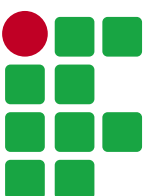


Cristofer Gaier Sais

SISTEMA DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTES EM UNIDADES FRIGORÍFICAS

Rio Grande(RS)

2022





Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas

Cristofer Gaier Sais

Orientador: Prof. Rogério Malta Branco

Coorientador: Prof. Ivoni Carlos Acunha Junior

Resumo

O presente documento visa apresentar o trabalho desenvolvido na construção do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas*. Este projeto visa integrar módulos de monitoramento de variáveis ambientais, situados em diversos lugares próximos a instalações frigoríficas através do conceito *IoT*. Assim, facilitando o acesso à informação por parte dos usuários e fornecendo dados em tempo real e relatórios que poderão contribuir para a eficiência do consumo energético dentro de uma unidade frigorífica.

Palavras Chave: Refrigeração. Automação Industrial. IoT. Eficiência energética.

Abstract

This document aims to present the work carried out in the construction of the System for Analysis and Monitoring of Environmental Variables in Refrigerating Units. This project aims to integrate modules for monitoring environmental variables, located in different places close to refrigerated installations through the IoT concept. Thus, facilitating access to information by users and providing real-time data and reports that can contribute to the efficiency of energy consumption within a refrigerating unit.

Keywords: Refrigeration. Industrial Automation. IoT. Energy efficiency.

1 Introdução

As instalações de refrigeração dentro uma planta industrial são tipicamente uma das principais consumidoras de energia. Sistemas industriais de refrigeração, dentro de uma unidade frigorífica, são constituídos por diferentes componentes, incluindo compressores, evaporadores, condensadores e diversos outros elementos de controle.

Em uma planta frigorífica, normalmente os equipamentos não proporcionam o melhor desempenho possível, sendo observados desvios significativos entre as condições reais de operação e as condições de projeto. Logo, o sistema de refrigeração pode não atuar com seu melhor desempenho, resultando em baixa eficiência operacional e custos operacionais elevados. Entretanto, os tais sistemas podem se beneficiar de um processo de otimização que incorpore o monitoramento dos parâmetros operacionais importantes, que poderão resultar em ajustes de controle posteriores ou alterações no sistema operacional com base nos dados avaliados.

A proposta deste projeto é construir um sistema capaz de monitorar variáveis ambientes que influenciem diretamente no modo de atuação da planta frigorífica e possam servir como parâmetros para decisões de atuações futuras, de modo a melhorar o desempenho do sistema a fim de reduzir o consumo de energia elétrica dos sistemas de refrigeração de todos os portes.

1.1 Justificativa

Indústrias têm investido fortemente na automação de seus processos, principalmente quando se trata de sistemas de monitoramento e aquisição de dados ([WEF, 2021](#)). Condições de temperatura de câmaras de congelamento, túneis de congelamento, câmaras de resfriamento, entre outros em industriais voltadas ao abate frigorífico têm alcançado papéis de destaque crescente, sobretudo com os parâmetros de qualidade estipulados por órgãos de fiscalização ([GOV, 2016](#)).

Para conseguir manter ambientes refrigerados na sua temperatura ideal, são utilizados sistemas de refrigeração automatizados para monitorar e atuar devidamente para que a temperatura medida corresponda com o setpoint predefinido. Contudo, grande parte dos sistemas de controle de temperatura em câmaras frigoríficas deixa de considerar as variáveis externas a este local, como, por exemplo, a umidade relativa do ar e temperatura do ambiente onde a câmara está situada.

Assim, esse projeto tem como principal finalidade preencher essa lacuna, propiciando a implementação do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientes em Unidades Frigoríficas* que forneça dados referentes a umidade relativa do ar, pressão atmos-

férica e temperaturas do ambiente de microrregiões de onde a unidade frigorífica se localiza, assim podendo servir como parâmetro para a atuação de controladores que visam controlar a temperatura interna de ambientes refrigerados, visando fornecer dados importantes para a atuação eficiente em unidades frigoríficas.

1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo geral a construção de um sistema de análise e monitoramento de variáveis ambientais em unidades frigoríficas, capaz de coletar, armazenar e disponibilizar dados referentes à temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica de determinados locais, a fim de fornecer dados que colaborem para a eficiência energética do processo de refrigeração. Para tanto, são necessários os seguintes objetivos específicos:

- Programação do módulo microcontrolado (ESP-01) na etapa de aquisição de dados;
- Elaboração e construção da placa de circuito impresso para aquisição de dados;
- Desenvolvimento do invólucro do módulo de aquisição de dados;
- Configuração e construção dos supervisórios na plataforma *ThingsBoard*;
- Realizar envio dos dados coletados ao *ThingsBoard* via protocolo MQTT;
- Implementar o modo de baixo consumo (*Light Sleep*) no módulo microcontrolado ESP-01.

2 Fundamentação Teórica

Nesta seção, apresentam-se os principais pontos nos quais o projeto se baseia. Primordialmente, o monitoramento contínuo das variáveis do ambiente é fundamental para auxiliar na eficiência energética dentro de uma unidade frigorífica, já que podem servir como parâmetros para processos de refrigeração.

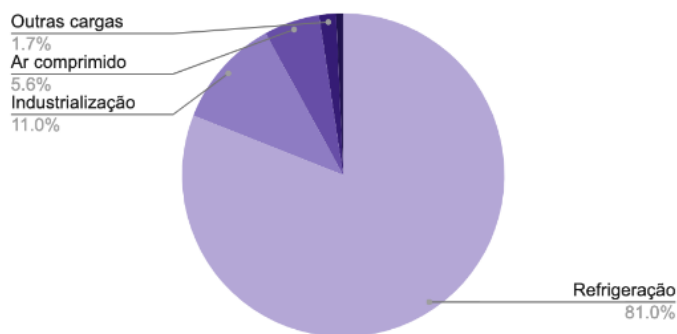
É sabido que plantas frigoríficas geram um elevado custo energético, principalmente na indústria alimentícia. O consumo de energia elétrica em frigoríficos se divide basicamente em três operações: abate, desossa e congelamento. No abate são utilizados equipamentos de compressão de ar para o processo de insensibilização do animal, na desossa o consumo geralmente está na parte de automação de esteiras e ganchos levando as carcaças para os próximos processos e no processo principal, a refrigeração, a carne embalada ou carcaças devem ser armazenadas numa temperatura ideal para manter sua qualidade.

A refrigeração representa até 81% do consumo elétrico de um frigorífico, como podemos observar na Figura 1 (CUBI-ENERGIA, 2022). Portanto, esse setor está sempre

disponível a tecnologias que possibilitam dar mais eficiência ao processo de refrigeração e consequentemente gerar uma economia financeira. Levando isso em consideração, surgiu a ideia de construir o *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas*, capaz de coletar, armazenar e disponibilizar dados referentes a pressão atmosférica, umidade relativa do ar e temperatura do ambiente, a fim de auxiliar o processo de atuação nas câmaras frigoríficas.

Essa necessidade surge devido à grande amplitude térmica presente em diversas regiões onde são instaladas unidades frigoríficas. A diferença entre a temperatura máxima e mínima registradas em um mesmo lugar durante certo período, podendo ser diário, mensal ou anual e a variação da umidade relativa do ar podem influenciar diretamente na temperatura interior de câmaras frigoríficas. Portanto, o *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* tem o objetivo principal de auxiliar no processo de refrigeração de ambientes fechados através do monitoramento de dados do ambiente externo.

Figura 1 – Consumo Médio de Energia Elétrica em um Frigorífico ([CUBI-ENERGIA, 2022](#))



2.1 Internet das Coisas (IoT)

O conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) foi fundamental para a elaboração e construção deste projeto, pois por meio da computação de baixo custo, nuvem, big data, análise avançada e tecnologias móveis, dispositivos físicos podem compartilhar e coletar dados com o mínimo de intervenção humana. Na indústria, a internet das coisas une máquinas inteligentes e análise de dados avançada.

O objetivo é desenvolver sistemas mais eficientes e ágeis que monitoram, coletam, alteram, analisam e entregam dados fundamentais para decisões rápidas e certas, onde os sistemas digitais podem gravar, monitorar e ajustar cada interação entre itens conectados ([ORACLE, 2019](#)). Neste projeto, os sensores são considerados dispositivos e o Wi-Fi como a rede de comunicação.

A plataforma *ThingsBoard* ([THINGSBOARD, 2021](#)) é responsável pela hospedagem

e disponibilidade do Broker, o qual permite que os dados possam ser processados e consequentemente armazenados. Além disso, o *ThingsBoard* disponibiliza diversas ferramentas que permitem o monitoramento em tempo real e a análise do histórico dos dados coletados pelos dispositivos instalados em campo.

2.2 Transporte por Telemetria de Enfileiramento de Mensagens (MQTT)

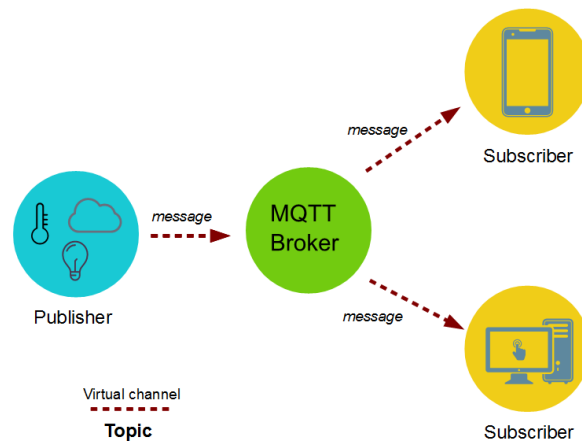
Desenvolvido em meados de 1990 pela IBM e Eurotech, o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e tendo tradução para português sob o nome de Transporte por Telemetria de Enfileiramento de Mensagens é um protocolo de mensagens que foi criado visando oferecer um baixo consumo de rede, banda e também dos demais recursos de software. O formato utilizado no *MQTT* é de Cliente/Servidor. Por esse motivo e também por ter fundamentos na pilha *TCP/IP* ou em outros protocolos de rede, o *MQTT* tem extrema utilidade na área de desenvolvimento de projetos de comunicação entre máquinas, também conhecido pelo termo M2M (*Machine to Machine*) e, principalmente, para conectividade de IoT (Internet of Things) (SANTOS, 2022).

A estrutura de funcionamento do Protocolo MQTT utiliza um modelo de *Publish/-Subscribe*, conforme ilustrado na Figura 2, o qual permite que o cliente faça postagens e/ou receba informações enquanto o servidor irá administrar esse envio e o recebimento dos respectivos dados. Portanto, em um MQTT haverá um publicador, responsável por enviar as mensagens a um determinado tópico onde um assinante poderá inscrever-se para poder acessar a mensagem. Como não há uma conexão direta entre o assinante e o publicador, para que essas mensagens aconteçam, o protocolo MQTT irá precisar de um gerenciador de mensagens, chamado de *Broker*.

Cabe mencionar, ainda, que o protocolo MQTT oferece um alto nível de segurança. Geralmente, as mensagens transmitidas através do *Message Queuing Telemetry Transport* são protegidas através do uso de certificado SSL (*Secure Socket Layer*) com criptografias avançadas. Também existem algumas configurações de qualidade do serviço, conhecido como *Quality of Service (QoS)*. Esse aumenta a confiabilidade, já que garante a entrega da mensagem. O QoS vai de uma escala de 0 a 2, onde 0 não possui confirmação de entrega da mensagem entre Publish e Subscribe e não armazena mensagem para retransmissão, 1 já possui a confirmação de entrega e o 2 garante a entrega da mensagem com confirmação de recebimento (VIEIRA, 2021).

Portanto, o MQTT suporta diversos tipos de mecanismos para proteção de informações e de autenticações que podem ser configurados com facilidade pelo próprio cliente diretamente no Broker.

Figura 2 – Diagrama de funcionamento do protocolo MQTT (SWA, 2016)



2.3 Sensores

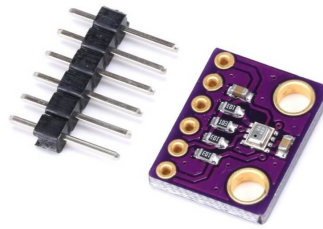
O sensor é um dispositivo com a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem diversos tipos e modelos de sensores que respondem a estímulos diferentes como, por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Ao receber o estímulo, a sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado pelos outros dispositivos (MATTEDE, 2016). Conforme já relatado, o módulo de aquisição de dados do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* terá dois sensores responsáveis pela aquisição de dados das variáveis ambientes, que serão monitoradas em determinados intervalos de tempo neste projeto. Os sensores são: o BMP280 (responsável pela leitura de pressão atmosférica e temperatura) e o DHT11 (responsável pela leitura de temperatura e umidade relativa do ar). Esses sensores irão se comunicar com o microcontrolador ESP8266 do módulo ESP-01 que conta com microprocessador ARM L106 Diamond da Tensilica de 32 bits com suporte embutido à rede Wi-fi e memória flash integrada (FULLER, 2022).

2.3.1 BMP280

O sensor de pressão e temperatura BPM280, ilustrado na Figura 3, é o sucessor do BMP180, com ganhos em termos de precisão e consumo de energia, além do tamanho 63% menor, tornando comum o seu uso em dispositivos móveis e portáteis. Assim como o seu antecessor, o BMP280 possui um sensor de temperatura embutido, reduzindo o número de componentes e conexões necessárias a um projeto. Além disso, o módulo BMP280 funciona com interfaces I²C ou SPI e tensão de alimentação de 3V, sendo que o baixo consumo de energia permite o funcionamento por longos períodos com alimentação por bateria, sendo indicado para projetos como drones, estações meteorológicas, dispositivos com GPS e relógios (FILIPEFLOP, 2021).

A utilização desse sensor na construção do protótipo se dá devido, principalmente,

Figura 3 – BMP280 (FILIPEFLOP, 2021)

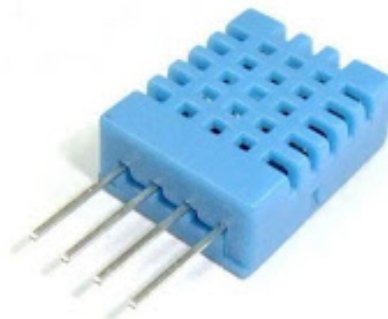


ao baixo consumo energético, baixo custo-benefício, e excelente qualidade para trabalhar com o requisitos propostos pelo ambiente de trabalho onde o módulo de captação de dados estará alocado, já que o sensor possui as seguintes características técnicas: consumo de corrente de $2.7\mu\text{A}$, faixa de medição pressão de 300 - 1100hPa (equivalente a +9000 à - 500 m acima/abaixo do nível do mar), precisão de $\pm 0.12\text{hPa}$ (equivalente a ± 1 m), faixa de temperatura de -40 à 85 °C, precisão temperatura de ± 1.0 °C e dimensões de 15 x 12 x 2,3mm (sem os pinos de conexão). Além de desempenhar o papel fundamental de monitorar duas variáveis extremamente importantes para o processo de refrigeração.

2.3.2 DHT11

O DHT11 é um sensor de umidade e temperatura, ilustrado na figura 4, que permite medir temperaturas de 0 a 50 °C e umidade relativa do ar na faixa de 20 a 90%. Sua faixa de precisão para temperatura é de 2 °C, e de umidade, 5%. Além disso, DHT11 é um sensor de baixo custo que usa um medidor capacitivo para medir a umidade e um termistor para medir a temperatura ambiente. (BABOS, 2021).

Figura 4 – DHT11 (BABOS, 2021)



A presença desse sensor no módulo de aquisição de dados do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* é essencial para a coleta de umidade relativa do ar, já que possui uma faixa de medição ideal para o local onde ele será utilizado, em ambientes externos, dentro de uma unidade frigorífica. Além dos

itens supracitados, estas são suas características técnicas: tensão de alimentação de 3 - 5V, consumo de corrente correspondente a 200uA — 500mA (em standby de 100uA — 150 uA).

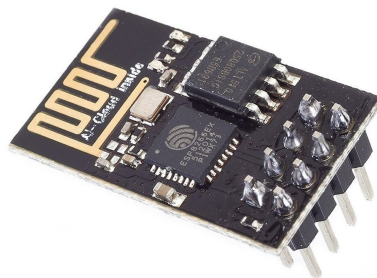
2.4 ESP8266 ESP-01

O Módulo Wi-fi ESP-01 oferece uma solução Wi-fi *SoC* (sistema em um chip) fácil de usar para atender às demandas contínuas de uma solução amigável, compacta e confiável, já que o mesmo possui um microcontrolador embutido. Assim, podemos programar diretamente este pequeno chip para uma vasta gama de problemas na Indústria, que estejam relacionadas à Internet das Coisas (*IoT*), considerando que o módulo integra uma antena, Rf Balun, amplificador de energia, filtros e módulo de arranjo de energia, assim facilitando sua utilização em uma grande escala de projetos, já que o ESP pode realizar o acesso às redes domésticas ou industrial de Wi-fi, sem necessitar de módulos e componentes adicionais para realizar tal conexão (ALI, 2019).

O módulo Wi-fi ESP8266-01 também possui uma versão atualizada do processador L106 Diamond série L106 Diamond da Tensilica e do *SoC SRAM*, permitindo fácil interligação com sensores externos e outros dispositivos através dos *GPIOs* (FULLER, 2022).

A escolha pela utilização desse módulo microcontrolado na construção desse projeto, se dá, principalmente, pelas suas características em relação ao baixo custo de aquisição e baixo consumo de energia. Levando isso em consideração, foi implementado o *LightSleep*, através da biblioteca *Machine* em Micropython, a qual permite que o Rádio Wi-fi/Wireless e Clock interno sejam desligados. A CPU fica pendente. Com este modo, é possível acordar a CPU com um sinal enviado (*HIGH/LOW*) para um pino definido no software, continuando seu código normalmente. Como o anterior, este modo também possui o *Automatic sleep*, que faz o MCU dormir entre os intervalos do DTIM. Nesse período, o módulo consome em torno de apenas 400uA (MORAIS, 2017).

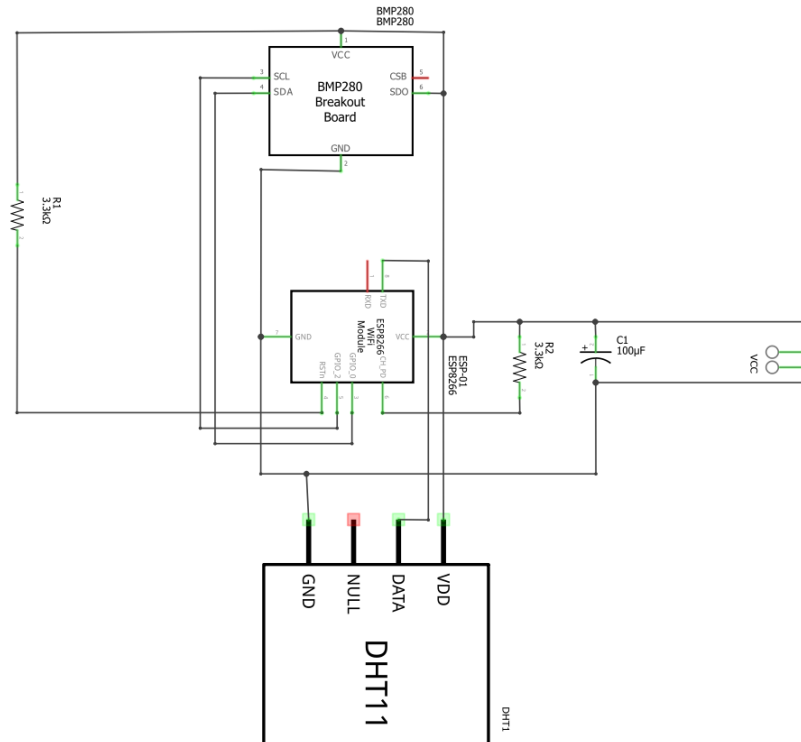
Figura 5 – ESP8266 ESP-01 (FULLER, 2022)



3 Projeto e implementação

Esta seção visa expor a ideia geral de funcionamento do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais* desenvolvido, explicando a comunicação entre o módulo de aquisição de dados (Figura 6) com a interface web. Assim, a solução proposta por este projeto é composta pela instalação de módulos em campo, compostos pelos seguintes sensores: BMP280 (sensor de temperatura e pressão) e DHT11 (sensor de temperatura e umidade relativa do ar). Esses são responsáveis por coletar os dados e enviá-los para o microcontrolador do ESP-01, encarregado de tratar e realizar o envio dos dados coletados para a plataforma *ThingsBoard* através do protocolo de comunicação *MQTT* em intervalos regulares. Além disso, todos os componentes de cada módulo instalado em campo serão alimentados por uma bateria de lítio de 3,7 Volts. A proposta é que todos os componentes do módulo possam ser facilmente substituídos, visando facilitar possíveis manutenções futuras, para isso todos os principais componentes do circuito elétrico do módulo não foram soldados diretamente na placa, mas sim encaixados em seus respectivos conectores. Cabe ressaltar que foi desenvolvido um invólucro de proteção contra chuva para a proteção dos módulos que estarão situados em áreas descobertas.

Figura 6 – Diagrama do circuito do módulo de aquisição de dados

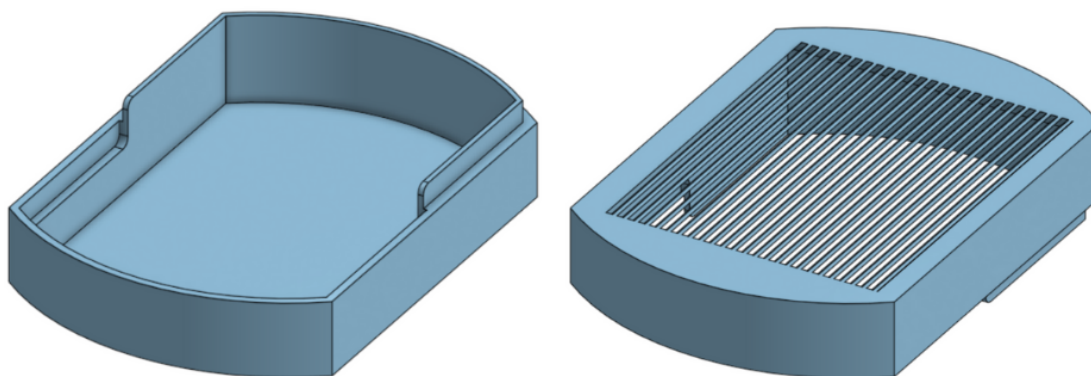


3.1 Plataforma Onshape e Desenvolvimento do Invólucro

A plataforma de desenvolvimento de produto *OnShape SaaS* (*Software as a Service*) e o processo de impressão 3D (três dimensões) foram os meios que tornaram possível a concretização da ideia de um módulo de aquisição de dados resistente à chuva e capaz de

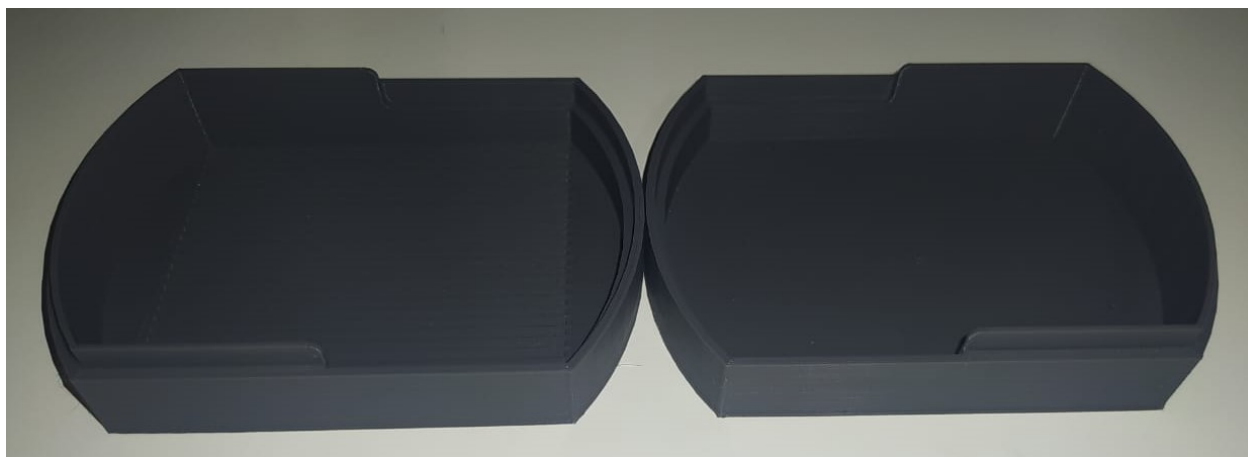
desempenhar com excelência suas funções em diversos tipos de ambiente dentro de uma unidade frigorífica. SaaS é uma solução para usar um software baseado em nuvem como se fosse um serviço onde o cliente paga pelo acesso (BRASIL, 2018). O Onshape (ONSHAPE, 2021) é um sistema CAD (Computer Aided Design) para desenvolvimento de produtos que permite ilustrar ideias e produzi-las por meio da manufatura aditiva. Ele pode ser utilizado em qualquer dispositivo móvel e vários usuários podem trabalhar concomitantemente em um mesmo projeto. Além disso, a plataforma oferece ferramentas avançadas de modelagem e projeta o gerenciamento de dados em um espaço de trabalho seguro na nuvem com alta disponibilidade e segurança. Vale ressaltar que a versão estudantil da plataforma foi utilizada para criar as projeções 3D do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais* (Figura 7), o que significa que cada criação é aberta ao público e pode ser baixada.

Figura 7 – Projeto do invólucro no OnShape



As peças projetadas e impressas para este projeto foram: uma base lisa para o invólucro e outra peça similar a essa, porém com frestas a um ângulo de 45°, com o intuito de evitar a entrada de água proveniente de chuva (Figuras 8 e 9).

Figura 8 – Parte inferior e superior do invólucro



O conjunto de peças foi projetado para que ambas possam ser encaixadas facilmente, assim oferecendo uma grande vedação para a proteção do circuito elétrico e também possam ser desacopladas para intervenções de manutenção. O invólucro foi planejado para ser fixado em qualquer superfície vertical, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 9 – Frestas para a entrada de ar



Figura 10 – Invólucro fechado

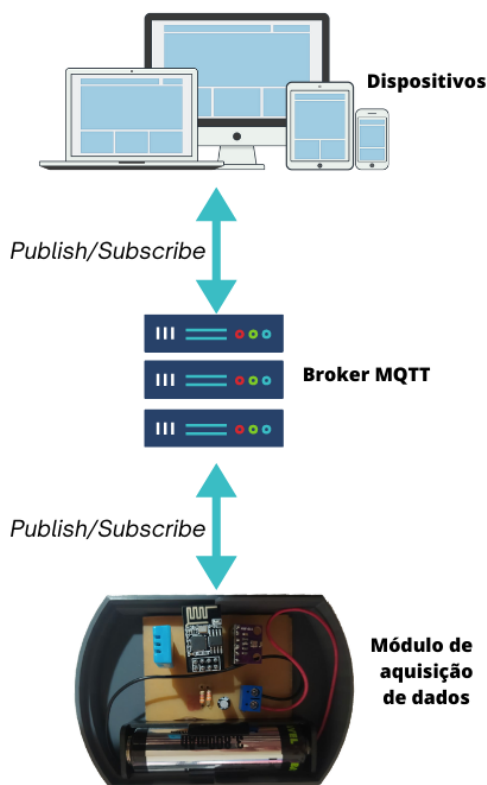


3.2 Protocolo de Comunicação MQTT com *ThingsBoard*

Na etapa de planejamento de construção do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais*, optou-se pela utilização do protocolo *MQTT* para possibilitar a comunicação entre os módulos de aquisição de dados instalados em campo e a plataforma de visualização disponível na *web*. Essa decisão foi tomada levando em consideração as condições do ambiente a ser monitorado, pois atualmente a conectividade *Wi-fi* é altamente difundida e utilizada nas indústrias devido ao crescimento exponencial do conceito de indústria 4.0 (TOTVS, 2021). Cabe ressaltar que a utilização deste sistema pode necessitar de pequenas alterações na configuração do protocolo de comunicação, pois em indústrias de grande porte se recomenda a utilização da variante segura do *MQTT*, denominada *MQTTS*, já que essa

estabelece uma conexão criptografada entre o *Broker* e os dispositivos envolvidos na rede de comunicação, assim ampliando a segurança dos dados trafegados (OPENEST, 2021). O módulo de aquisição de dados desenvolvido neste projeto realiza o envio de dados através do protocolo MQTT (Figura 11) através do código desenvolvido em Micropython e utilizando a *API uMQTT.simple*, o que possibilita o envio dos dados ao *ThingsBoard* (THINGSBOARD, 2021), uma plataforma IoT de telemetria.

Figura 11 – Diagrama de funcionamento do sistema



A plataforma *ThingsBoard* possui uma aba denominada "dispositivos" e através dela podemos cadastrar os módulos espalhados em uma unidade frigorífica e acompanhar os logs dos últimos dados coletados de cada estação. Após realizado o cadastro das estações, temos acesso ao token (identificador único de cada módulo) e através dele podemos vincular as variáveis monitoradas pelos sensores ao seu respectivo módulo registrado na plataforma. O ESP-01 de cada módulo de aquisição de dados é responsável por receber informações dos sensores conectado a ele, converter os valores recebidos para as respectivas unidades das variáveis monitoradas e enviá-los à plataforma *ThingsBoard*. Após essa etapa, para que se obtenha a análise e o monitoramento dos valores das medições, é preciso criar um *Dashboard*. Nele, seleciona-se os *widgets* de interesse para poder acompanhar o histórico ou o valor em tempo real de cada variável monitorada, criaram-se aliases de entidade, um para cada módulo, e a partir disso é possível optar quais valores coletados o usuário deseja expor em cada gráfico ou tabela.

Cabe mencionar, ainda, que todos os *widgets* possuem diversos atributos configurá-

veis, como, por exemplo: estilização, unidade da variável medida, range de exibição, entre outros. Por fim, sempre que estiver ocorrendo medições, essas poderão ser observadas em tempo real nos gráficos da plataforma, bem como todas as medições que ocorreram ficarão salvas no histórico, e basta escolher uma data e hora quando necessitar consultar informações. sendo assim, os gráficos podem se basear tanto no tempo real quanto podem ser estipulados com os valores contidos nos históricos.

No plano de desenvolvimento básico, disponibilizado gratuitamente para a comunidade, a capacidade de armazenamento de dados é limitada, porém, existem diversos planos pagos que podem variar conforme a necessidade de armazenamento e utilização do usuário final (THINGSBOARD, 2021).

3.3 Economia de Energia com Sleep Mode

Deixar o microcontrolador ociosamente por longos períodos consome muita bateria desnecessariamente e inviabiliza projetos portáteis como os módulos de aquisição de dados desenvolvidos neste projeto, pois necessitamos trocar incessantemente a bateria para evitar transtornos com a interrupção de funcionamento dos módulos instalados em campo. Para que as estações não necessitem de intervenções com alta frequência para a troca de baterias, existe um modo de hibernação que coloca alguns recursos do ESP-01 em hibernação. Isso possibilita o efetivo funcionamento de projetos portáteis.

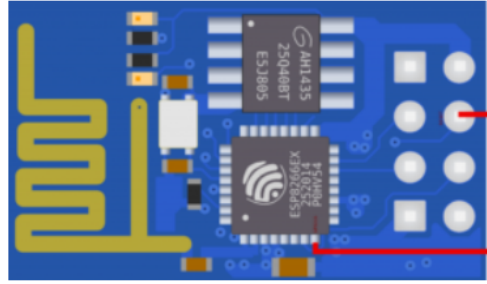
Existem 3 modos de economia de energia, são eles: *Modem Sleep* (somente o rádio Wi-fi/Wireless do ESP é desligado), *Light Sleep* (rádio Wi-fi/Wireless e Clock interno são desligados, já a CPU fica pendente) e *Deep Sleep* (rádio Wi-fi/Wireless, CPU e Clock ficam desligados, apenas o RTC continua ligado). Cada um deles possui seu consumo de energia aproximado, conforme relatado na tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de complexidade de tabela

Sleep Mode	Consumo aproximado
Modem Sleep	15 mA
Light Sleep	400 uA
Deep Sleep	20 uA

Inicialmente a ideia era implementar o modo Deep Sleep em todas as estações de aquisição de dados, já que ele oferece o menor consumo de energia dentre os modos de hibernação disponíveis, porém conforme os estudos realizados, percebeu-se que seria necessário realizar uma modificação no Hardware do ESP-01, conforme ilustrado na Figura 12, para efetuar a ligação do pino D0 (GPIO16) ao pino de RESET, pois quando o *RTC* estoura o tempo (*Overflow*), é gerado um pulso *LOW* ao pino do RESET, fazendo com que o mesmo seja resetado e recomece o código do começo.

Figura 12 – Adaptação no Hardware para Implementar o Deep Sleep no ESP-01 (MORAIS, 2017)



Portanto, para evitar que seja necessário efetuar modificações em todos os módulos microcontrolados envolvidos no *Sistema de análise e monitoramento de Variáveis Ambientais*, o que poderia inviabilizar a agilidade em possíveis trocas do módulo em casos que seja necessário realizar tal operação, optou-se por implementar o modo *Light Sleep* (Listagem 12), pois depois do modo Deep Sleep ele é o que menos consome energia e não possui as desvantagens citadas acima, já que não requer nenhuma modificação no Hardware do ESP-01.

Listagem 1 – Light Sleep (MICROPYTHON, 2020)

```
import machine

tempo_sleep = 10000 #define periodo de tempo do sleep em milissegundos

machine.lightsleep(tempo_sleep)
```

3.4 Construção do Protótipo

Após o planejamento e a estruturação inicial do projeto foram adquiridos os sensores que possuem a melhor relação custo-benefício no mercado e que atendessem aos requisitos impostos pelo trabalho a ser desempenhado, a seguir foram realizados diversos testes e adaptações na programação do módulo ESP-01 — utilizando o adaptador USB para Módulo Wi-fi ESP8266 ESP-01 (FILIPEFLOP, 2020) —, no circuito eletrônico e no funcionamento dos sensores em uma placa de ensaio, conforme ilustrado na Figura 13, iniciou-se o projeto de elaboração da placa de circuito impresso (PCI) da estação de coleta de dados do ambiente, visando aglutinar o posicionamento dos sensores para que o produto final resultasse em uma placa pequena e fácil de locomover, instalar e realizar manutenções e trocas de componentes, conforme representado na Figura 14.

Ao finalizar o desenho da PCI utilizando o *CAD Fritzing*, a placa foi encaminhada para o processo de corrosão, a fim de se adequar ao projeto elaborado e foram consequentemente realizadas as perfurações para possibilitar o encaixe dos componentes a serem soldados

Figura 13 – Representação da Construção Inicial Realizada no Fritzing (FRITZING, 2017)

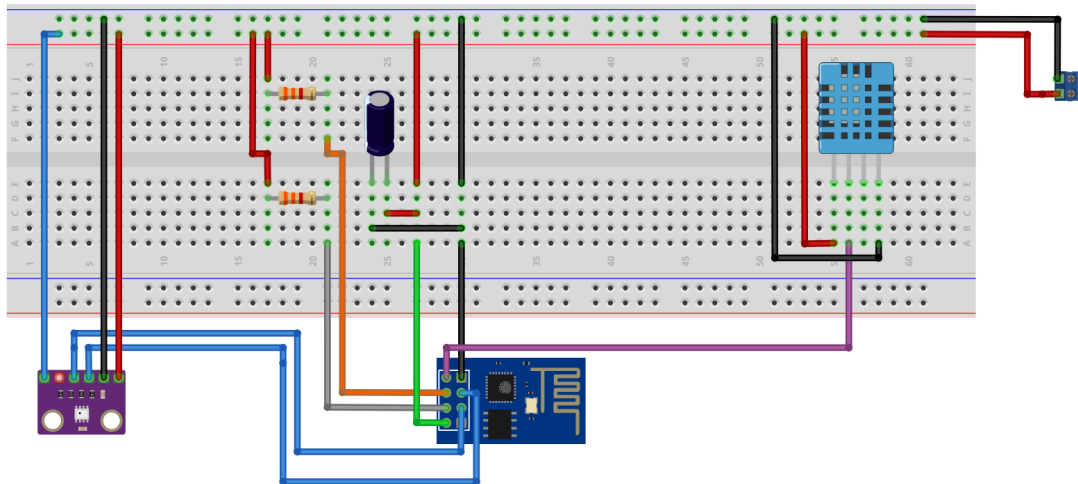
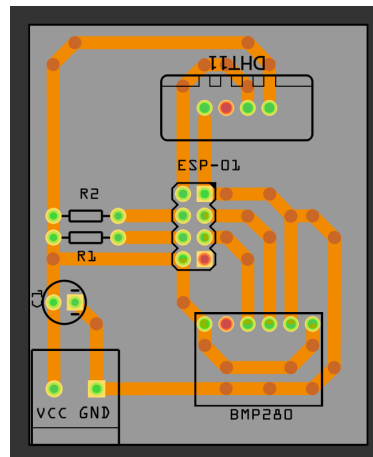
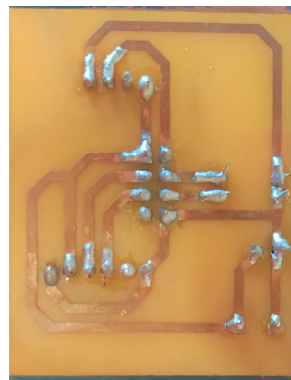


Figura 14 – Placa de Circuito Impresso (PCI) Projetada no Fritzing (FRITZING, 2017)



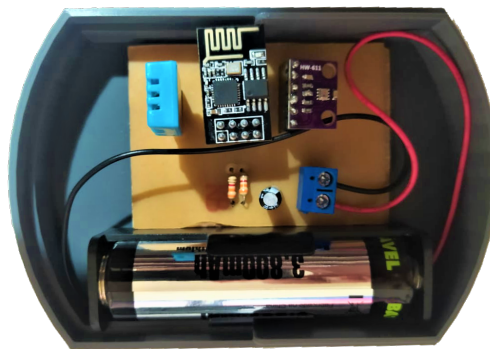
na placa. Após essa etapa, todos os componentes foram soldados na PCI (Figura 15), lembrando que todos os sensores e o módulo ESP-01 são apenas encaixados em seus respectivos lugares e por fim foi implementada na estação de aquisição de dados a bateria de lítio 18650 para servir como fonte de alimentação do sistema (Figura 16).

Figura 15 – Solda realizada na PCI



Portanto, para colocar em prática a ideia do *Sistema de Análise e Monitoramento de*

Figura 16 – PCI e Fonte Encaixadas no Invólucro (FRITZING, 2017)



Variáveis Ambientais em unidades Frigoríficas, foi elaborado e construído um invólucro capaz de proteger o circuito eletrotônico e todos os componentes da estação de aquisição de dados, já que ele estará sujeito as intemperes do ambiente de unidades frigoríficas. A vedação e o encaixe das peças desse invólucro teve como inspiração o modelo usado em diversas saboneteiras, já que essas necessitam de uma excelente proteção em relação à entrada de água para manter o estado de conservação do que está em seu interior e também devido a praticidade de poder abrir o invólucro caso necessite alguma intervenção humana (Figura 17).

Figura 17 – Módulo de Aquisição de Dados (FRITZING, 2017)



4 Análise e discussão dos resultados

Finalizada a construção do módulo de aquisição de dados, que será instalado em unidades frigoríficas, foi possível obter as informações desejadas dos sensores e estabelecer a comunicação entre o módulo *ESP-01* com o ThingsBoard (THINGSBOARD, 2021) via protocolo *MQTT*.

Após coletar essas informações, o microcontrolador estabelece uma conexão com a rede *Wi-fi* por meio de uma função no código desenvolvido através da linguagem *Micropython*, se for bem-sucedido, consegue se conectar ao *Broker MQTT* por meio do token

de acesso, sujeito à assinatura, à porta e ao servidor. O dispositivo então registra as mensurações dos sensores DHT11 e BMP280 na aba de telemetria do *ThingsBoard*, que pode ser visualizado na guia de dispositivos (Figura 20). Para visualizar os dados coletados de cada estação de aquisição de dados, basta abrir o menu lateral do *ThingsBoard* e acessar a aba *Dashboard*, nela o usuário pode acessar todos os painéis de monitoramento fornecidos pelo *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais*.

Através das ferramentas disponibilizadas pela plataforma *ThingsBoard* (tabelas, gauges, gráficos de linha, etc.), foi elaborado um *Dashboard* (Figura 18) para realizar o monitoramento dos dados coletados durante a atuação da estação de aquisição de dados. Nesse *Dashboard* o usuário pode acompanhar todas as medições em tempo real (Figura 22) e também tem a possibilidade de analisar o histórico de medições realizadas e armazenadas pelo sistema (Figura 21).

Cabe ressaltar que todas as medições realizadas pela estação de coleta de dados mostrou-se condizente com a temperatura real do ambiente, de acordo com testes realizados utilizando sensores devidamente calibrados. Além disso, a comparação entre a temperatura coletada pelo BMP280 e pelo DHT11 mostraram pequenas diferenças entre seus valores, porém nada fora do resultado esperado devido à diferença de resolução entre os sensores.

Portanto, a utilização de dois sensores para coletar dados referente a temperatura ambiente foi planejada para obter redundância e segurança de que a variável mais importante a ser coletada está sendo informada corretamente. Já que caso haja alguma discrepância brusca entre as informações recebidas dos dois sensores, o usuário pode perceber que o módulo de aquisição de dados necessita de intervenção para manutenção.

Figura 18 – *Dashboard* do Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas



Todos os gráficos dispostos no painel acima possuem um indicador no seu canto inferior direito informando os eventos mais importantes referentes à variável no período de

monitoramento selecionado — valor mínimo, valor máximo, média aritmética e último valor coletado — e um botão no seu canto superior direito para ampliar o gráfico e permitir que o usuário possa observar o gráfico em tela cheia e com um número maior de detalhes, conforme ilustrado na Figura 19. Todos os *dashboards* do sistema são facilmente personalizáveis e responsivos, assim permitindo o aceso através de qualquer dispositivo móvel com acesso à internet.

Figura 19 – Gráfico Ampliado

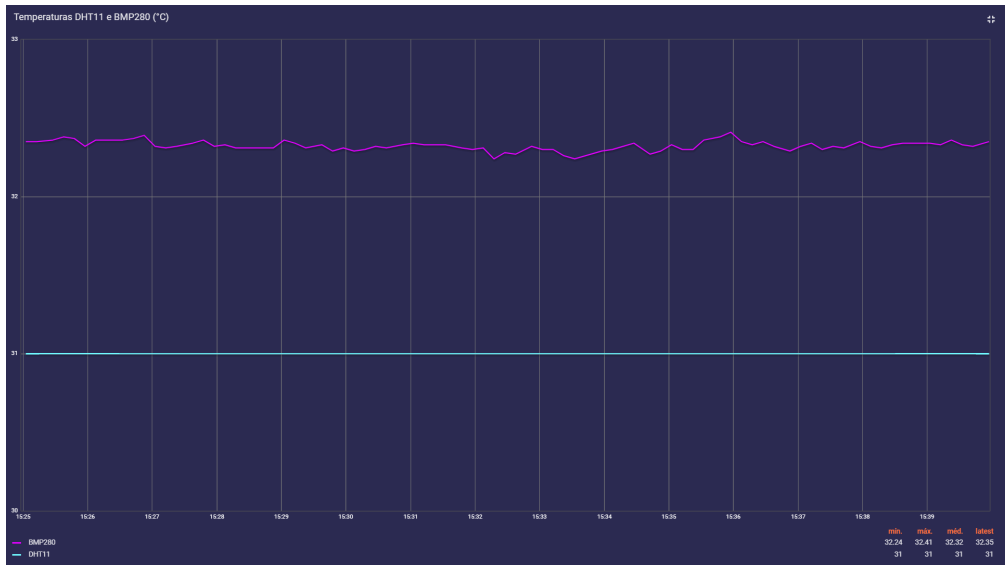



Figura 20 – Histórico de Monitoramento das Variáveis Ambient

Timeseries table

 Histórico - último 30 days

Timestamp ↓	temperatura_bmp
2022-11-30 15:47:09	32.38
2022-11-30 15:46:59	32.37
2022-11-30 15:46:48	32.4
2022-11-30 15:46:37	32.41
2022-11-30 15:46:26	32.4
2022-11-30 15:46:16	32.41
2022-11-30 15:46:05	32.4
2022-11-30 15:45:54	32.41
2022-11-30 15:45:43	32.4
2022-11-30 15:45:33	32.43
2022-11-30 15:45:22	32.4
2022-11-30 15:45:11	32.38
2022-11-30 15:45:00	32.37
2022-11-30 15:44:50	32.37

Figura 21 – Análise dos Dados Através do Histórico

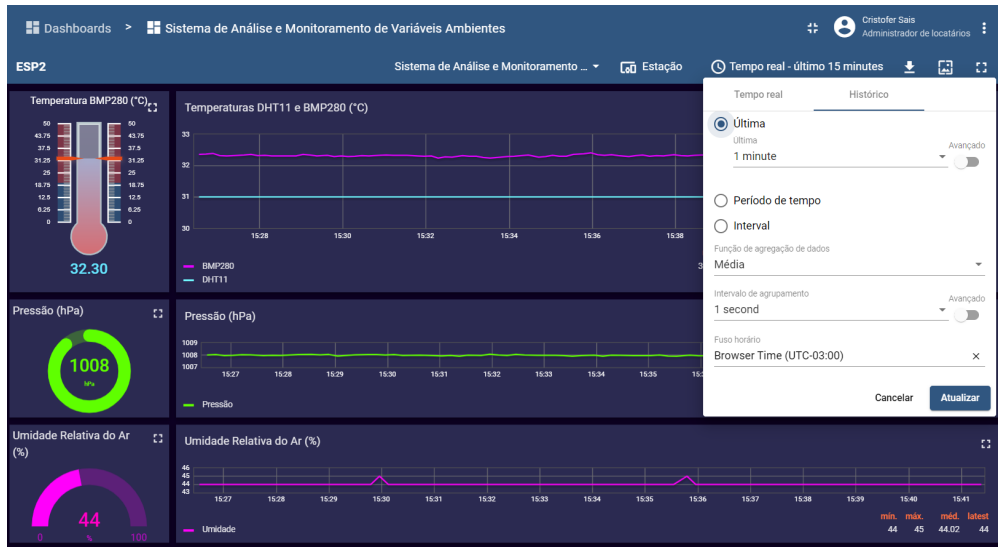
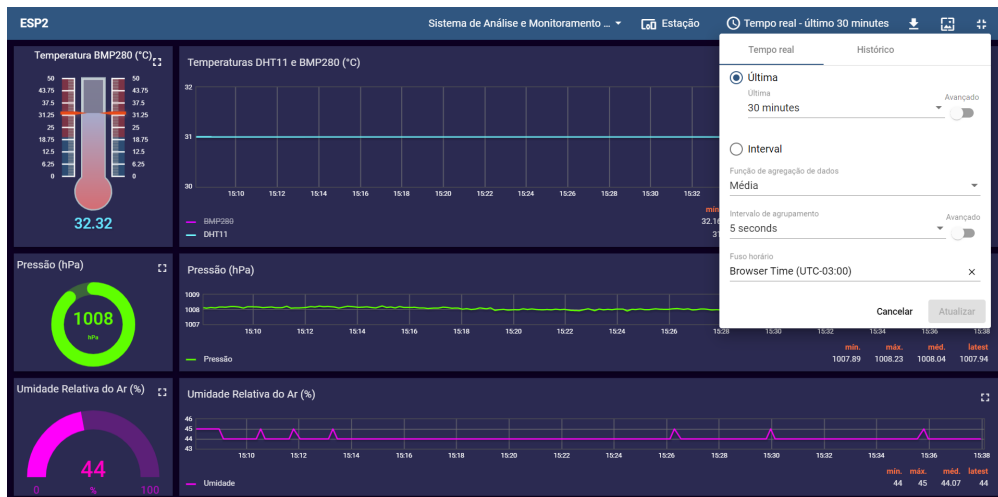


Figura 22 – Análise dos Dados em Tempo Real



5 Conclusão

O desenvolvimento do projeto *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* alia-se a outros esforços nesse mesmo sentido e além de fornecer uma ferramenta de auxílio à operação em câmaras frigoríficas, o escopo desenvolvido neste projeto pode servir como ponto de partida para projetos similares de monitoramento de variáveis do ambiente em qualquer setor e tipo de aplicação.

Todos os objetivos estipulados no início do projeto foram alcançados e isso resultou na elaboração de um módulo de aquisição de dados efetuando a coleta, o tratamento e o envio de dados referente as variáveis monitoradas, através do protocolo MQTT à plataforma ThingsBoard. Também foi possível realizar toda a configuração e elaboração do ambiente na plataforma ThingsBoard, possibilitando que qualquer pessoa com permissão e com acesso à internet possa acessar os *Dashboards* de acompanhar o histórico e as medidas em tempo real

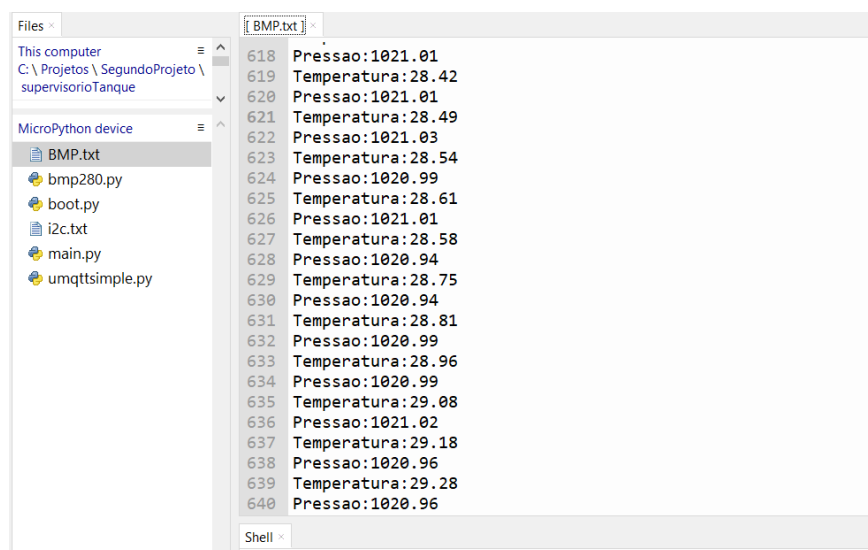
de variáveis como a pressão atmosférica, umidade relativa do ar e temperatura ambiente. Reitera-se, que além do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientes em Unidades Frigoríficas* cumprir o que foi previsto, ele alia a questão de baixo custo energético às facilidades de comunicação disponibilizadas através do protocolo *MQTT* e o uso de um módulo como o ESP-01 auxilia substancialmente na implementação de sistemas de baixo consumo, baixa manutenção e custo de aquisição relativamente baixo.

Além disso, durante o desenvolvimento do módulo de aquisição de dados, perceberam-se algumas limitações de desenvolvimento com o módulo *Wi-fi ESP8266 ESP-01*, principalmente devido a dois fatores. O primeiro é a complexidade para poder programar o módulo, porque ele necessita de um adaptador específico para poder se conectar via USB com o computador que contém o código a ser enviado para o módulo, já o segundo, é devido à inviabilidade de colocar o módulo em Deep Sleep (sono profundo) sem realizar modificações no hardware, conforme já mencionado na seção 'Projeto e Implementação'. Uma melhoria significativa para este projeto seria a utilização do ESP32-C2, que além de solucionar ambas as limitações citadas acima, é um chip Wi-fi 4 e Bluetooth 5 de baixo custo. Seu design exclusivo torna o chip menor e ainda mais poderoso que o ESP8266. O ESP32-C2 é construído em torno de um processador RISC-V de 32 bits, de núcleo único, com 272 KB de *SRAM* (16 KB dedicados ao cache) e 576 KB de ROM, ele oferece conectividade sem fio fácil e robusta, o que o torna a solução ideal para o desenvolvimento de dispositivos domésticos inteligentes simples, fáceis de usar e confiáveis. Além disso, o ESP32-C2 mantém todos os padrões de segurança da *Espressif*, tendo recursos como inicialização segura e criptografia flash, além de fornecer raiz de confiança de hardware para qualquer aplicativo ([ESPRESSIF, 2022](#)).

Em relação ao envio de dados do módulo de aquisição de dados ao *Broker MQTT*, observa-se que seria ideal uma melhoria que evitasse a perda de dados devido a qualquer instabilidade de comunicação pela falta de conectividade a internet. Portanto, sugere-se que crie uma rotina no módulo ESP-01 capaz de armazenar os dados coletados, similar ao exemplo realizado e ilustrado na Figura 23, caso ele não estabeleça a comunicação estável com o Broker e na próxima conexão efetiva que ele estabelecer, todos os dados armazenados sejam enviados.

Por fim, recomenda-se a viabilidade do usuário setar o tempo de *Light Sleep* das estações de aquisições de dados do sistema através da plataforma ThingsBoard. Isso se efetivaria através da seguinte maneira. Todas às vezes em que o módulo retornar do modo *Light Sleep* ele enviaria uma mensagem com destino ao ThingsBoard questionando se houve alteração no seu tempo de hibernação, caso, sim, o ThingsBoard seria responsável por consultar no banco de dados o tempo de *sleep* definido para o módulo e enviá-lo através um tópico MQTT predefinido.

Figura 23 – Dados Coletados e Armazenados no Módulo ESP-01



Referências

- ALI, Zahid. *Introdução ao ESP-01*. 2019. Disponível em: <<https://www.theengineeringprojects.com/2019/05/introduction-to-esp-01.html>>. Acesso em: 10/11/2022.
- BABOS, Flávio. *Sensor DHT11: Tutorial Completo*. 2021. Disponível em: <<https://flaviobabos.com.br/dht11-arduino/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- BRASIL, Oracle. *O que é SaaS (Software como Serviço)?* 2018. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/applications/what-is-saas/>>. Acesso em: 26/11/2022.
- CUBI-ENERGIA. *Gestão Energética em Frigoríficos*. 2022. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/gestao-energia-frigorificos/>>. Acesso em: 01/12/2022.
- ESPRESSIF. *ESP32-C2 Wi-Fi and Bluetooth 5 (LE) SoC*. 2022. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32-c2>>. Acesso em: 01/12/2022.
- FILIPEFLOP. *Adaptador USB para Módulo WiFi ESP8266 ESP-01*. 2020. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/adaptador-usb-para-modulo-wifi-esp8266-esp-01/>>. Acesso em: 29/11/2022.
- FILIPEFLOP. *Sensor de Pressão e Temperatura Bmp280*. 2021. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- FRITZING. *Welcome to Fritzing*. 2017. Disponível em: <<https://fritzing.org/>>. Acesso em: 29/11/2022.
- FULLER, James. *Espressif ESP8266 Serial ESP-01 WiFi Module*. 2022. Disponível em: <<https://datasheethub.com/espressif-esp8266-serial-esp-01-wifi-module/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- GOV. *Serviço de Inspeção Federal (SIF)*. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/sif>>. Acesso em: 12/12/2022.

MATTEDE, Henrique. *O que são sensores e quais as suas aplicações?* 2016. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 10/11/2022.

MICROPYTHON. *Time related functions*. 2020. Disponível em: <https://docs.micropython.org/en/latest/library/time.html>. Acesso em: 28/11/2022.

MORAIS, José. *Sleep Modes — Economizando energia — ESP8266*. 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sleep-modes-economizando-energia-esp8266/>. Acesso em: 10/11/2022.

ONSHAPE. *Onshape: product development platform*. 2021. Disponível em: <https://www.onshape.com/en/platform>. Acesso em: 26/11/2022.

OPENEST. *MQTTS: Como usar o MQTT com TLS? - exemplos e ajudantes*. 2021. Disponível em: <https://openest.io/en/services/mqtts-how-to-use-mqtt-with-tls/>. Acesso em: 28/11/2022.

ORACLE. *O que é IoT (Internet das Coisas)?* 2019. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>. Acesso em: 09/08/2022.

SANTOS, Guilherme. *Protocolo MQTT: O Que é, Como Funciona e Vantagens*. 2022. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/mqtt/>. Acesso em: 15/10/2022.

SWA survivingwithandroid. *MQTT Protocol Tutorial: Technical description with practical example*. 2016. Disponível em: <https://www.survivingwithandroid.com/mqtt-protocol-tutorial/>. Acesso em: 12/12/2022.

THINGSBOARD. *Thingsboard*. 2021. Disponível em: <https://demo.thingsboard.io/home>. Acesso em: 09/08/2022.

TOTVS. *Indústria 4.0: o que é, benefícios e tecnologias*. 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>. Acesso em: 27/11/2022.

VIEIRA, Caroline. *O que é o protocolo MQTT?* 2021. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/o-que-e-o-protocolo-mqtt/>. Acesso em: 15/10/2022.

WEF, World Economic Forum. *The rise in automation and what it means for the future*. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/the-rise-in-automation-and-what-it-means-for-the-future/>. Acesso em: 03/12/2022.