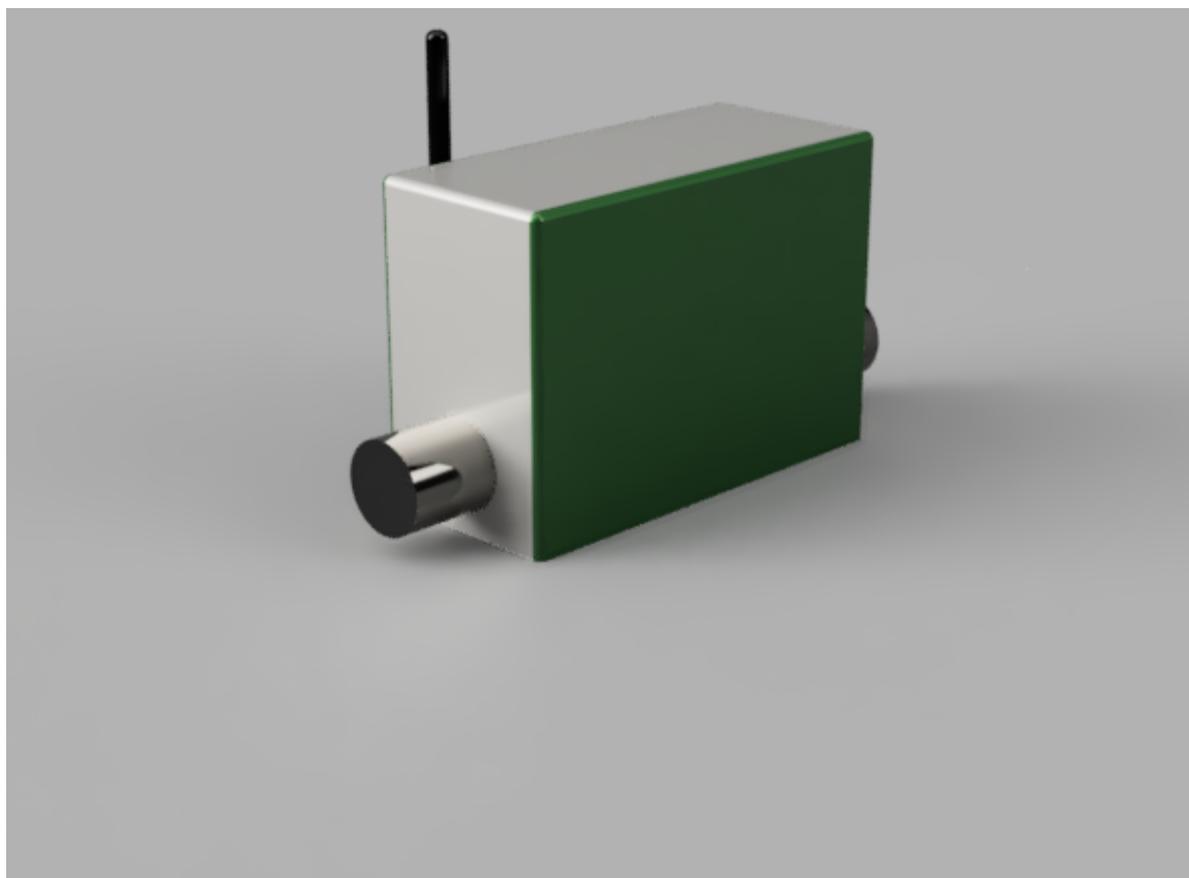
Fonte – Elaborado pelo autor

Figura 21 – Gabinete para o projeto



Fonte – Elaborado pelo autor

Figura 22 – Gabinete para o projeto



Fonte – Elaborado pelo autor

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do dispositivo de medição de gases medicinais. Foram realizados alguns testes para a validação do dispositivo, como a validação dos dados do sensor, a conexão entre dispositivo e *gateway*, a distância máxima entre o *gateway* e o dispositivo e, por fim, uma análise do consumo elétrico do dispositivo.

### 6.1 VALIDAÇÃO DOS DADOS DO SENSOR

Para garantir a qualidade dos dados, se faz necessário uma calibração do sensor. O sensor usado possui uma calibração de fábrica para os principais gases, como oxigênio, ar, dióxido de carbono e argônio. Para comparar os dados do sensor usado, foi utilizado um outro sensor de referência e o fluxômetro padrão utilizado em hospitais.

Na tabela 1, é mostrado o resultado do ensaio. Foi utilizado um compressor de ar para gerar a vazão desejada. Os sensores foram posicionados em série com o fluxômetro no final da linha: o sensor usado foi o primeiro da ordem e em seguida, o sensor de comparação.

Tabela 1 – Resultado dos ensaios

Ensaio	Sensor usado (L/min)	Sensor de comparação (L/min)	Fluxômetro (L/min)
1	1,11	1,33	1
2	2,75	3,21	3
3	4,70	5,05	5
4	6,55	6,89	7
5	9,51	10,24	10
6	15,19	15,80	15

Fonte – Elaborado pelo autor.

Com os resultados da tabela 1, observa-se que os dados do sensor usado foram satisfatórios em comparação ao sensor de referência. A média do erro entre os sensores foi 0,45 *L/min*. Com este valor do erro, pode se ajustar no *firmware* ou na interface web, caso haja necessidade.

### 6.2 CONEXÃO LORAWAN

A validação da conexão foi realizada dentro da plataforma de configuração do *gateway* da Khomp, A Figura 23 demonstra o log dos sensor. Os dados da conexão são no formato JSON, onde o primeiro elemento do JSON da conexão é o DEVeui do dispositivo. Em seguida, é mostrado o tipo de ativação de conexão, neste caso,

foi utilizado o OTAA, como comentado no capítulo anterior. Nos próximos elementos, tem-se o indicador de intensidade de rede, *Received signal strength indication* (RSSI), e em seguida, tem-se o indicador de qualidade *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), e, por fim, tem-se o *payload* enviado pelo dispositivo.

Figura 23 – Log de dispositivos conectados no *gateway*

## Logs de Leitura do Sensor

sensors.log	
Data e Hora	Leitura
2021-09-01 00:40:44,265	{'bn': '50F8A5000001050B', 'bt': 1630456844}, {'n': 'uplink', 'u': 'count', 'v': 0}, {'n': 'activation_mode', 'vs': 'OTAA'}, {'n': 'datarate', 'vs': 'SF9BW500'}, {'n': 'rssi', 'u': 'dBW', 'v': -83}, {'n': 'snr', 'u': 'dB', 'v': 12.199999999999999}, {'n': 'payload_raw', 'vs': '332e3030'}
2021-08-31 23:40:38,113	{'bn': '50F8A5000001050B', 'bt': 1630453237}, {'n': 'uplink', 'u': 'count', 'v': 0}, {'n': 'activation_mode', 'vs': 'OTAA'}, {'n': 'datarate', 'vs': 'SF9BW500'}, {'n': 'rssi', 'u': 'dBW', 'v': -81}, {'n': 'snr', 'u': 'dB', 'v': 12.5}, {'n': 'payload_raw', 'vs': '332e3036'}
2021-08-31 22:40:32,323	{'bn': '50F8A5000001050B', 'bt': 1630449632}, {'n': 'uplink', 'u': 'count', 'v': 0}, {'n': 'activation_mode', 'vs': 'OTAA'}, {'n': 'datarate', 'vs': 'SF9BW500'}, {'n': 'rssi', 'u': 'dBW', 'v': -75}, {'n': 'snr', 'u': 'dB', 'v': 12}, {'n': 'payload_raw', 'vs': '332e3039'}
2021-08-31 21:40:26,536	{'bn': '50F8A5000001050B', 'bt': 1630446026}, {'n': 'uplink', 'u': 'count', 'v': 0}, {'n': 'activation_mode', 'vs': 'OTAA'}, {'n': 'datarate', 'vs': 'SF9BW500'}, {'n': 'rssi', 'u': 'dBW', 'v': -75}, {'n': 'snr', 'u': 'dB', 'v': 12.800000000000001}, {'n': 'payload_raw', 'vs': '332e3133'}

Fonte – Elaborado pelo autor.

Com a conexão com o *gateway* sendo realizada, a próxima etapa é a conexão com a plataforma da SensorWeb, o Endrixx. Na Figura 24 são expostos os dados do dispositivo dentro do Endrixx, como o *payload* e o valor RSSI. O dispositivo tem o nome de "MQTT Khomp - SN50F8A5000001050B". O "MQTT Khomp", refere-se envio realizado por um *gateway* da Khomp utilizando o protocolo MQTT. Na segunda parte, tem-se um prefixo e o id do dispositivo, neste caso, o DEVeui. Com essas informações, valida-se a conexão do protocolo LoRaWAN, do dispositivo até o *network server*.

Figura 24 – Dados recebidos do *gateway* pelo protocolo MQTT dentro do Endrixx

The screenshot shows the Endrixx SensorWeb interface. On the left, there is a list of devices, including 'MQTT Khomp - SN50F8A5000001050B\_RSSI'. The main area displays the 'Watch list' for this device, showing the following data:

Device	Value	Timestamp
MQTT Khomp - SNS0F8A5000001050B_SNW	332e3030	Aug 31 21:40
MQTT Khomp - SNS0F8A5000001050B_RSSI	-83.0	Aug 31 21:40

Fonte – Elaborado pelo autor.

### 6.3 DISTÂNCIA MÁXIMA DE ALCANCE DA REDE LORA

A validação da distância máxima de alcance foi realizada próximo à residência do autor. Para uma análise profunda, utiliza-se o valor de RSSI como indicador de qualidade do sinal. As imediações da residência do autor possuem obstáculos, como residências, edifícios, árvores e desnível de terrenos, o que dificulta a transmissão e causa "sombrias" de sinal da rede.

A Tabela 2 mostra o resultado do teste de distância máximo realizado. Observa-se que foi obtida uma grande área coberta pela rede. A última amostra coletada com o sinal foi em 185 metros do *gateway*, a partir dessa distância o *gateway* não teve mais sinal do dispositivo. Para questões de parâmetros de RSSI, um sinal bom/forte fica até -120 dBm; a partir de então, o sinal é considerado ruim/fraco. Para concluir o estudo, estima-se que, para um hospital médio, um *gateway* consegue cobrir seus leitos com um sinal de qualidade.

Tabela 2 – Resultado do teste de distância máxima

Amostras	Distância (m)	RSSI (dBm)
1	1	-78,00
2	10	-109,00
3	30	-135,00
4	60	-136,00
5	100	-139,00
6	185	-140,00

Fonte – Elaborado pelo autor.

### 6.4 CONSUMO

A caracterização do consumo de energia do dispositivo é um dos requisitos mais importantes, tendo que o mesmo necessita ficar longos períodos ligado. Como mencionado no capítulo anterior, o dispositivo opera em ciclos, e na maior parte do tempo, fica em modo *Sleep*. Pode se dividir o seu consumo em três partes: a primeira parte é a aquisição, a segunda é a transmissão e a terceira parte é *Sleep*.

A tabela 3 permite notar o consumo de corrente nas três partes. Com esses dados, referentes ao consumo, se pode estimar o tempo de duração de uma bateria. As baterias 18650 de mercado possuem uma carga média de 2600mA/h. Com cálculos aproximados, se pode chegar à conclusão de que a autonomia do dispositivo se manteve por 15 dias contínuos. Em teste de duração, com uma bateria de 2600mA/h, com dispositivo enviando dados a cada 5 minutos, a autonomia durou 12 dias.

Tabela 3 – Resultado do consumo

---

Aquisição	5 mA
Transmissão	12 mA
sleep	>10 $\mu$ A

---

Fonte – Elaborado pelo autor.

## 7 CONCLUSÃO

Neste capítulo, se darão as conclusões obtidas a partir dos resultados construídos com o projeto, exibindo possíveis perspectivas futuras, ao projeto, propondo-se melhorias e novas funcionalidades.

Diante dos resultados obtidos durante todo o processo, os objetivos traçados no início do documento foram satisfeitos. O protótipo conseguiu suprir a necessidade para a qual foi solicitado. De acordo com o objetivo geral e objetivos específicos, todos os itens foram atendidos.

O sistema de gases medicinais proporciona uma melhora no sistema de faturamentos e desperdícios de gases medicinais, por conta do seu eficiente monitoramento constante e individualizado, e também otimiza a gestão nos leitos, facilitando no trabalho dos enfermeiros, no cuidado e na prescrição dos gases para terapias.

Os requisitos propostos para o desenvolvimento foram atendidos. O projeto resultou em um equipamento compacto, que não possui fios ou cabos de conexão, melhorando seu design e ergonomia. A autonomia do dispositivo encontra-se um pouco abaixo do esperado, fator determinado pela escolha da placa de desenvolvimento. A tecnologia LoRaWAN traz a confiabilidade dos dados interrompidos, pois seu funcionamento ocorrerá em uma rede privada, com sinal confiável. Os dados do sensor se mostraram confiáveis, com medições dentro do esperado e contínuas, com uma boa repetibilidade.

A Sensorweb abre um novo mercado com esse equipamento e serviço. O monitoramento de gases medicinais é um mercado promissor, visto que um hospital de médio porte possui de 51 a 151 leitos, enquanto um hospital de grande porte chega a ter 500 leitos. Com isso, há uma grande possibilidade de escalabilidade para o serviço, trazendo melhorias no serviço prestado por parte dos hospitais.

### 7.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

O projeto está parcialmente finalizado, restando apenas a fase de testes em campo. Para isso ocorrer, se faz necessária a disponibilidade de clientes parceiros. Outra pendência é a fabricação da case em 3d, para a proteção durante os testes.

Para novas versão do projeto, pretende-se desenvolver uma eletrônica própria, em vias de otimização do consumo de energia, somente com os periféricos necessários. Outra melhoria é quanto ao microcontrolador. O ESP32 possui um alto consumo de energia, comparado com outros microcontroladores, pois possui funções que vão além do necessário para o atual projeto, assim, pode se buscar por um microcontrolador mais simples, que tenha otimização de consumo.

Outros passo importante se dá em relação ao custo de produção. O maior custo da construção, no projeto, é o sensor de vazão, o qual é importado e tem cotação de

valor para compra em dólar, o que aumenta o preço do produto final. Por conta disto, a empresa pensa em projetar o sensor de vazão através do método de medição de pressão diferencial. Para isso, a empresa pensa em investir em equipamentos para desenvolver o sensor dentro da sua própria estrutura.

Pontua-se que, para o protótipo se tornar um produto final, é necessária a homologação da Anatel, visto que o órgão exige que todo o equipamento que transmita rádio frequência passe por uma homologação. E por fim, o sensor de vazão deve passar por uma calibração de laboratório para ter a precisão e exatidão aferidas, sendo fundamental conhecer as incertezas que possui.

## REFERÊNCIAS

- ALL ABOUT CIRCUITS. **Introduction to the I2C Bus**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-the-i2c-bus/>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- ANALOG. **I2C Primer: What is I2C?** [S.l.]. Disponível em: <https://www.analog.com/en/technical-articles/i2c-primer-what-is-i2c-part-1.html>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- AUGUSTIN, Aloÿs; YI, Jiazi; CLAUSEN, Thomas; TOWNSLEY, William Mark. *A Study of LoRa: Long Range amp; Low Power Networks for the Internet of Things*, 2016.
- BUYYA, R.; DASTJERDI, A. V. **Internet of Things: Principles and Paradigms**. [S.l.: s.n.], 2016.
- FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. [S.l.: s.n.], 2004.
- GÓMEZ CHAPARRO, Miguel; SANZ-CALCEDO, Justo; MÁRQUEZ, Luis. *Analytical Determination of Medical Gases Consumption and Their Impact on Hospital Sustainability*, 2018.
- HOLZINGER, Andreas; RÖCKER, Carsten; ZIEFLE, Martina. *From Smart Health to Smart Hospitals*. In: [S.l.: s.n.], 2015.
- INDUCTIVE AUTOMATION. **what is mqtt**. [S.l.]. Disponível em: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-mqtt>. Acesso em: 1 ago. 2021.
- KHOMP. **ITG 200 Indoor**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.khomp.com/pt/produto/itg-200/>. Acesso em: 5 set. 2021.
- KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP32**. [S.l.: s.n.], 2017.
- LORA. **What are LoRa and LoRaWAN?** [S.l.]. Disponível em: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

OASIS OPEN. ***OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) TC***. [S.l.].

Disponível em:

[https://www.oasis-open.org/committees/tc\\_home.php?wg\\_abbrev=mqtt](https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=mqtt). Acesso em: 28 jul. 2021.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. [S.l.: s.n.], 2021.

SEMTECH. **Semtech SX1276**. [S.l.]. Disponível em:

<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1276>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SENSIRION. ***The Thermal Measurement Principle***. [S.l.]. Disponível em:

<https://www.sensirion.com/en/about-us/company/technology/cmosens-technology-for-gas-flow/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

SENSORWEB. **Sensorweb é reconhecida pela ANPROTEC como melhor incubada do Brasil**. [S.l.]. Disponível em: <https://sensorweb.com.br/sensorweb-e-reconhecida-pela-anprotec-como-melhor-incubada-do-brasil/>. Acesso em: 28 ago. 2021.

SENSORWEB. **Quem somos?** [S.l.]. Disponível em:

<https://sensorweb.com.br/a-sensorweb/sobre-nos-sensorweb/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

WOLF, Wayne. ***Computers as Components, Second Edition: Principles of Embedded Computing System Design (The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design)***. [S.l.: s.n.], 2008.

X-POWERS. **AXP192**. [S.l.]. Disponível em:

[http://www.x-powers.com/en.php/Info/product\\_detail/article\\_id/29](http://www.x-powers.com/en.php/Info/product_detail/article_id/29). Acesso em: 27 jul. 2021.