



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Victor José Pereira

Aquisição e envio de dados para satélites de baixa órbita da Swarm

Florianópolis
2023

Victor José Pereira

Aquisição e envio de dados para satélites de baixa órbita da Swarm

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Richard Demo Souza, Dr.

Florianópolis

2023

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

Pereira, Victor José

Aquisição e envio de dados para satélites de baixa órbita da Swarm / Victor José Pereira ; orientador, Richard Demo Souza, 2023.

42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Internet of Space Things. 3. Conectividade. 4. Rede de Satélites. I. Souza, Richard Demo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Victor José Pereira

Aquisição e envio de dados para satélites de baixa órbita da Swarm

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 10 de junho de 2023.

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Richard Demo Souza, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Bartolomeu Ferreira Uchôa Filho, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Mario de Noronha Neto, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos meus pais pelo apoio e incentivo durante o período da graduação, sem eles, não seria possível me dedicar ao curso e as atividades de pesquisa e estágio desenvolvidas, além de chegar nessa etapa, na qual escrevo o trabalho de conclusão de curso.

Aos meus amigos e colegas de curso que estiveram ao meu lado durante a graduação, por toda troca de aprendizado, apoio em estudos, matérias de projetos e também as risadas, ajudando a deixar o caminho mais leve.

Aos colegas de trabalho dos laboratórios LabSolda e Bridge, com os quais tive oportunidade de conviver e aprender muito, o que acabou me ajudando a decidir o caminho profissional que desejo seguir após a graduação.

Ao meu orientador, que desde o início sempre foi solícito e ajudou na concepção deste trabalho, dando todo auxílio necessário para finalizar essa última etapa e me ajudar a alcançar a conclusão do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

“Você vive e aprende. De qualquer forma, você vive.” (Douglas Adams)

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade explorar o conceito de *Internet of Space Things* (IoST), demonstrando vantagens e limitações de projetos com comunicação via satélite. O conceito de IoST torna dispositivos, anteriormente isolados, disponíveis em uma rede global, onipresente, que permite diversas possibilidades de aplicações em áreas remotas, através de simples ferramentas que possibilitam a conectividade a uma rede de satélites de baixa órbita. Este conceito quebra uma das principais limitações das soluções de *Internet of Things* (IoT), que já estão presentes em diversas aplicações, porém, necessitam de acesso a uma rede local com Internet, o que pode ser um fator limitante em locais onde não há conexão, ou a disponibilização pode ser impraticável. Nesse contexto, o trabalho também apresenta uma proposta de aplicação global, escalável e flexível para monitoramento de dados em áreas remotas, utilizando o Swarm Eval Kit (SEK), da Swarm, que controla a rede de satélites utilizada.

Palavras-chave: *Internet of Space Things*. Conectividade. Rede de Satélites.

ABSTRACT

The present work aims to explore the concept of Internet of Space Things (IoST), demonstrating advantages and limitations of projects with satellite communication, which make devices previously isolated, available in a global network, in a ubiquitous system, which allows several possibilities of applications in remote areas, through simple tools that enable connectivity to a network of low-orbit satellites, which breaks one of the main limitations of Internet of Things (IoT) solutions, which are already present in several applications, however, they need access to a local network with internet, which may be a limiting factor in places where there is no internet connection, or making it available may be impractical. In this context, the work also presents a proposal for a global, scalable and flexible application for monitoring data in remote areas, using the Swarm Eval Kit (SEK), from Swarm, which controls the satellite network used.

Keywords: *Internet of Space Things*. Communication. Satellites Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos do projeto	15
Figura 2 – Swarm Eval Kit (SEK).....	19
Figura 3 – Placa STM32F103.....	20
Figura 4 – Placa Digispark ATtiny85.....	21
Figura 5 – Módulo HC-12	24
Figura 6 – Módulo DHT11	25
Figura 7 – Spacebees	26
Figura 8 – Esquemático rede completa da Swarm	27
Figura 9 – Esquemático dispositivo de operação	30
Figura 10 – Dispositivo de operação	31
Figura 11 – Esquemático dispositivo mestre.....	32
Figura 12 – Dispositivo mestre.....	33
Figura 13 – Montagem final dispositivo mestre.....	34
Figura 14 – Website criado para o projeto	35
Figura 15 – Painel com informações coletadas	36
Figura 16 – Protótipo em teste.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
IDE Integrated Development Environment
API Application Programming Interface
SEK Swarm Eval Kit
IoT Internet of Things
IoST Internet of Space Things
LEO Low Earth Orbit
TELNET Teletype Network
RX Terminal Receptor
TX Terminal Transmissor
UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter
ADC Analog to Digital Converter
ID Identificação
RAM Random Access Memory
RF Radio Frequency
MHz Megahertz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	IOT.....	16
2.2	IOST	17
2.3	COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	SWARM EVAL KIT	19
3.2	STM32F103	20
3.3	DIGISPARK ATTINY85	21
3.4	ARDUINO IDE E PROGRAMAÇÃO EM C++	21
3.5	COMUNICAÇÃO SERIAL	22
3.6	MÓDULO WIRELESS HC-12	23
3.7	SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DHT11	24
3.8	WEBSITE DESENVOLVIDO COM REACT.....	25
4	DESENVOLVIMENTO.....	26
4.1	REDE DE SATÉLITES LEO DA SWARM	26
4.2	COMUNICAÇÃO KIT SWARM	28
4.3	AQUISIÇÃO DE DADOS E COMUNICAÇÃO ENTRE DISPOSITIVOS.....	29
4.4	PAINEL COM INFORMAÇÕES	35
4.5	SÍNTESE DO PROTÓTIPO	36
4.6	DISPONIBILIDADE E DESEMPENHO DA REDE DE SATÉLITES	37
5	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Em geral, a conectividade para soluções de IoT é realizada por meio de diferentes redes terrestres, como por exemplo redes sem fio domésticas e redes de telefonia móvel, a fim de conectar dispositivos com a Internet. No entanto, apesar dos avanços na infraestrutura de comunicação, ainda existem áreas geograficamente desafiadoras que não são adequadamente atendidas por essas redes convencionais. Lugares remotos, como florestas densas, montanhas isoladas e áreas rurais remotas no interior, muitas vezes enfrentam dificuldades na cobertura de rede devido a obstáculos naturais e à falta de incentivo financeiro para investimentos em infraestrutura de comunicação. Essas áreas de difícil acesso frequentemente sofrem com uma lacuna digital, onde a conectividade confiável e estável à Internet ainda é um desafio.

No Brasil, foi realizado um estudo pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a fim de realizar um diagnóstico e a proposição de plano de ação para o país em IoT, visto que existe um mercado em expansão para soluções de IoT em várias áreas, como agricultura, indústria, cidades inteligentes, saúde, transporte e energia. O relatório final foi divulgado em janeiro de 2018 (BNDES, 2018), e um dos pontos levantados, é que se torna um grande desafio ofertar serviços de telecomunicações em um território com mais de 8 milhões de km², considerando suas características demográficas, bem como a diversidade de domínios morfoclimáticos. Endereçar essa questão não é tarefa trivial.

Para resolver desafios como esses acima, foi proposto o conceito de Internet das Coisas Espaciais (IoST) em (AKYILDIZ I. F. e KAK A., 2019) que faz uso de satélites de baixa órbita (LEO) como uma possível solução, levando as soluções de IoT de qualquer lugar à Internet, quebrando diversas barreiras que um sistema tradicional de IoT tem em relação a conectividade. Ao alavancar o potencial da infraestrutura espacial, a IoST tem o poder de conectar dispositivos, sensores e sistemas em áreas anteriormente negligenciadas, trazendo benefícios significativos para setores como agricultura, conservação ambiental, monitoramento climático, transporte e muito mais.

Satélites LEO orbitam na faixa de até 2000 km de altitude (AKYILDIZ I. F. e KAK A., 2019), podendo fornecer cobertura a nível global dependendo de como estão espalhados e configurados. Satélites LEO possuem um campo de comunicação muito menor com a Terra do que um satélite em altitude maior, enquanto também têm uma rotação mais rápida ao redor da Terra. Esses fatores exigem uma constelação de satélites para obter uma cobertura

realmente global. Os satélites LEO são comumente usados para comunicações em geral, serviços de acesso à Internet por satélite e também podem ser oferecidos para cidadãos e organizações que tem interesse em explorar as vantagens da comunicação via satélite.

Esse trabalho, além de uma revisão da utilização de satélites LEO para IoST, contando com análise de desempenho e limitações, propõe explorar de maneira eficaz o envio de mensagens, criando um protótipo com o Swarm Eval Kit (SEK) (SWARM SPACE, 2021b), produto desenvolvido pela Swarm¹ para enviar uma mensagem terrestre ao satélite, a fim de enviar dados de dispositivos IoT para uma rede de satélites da Swarm, empresa que recentemente começou a ofertar serviços de conectividade global para dispositivos IoT no Brasil, trazendo uma nova perspectiva em relação ao futuro do IoT no país.

1.1 OBJETIVOS

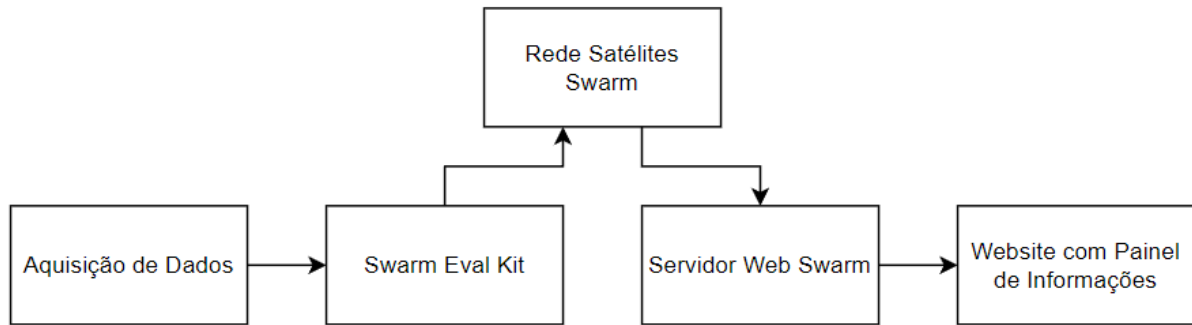
Abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é utilizar sensores e o SEK, um kit de desenvolvimento da Swarm, para realizar o envio de dados para uma rede de satélites de baixa órbita, e posteriormente, enviar esses dados para a Internet, onde vão ser acessíveis a partir de um painel de informações, conforme o diagrama de blocos da Figura 1.

¹ Em janeiro de 2022, a Anatel autorizou a exploração de satélites LEO pela Swarm Space no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2022). O sistema Swarm, como visto no documento Swarm Network Architecture Overview (SWARM SPACE, 2021a) está baseado em uma constelação de 150 satélites, tem cobertura global e utiliza satélites em altitudes de 450 a 550 km, cada satélite cobre áreas com 3.000 km de diâmetro.

Figura 1 – Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Autor

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, podemos definir:

- Introduzir o conceito de IoST e destacar sua importância como parte fundamental da evolução e propagação de soluções IoT.
- Utilizar sensores e o kit de desenvolvimento SEK da Swarm para coletar dados e enviá-los para uma rede de satélites LEO.
- Explorar a possibilidade de enviar dados a partir de um local remoto sem acesso à rede de energia elétrica, avaliando a viabilidade e as limitações dessa abordagem.
- Realizar a transmissão dos dados coletados pelos sensores para a Internet, tornando-os acessíveis através de um site.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, estão descritos os principais conceitos tratados no trabalho. Serão abordados os sistemas de IoT, de forma mais profunda o conceito de IoST, mostrando vantagens e desvantagens, além de conceitos relacionados ao desenvolvimento do projeto proposto.

2.1 IOT

IoT é um campo que tem ganhado cada vez mais atenção nos últimos anos. Conforme (MADAKAM, S., et al., 2023), refere-se à interconexão de dispositivos físicos, como eletrodomésticos, veículos, sensores e outros objetos, por meio da Internet. Esses dispositivos são capazes de coletar, transmitir e analisar dados, bem como interagir com o ambiente e com outros dispositivos. A IoT promete trazer uma ampla gama de benefícios, incluindo automação residencial, cidades inteligentes, monitoramento de saúde e otimização de processos industriais.

A IoT se baseia em tecnologias como sensores de baixo custo, redes sem fio, computação em nuvem e análise de dados. Os dispositivos conectados coletam informações do ambiente ao seu redor, transmitindo esses dados para sistemas de processamento e armazenamento remotos. Esses sistemas, muitas vezes baseados na nuvem, processam os dados coletados, extraem informações e tomam ações automatizadas. Essa capacidade de coleta e análise de dados em tempo real é uma das características fundamentais da IoT, permitindo o monitoramento contínuo e a tomada de decisões inteligentes.

A adoção da IoT tem impactado diversos setores, incluindo saúde, agricultura, transporte, indústria e varejo. Na área da saúde, por exemplo, dispositivos da Medtronic, uma das maiores empresas de tecnologia médica do mundo, podem monitorar os sinais vitais dos pacientes e enviar alertas para os profissionais de saúde (MEDTRONIC, 2021). Na agricultura, empresas tradicionais como a John Deere investem em IoT com usos associados à telemetria, para monitoramento de tratores e outros maquinários a distância, que informam sua localização, consumo de combustível e quantidade de insumos aplicada (JOHN DEERE, 2022). A IoT também tem implicações no âmbito da segurança, com sistemas de vigilância inteligentes da Ring, é possível realizar o monitoramento remoto de residências e escritórios

(RING, 2023). Esses são apenas alguns exemplos que demonstram o potencial da IoT e como ela está mudando a forma como interagimos com o mundo ao nosso redor.

2.2 IOST

A IoT no espaço, ou IoST (AKYILDIZ I. F. e KAK A., 2019), envolve a interconexão de satélites, espaçonaves e outras infraestruturas espaciais para melhorar a coleta de dados, a comunicação e a exploração espacial.

A IoST oferece inúmeras oportunidades para melhorar a exploração e a observação do espaço. Satélites equipados com sensores podem coletar dados astronômicos de alta precisão, monitorar fenômenos cósmicos e obter informações valiosas sobre planetas, estrelas e galáxias. Além disso, a IoST pode permitir o rastreamento e monitoramento de detritos espaciais (KUA, J., et al., 2021), fornecendo informações vitais para garantir a segurança das missões espaciais e evitar colisões. A comunicação entre espaçonaves e a Terra também pode ser aprimorada por meio da IoST, possibilitando transmissões de dados mais rápidas e confiáveis.

No entanto, a implementação da IoST também apresenta desafios significativos. A conectividade no espaço enfrenta obstáculos como longas distâncias, latência nas comunicações e interferência eletromagnética conforme (KUA, J., et al., 2021). Além disso, a segurança dos sistemas espaciais é uma preocupação crítica, uma vez que qualquer falha ou violação de dados pode ter consequências graves. É necessário desenvolver tecnologias robustas e protocolos de comunicação adequados para superar esses desafios e garantir o bom funcionamento da IoST no espaço. O uso de padrões abertos, o avanço da computação em nuvem e o aprimoramento das redes de satélites são algumas das áreas de pesquisa e desenvolvimento que podem impulsionar ainda mais a IoST.

2.3 COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE

A comunicação via satélite é um componente essencial da IoST, permitindo a conectividade entre dispositivos na Terra e dispositivos localizados no espaço. Essa forma de comunicação utiliza satélites artificiais em órbita da Terra como meio de transmissão de dados e informações. Os satélites atuam como pontes de comunicação, recebendo dados de dispositivos espaciais e transmitindo-os para estações terrestres ou outros satélites.

Essa infraestrutura espacial fornece uma ampla cobertura geográfica e permite a troca de informações em tempo real, abrindo caminho para aplicações de IoST em diversos setores, como monitoramento ambiental, transporte, pesquisa científica e exploração espacial.

A comunicação via satélite na IoST enfrenta desafios únicos, como a latência significativa devido à distância entre o espaço e a Terra, além da necessidade de garantir a segurança e a integridade dos dados transmitidos, especialmente em ambientes hostis e altamente dinâmicos (KUA, J., et al., 2021).

Esse tipo de comunicação oferece vantagens significativas em termos de alcance global e conectividade. Enquanto as redes terrestres tradicionais podem ter limitações geográficas, a comunicação via satélite possibilita o estabelecimento de uma rede abrangente que pode cobrir vastas áreas do planeta, incluindo regiões remotas e de difícil acesso. Em áreas afetadas por desastres naturais, por exemplo, as redes terrestres podem ser interrompidas, tornando a comunicação via satélite a única opção viável para estabelecer e manter a conectividade.

A evolução das tecnologias de comunicação via satélite, como o uso de constelações de satélites em órbita baixa, conhecidos como satélites LEO, e o desenvolvimento de sistemas de antenas mais avançados, tem impulsionado ainda mais as capacidades da IoST. Como visto em (MAJUMDAR, A. K., 2018), com as constelações de satélites, é possível obter uma cobertura mais abrangente e reduzir a latência da comunicação, superando os desafios iniciais enfrentados pela comunicação via satélite em termos de velocidade de transmissão de dados.

Em resumo, a comunicação via satélite desempenha um papel fundamental na IoST, permitindo a conectividade global e a troca de informações entre dispositivos espaciais e terrestres. Com suas vantagens de alcance abrangente, conectividade contínua e capacidade de superar limitações terrestres, a comunicação via satélite abre caminho para aplicações inovadoras em setores diversos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho e do projeto proposto.

3.1 SWARM EVAL KIT

O SEK, mostrado na Figura 2, é um kit de desenvolvimento criado pela Swarm Technologies, uma empresa especializada em comunicação de dispositivos IoT com satélites LEO, ou seja, difunde a prática de IoST. O kit é projetado para permitir que desenvolvedores criem aplicações e testem a tecnologia de comunicação de satélite da Swarm. Um plano mensal de envio de dados é disponibilizado e contempla 750 mensagens, o que significa praticamente uma mensagem por hora em 30 dias do mês.

Figura 2 – Swarm Eval Kit (SEK)



Fonte: Swarm Eval Kit Quickstart Guide (2021)

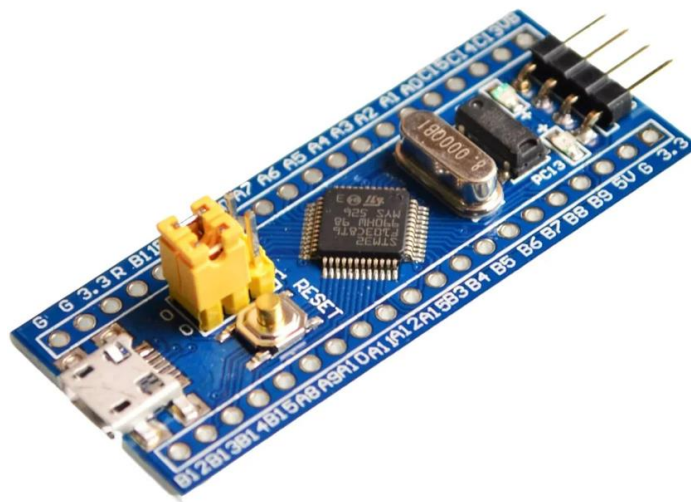
Ele contém hardware e software necessários para estabelecer uma conexão entre dispositivos terrestres e a constelação de satélites Swarm. Isto é feito através do modem Swarm M138 (SWARM SPACE, 2022), o principal componente, que conectado a uma antena, bateria, e um pequeno painel solar, pode enviar qualquer mensagem definida pelo

usuário, pela porta serial, como será demonstrado posteriormente, a partir de locais remotos, ou até mesmo urbanos, sem necessidade de conexão a um ponto de energia fixa.

3.2 STM32F103

Para realizar a aquisição de dados, composição da mensagem e envio pela porta serial, o STM32F103 (STM, 2022) foi o dispositivo escolhido, apresentado na Figura 3, é um microcontrolador baseado na arquitetura ARM Cortex-M3. Ele faz parte da família STM32 da STMicroelectronics e é amplamente utilizado em aplicações embarcadas devido à sua combinação de desempenho, recursos e eficiência energética, ponto crucial para o desenvolvimento da aplicação, que visa funcionar de forma totalmente independente de fonte de energia fixa.

Figura 3 – Placa STM32F103



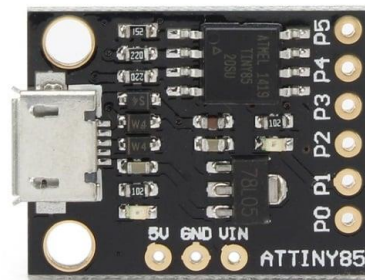
Fonte: Envistia Mall (2023)

Uma das características notáveis do STM32F103 é a sua capacidade de oferecer três portas seriais nativas. Esse recurso é vantajoso para o projeto, pois permite conectar e comunicar-se com um módulo wireless e o SEK simultaneamente. Ter três portas seriais nativas também proporciona maior flexibilidade e escalabilidade, permitindo futuramente a integração de diferentes módulos ou sensores que requerem comunicação serial, sem a necessidade de utilizar conversores adicionais ou multiplexadores.

3.3 DIGISPARK ATTINY85

A placa Digispark ATtiny85 (DIGISTUMP, 2012), apresentada na Figura 4, é uma placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador ATtiny85, fabricado pela Microchip Technology. O ATtiny85 é um microcontrolador de 8 bits e baixo consumo de energia, projetado para aplicações que requerem poucos recursos. Essa placa foi considerada inicialmente para fazer o papel da STM32F103, dado o baixo consumo de energia, porém não foi possível devido as suas limitações, no decorrer do desenvolvimento os motivos serão explicados.

Figura 4 – Placa Digispark ATtiny85



Fonte: Makerhero (2023)

3.4 ARDUINO IDE E PROGRAMAÇÃO EM C++

O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino (ARDUINO, 2023) foi o escolhido para o desenvolvimento dos códigos relacionados ao projeto deste trabalho. A IDE trabalha com versão alterada da linguagem C++, com sintaxe simplificada e bibliotecas adicionais específicas para a plataforma Arduino.

Uma das principais vantagens da IDE do Arduino é a vasta quantidade de bibliotecas disponíveis. Essas bibliotecas fornecem funções e classes que simplificam o acesso a recursos e dispositivos específicos, permitindo um desenvolvimento mais rápido e eficiente.

Além de placas Arduino, é possível adicionar bibliotecas para placas da STM e Digispark, então para facilitar e centralizar o desenvolvimento de código, a fim de realizar escrita, compilação e upload dos códigos em um único ambiente.

Embora a STM32CubeIDE (STM, 2021) e o Keil μ Vision (ARM, 2022) sejam ferramentas poderosas e amplamente utilizadas para o desenvolvimento de aplicações para placas STM, optou-se pela IDE do Arduino devido a algumas vantagens significativas. As principais vantagens são a sintaxe do código e a vasta quantidade de bibliotecas disponíveis para placas STM. A linguagem C++ é modificada na IDE, apresentando uma sintaxe aprimorada que facilita a programação. Além disso, a IDE do Arduino oferece um grande número de bibliotecas específicas para todas as plataformas utilizadas no projeto, fornecem funções e classes pré-programadas para simplificar o acesso a recursos e dispositivos específicos, essas bibliotecas poupam tempo e esforço, permitindo um desenvolvimento mais rápido e eficiente.

Em contraste, a programação da placa STM utilizando a STM32CubeIDE ou o Keil pode ser mais complexa e exigir um conhecimento mais aprofundado de programação de baixo nível. Embora essas ferramentas sejam mais abrangentes e forneçam um controle mais específico sobre o hardware, elas podem exigir um tempo considerável para configurar e implementar as funcionalidades desejadas. Além disso, a disponibilidade de bibliotecas específicas para dispositivos STM é limitada em comparação com a vasta gama de bibliotecas disponíveis na IDE do Arduino.

3.5 COMUNICAÇÃO SERIAL

O SEK oferece algumas opções para troca de mensagens. Entretanto, a opção mais interessante para desenvolver esse projeto é a comunicação serial, com ela, podemos conectar qualquer dispositivo a porta serial do SEK e enviar uma mensagem no padrão necessário, diretamente para o modem Swarm M138.

A comunicação serial é um padrão robusto, amplamente utilizado para transmitir dados entre dispositivos eletrônicos. Ela envolve a transmissão de informações bit a bit, geralmente através de duas conexões, receptor (RX) e transmissor (TX).

Uma porta de comunicação serial, é a interface física utilizada para conectar dispositivos que se comunicam serialmente. É composta por duas linhas principais: RX,

responsável por receber dados, e TX, responsável por transmitir dados. Essas linhas são utilizadas para a troca de informações entre os dispositivos, sendo o RX de um dispositivo conectado ao TX do outro, e vice-versa.

O protocolo utilizado será o Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) (TEXAS INSTRUMENTS, 2010), é um protocolo de comunicação serial amplamente utilizado na indústria eletrônica. Ela oferece uma forma simples e confiável de transmitir dados sequencialmente entre dispositivos, sem a necessidade de um sinal de clock compartilhado. A comunicação UART é assíncrona, o que significa que não é necessário um sinal de sincronização constante entre os dispositivos para garantir a transmissão correta dos dados. Em vez disso, os dados são transmitidos em pacotes individuais, com início e fim claramente definidos por bits de partida (start bit) e de parada (stop bit). A UART suporta diferentes configurações, como a taxa de transmissão (baud rate), número de bits de dados, paridade e bits de parada, tornando-a altamente flexível e adaptável a várias aplicações. Sua simplicidade, eficiência e ampla disponibilidade a tornam uma escolha popular para comunicação serial em sistemas embarcados e de IoT.

3.6 MÓDULO WIRELESS HC-12

Para realizar a comunicação sem fio entre dispositivos utilizados no projeto, o módulo HC-12 (ELECROW, 2012), apresentado na Figura 5, foi uma escolha adequada, visto que oferece ajuste de parâmetros, como taxa de transmissão (baud rate), potência de transmissão e frequência de operação, permitindo uma maior flexibilidade e adaptação às necessidades do projeto, e funciona por comunicação serial UART para enviar e receber dados na conexão com um microcontrolador através de seus pinos TX e RX.

Figura 5 – Módulo HC-12



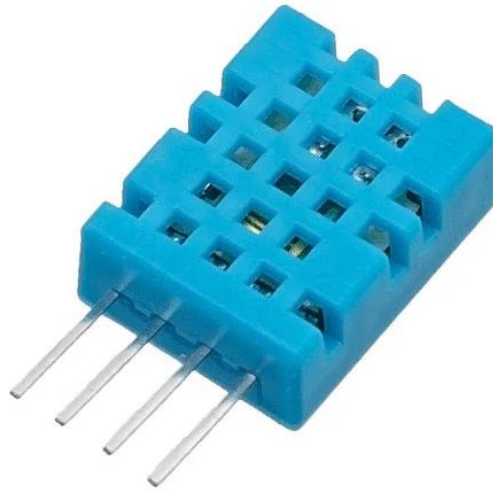
Fonte: Eletrogate (2023)

O módulo é um dispositivo de comunicação serial sem fio que opera no método Half Duplex, onde um remetente e o destinatário podem transmitir dados, mas não ao mesmo tempo. Tem 100 canais que operam na faixa de frequência de 433 MHz e promete um alcance de comunicação de até 1000 metros, dependendo das condições do ambiente, mas que são suficientes para desenvolver uma proposta de aplicação.

3.7 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DHT11

Para desenvolver o projeto e construir um protótipo que explora o conceito de IoST, optou-se por utilizar o sensor DHT11 (MOUSER, 2022), apresentado na Figura 6, para a aquisição de dados de temperatura e umidade. O sensor DHT11 é uma escolha adequada para essa finalidade, uma vez que fornece medições confiáveis, além de possuir um design compacto e ser fácil de usar. Essas características tornam o sensor DHT11 popular em projetos de IoT, permitindo a integração e monitoramento eficiente de condições ambientais.

Figura 6 – Módulo DHT11



Fonte: Eletrogate (2023)

Um aspecto importante é a facilidade de uso do sensor DHT11. Com uma interface simplificada, ele pode ser facilmente conectado a placas Arduino ou outras plataformas de desenvolvimento, sem exigir conhecimentos técnicos avançados. Isso agiliza o processo de integração e facilita o desenvolvimento do protótipo

O sensor é capaz de medir a temperatura ambiente com uma faixa de operação de 0 a 50° Celsius, com uma precisão de 2° Celsius. E também ele pode medir a umidade relativa do ar em uma faixa de 20% a 90%, com uma precisão de 5%. Esses valores podem ser obtidos através de uma única linha de dados digital, facilitando a integração com microcontroladores.

3.8 WEBSITE DESENVOLVIDO COM REACT

Com o objetivo de fornecer uma experiência interativa e eficiente na apresentação dos dados coletados pelo projeto deste trabalho, foi desenvolvido um website utilizando tecnologias como JavaScript e React (REACT, 2023). A escolha do React se deu pela sua capacidade de construir interfaces de usuário reativas, ideal para apresentação de dados.

O React é uma biblioteca JavaScript de código aberto que permite criar interfaces para websites. Foi desenvolvido pelo Facebook e é amplamente utilizado na indústria para criar aplicativos web modernos e eficientes.

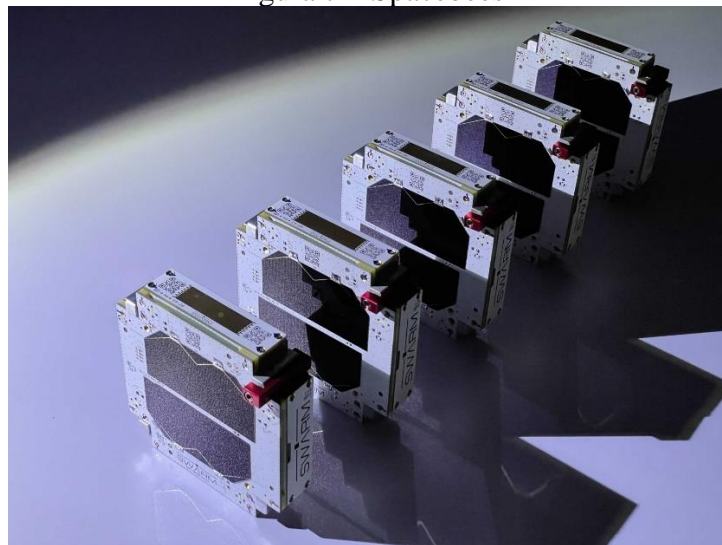
4 DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa, além do desenvolvimento do projeto, será apresentado como a rede de satélites LEO da Swarm funciona, mostrando lados positivos e negativos dessa rede que tem grande potencial em difundir o conceito de IoST em aplicações de IoT.

4.1 REDE DE SATÉLITES LEO DA SWARM

A rede de satélites da Swarm é formada por satélites chamados SpaceBEEs, mostrados na Figura 7, que são CubeSats muito pequenos e leves, com dimensões de aproximadamente 5x5x1 centímetros. Estão em órbita terrestre baixa (LEO), entre 450 e 550 km de altitude, com um período orbital de aproximadamente 94 minutos (SWARM SPACE, 2021a). Os satélites têm órbitas relativamente fixas e a Terra gira sob os satélites, de modo que cada satélite vê todos os pontos da Terra de 4 a 5 vezes por dia.

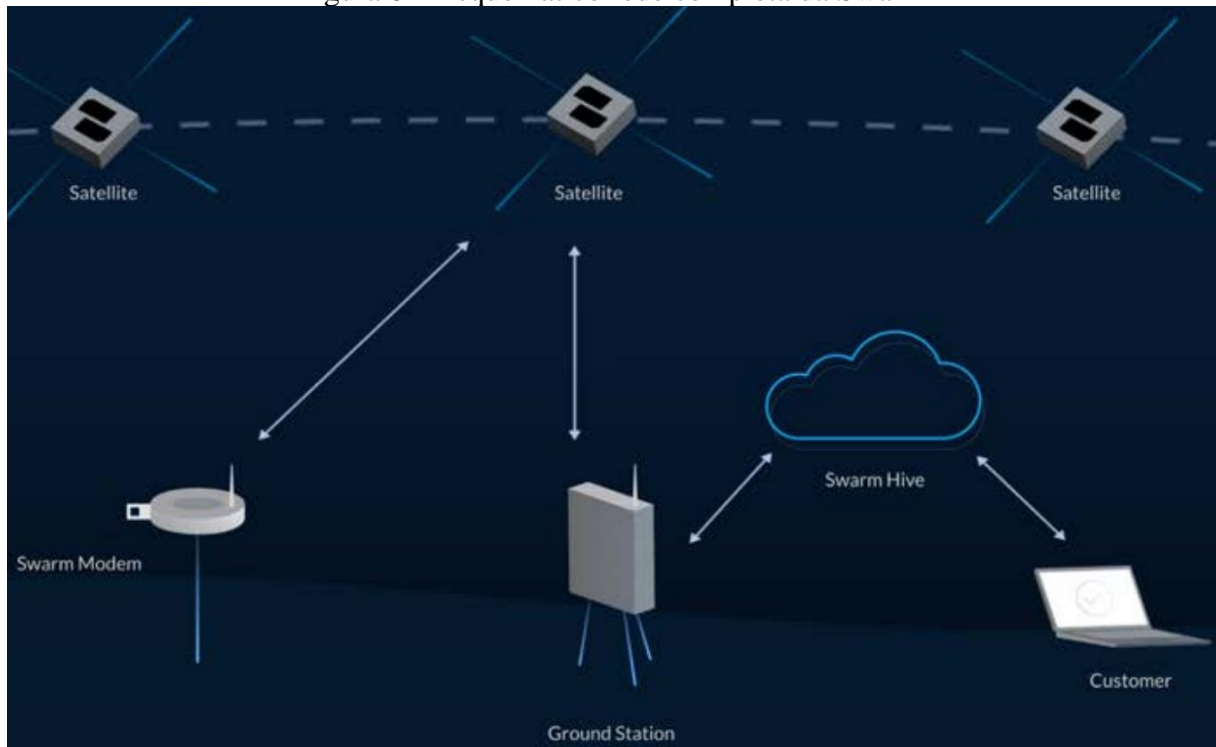
Figura 7 – Spacebees



Fonte: NewSpace Index (2023)

A arquitetura de rede Swarm consiste em dispositivos terrestres, que os clientes possuem e operam, como por exemplo o SEK, e satélites e estações terrestres, que a Swarm possui e opera.

Figura 8 – Esquemático rede completa da Swarm



Fonte: Swarm Network Architecture Overview (2021)

O dispositivo terrestre operado pelo usuário contém um modem da Swarm, o Swarm M138 (Figura 8 – Swarm Modem), que transmite mensagens aos satélites (Figura 8 – Satellite) por meio de uma antena. O modem tenta transmitir mensagens para um satélite depois que um sinal for recebido de um satélite ativo passando pela sua localização.

Os dados transmitidos são armazenados a bordo até que o downlink possa ser realizado para uma estação terrestre (Figura 8 – Ground Station) conectada à internet e operada pela Swarm. As informações são transferidas para os servidores da Swarm na nuvem, apelidado como Swarm Hive (Figura 8 – Swarm Hive), onde os dados são armazenados por 30 dias e disponibilizados ao usuário para consulta em um painel que exibe mensagens, e também através de uma interfaces de programação de aplicativos (API), com a qual é possível acessar todas mensagens disponíveis, utilizada no desenvolvimento do website criado para projeto.

4.2 COMUNICAÇÃO KIT SWARM

Para enviar uma mensagem para a rede da Swarm através do modem M138, é necessário seguir as diretrizes e os padrões de mensagem esperados, definidos no manual do modem, o Swarm M138 Modem Product Manual (SWARM SPACE, 2022). O M138 é um módulo adequado para comunicação em uma variedade de casos em uso de baixa largura de banda, como rastrear veículos, navios ou pacotes e transmitir dados de sensores para aplicações de agricultura, energia e IoT no geral.

O modem pode ser integrado em qualquer projeto novo ou existente, se comunica por meio de uma interface UART serial. Nesse projeto, temos como objetivo enviar uma mensagem através da porta serial do SEK, a qual nos conecta diretamente ao modem.

Após ligar o modem, para que seja possível enviar uma mensagem, é necessário esperar que o mesmo realize seu processo de boot e adquira sinal de posicionamento global (GPS). O próprio modem envia periodicamente uma mensagem informando sua localização, horário e outras informações para a rede Swarm Hive.

Para enviar uma mensagem pela porta serial, é necessário operar com parâmetros pré-estabelecidos de comunicação serial, são eles: baud rate de 115200 e transmissão 8N1, oito bits de dados, sem bit de paridade e um bit de parada.

O padrão necessário para envio de uma mensagem qualquer pelo dispositivo é composto por um comando indicando o envio de mensagem, a mensagem de fato entre aspas e por fim, uma soma de verificação (checksum) da composição, por exemplo:

\$TD "Hello World!"*31

O checksum é requisito ao final de toda mensagem enviada ao modem M138, o cálculo é uma técnica utilizada para verificar a integridade de dados transmitidos, o algoritmo percorre cada caractere da mensagem bit a bit e realiza uma operação XOR entre o valor atual do checksum e o valor do byte do caractere da mensagem. O operador XOR exclusivo retorna 1 apenas quando os bits comparados são diferentes. Por fim, o código retorna o valor do checksum como uma string hexadecimal.

Ao receber os dados, o modem realiza o mesmo cálculo de checksum para a mensagem, o resultado é comparado com o valor de checksum recebido, se os valores

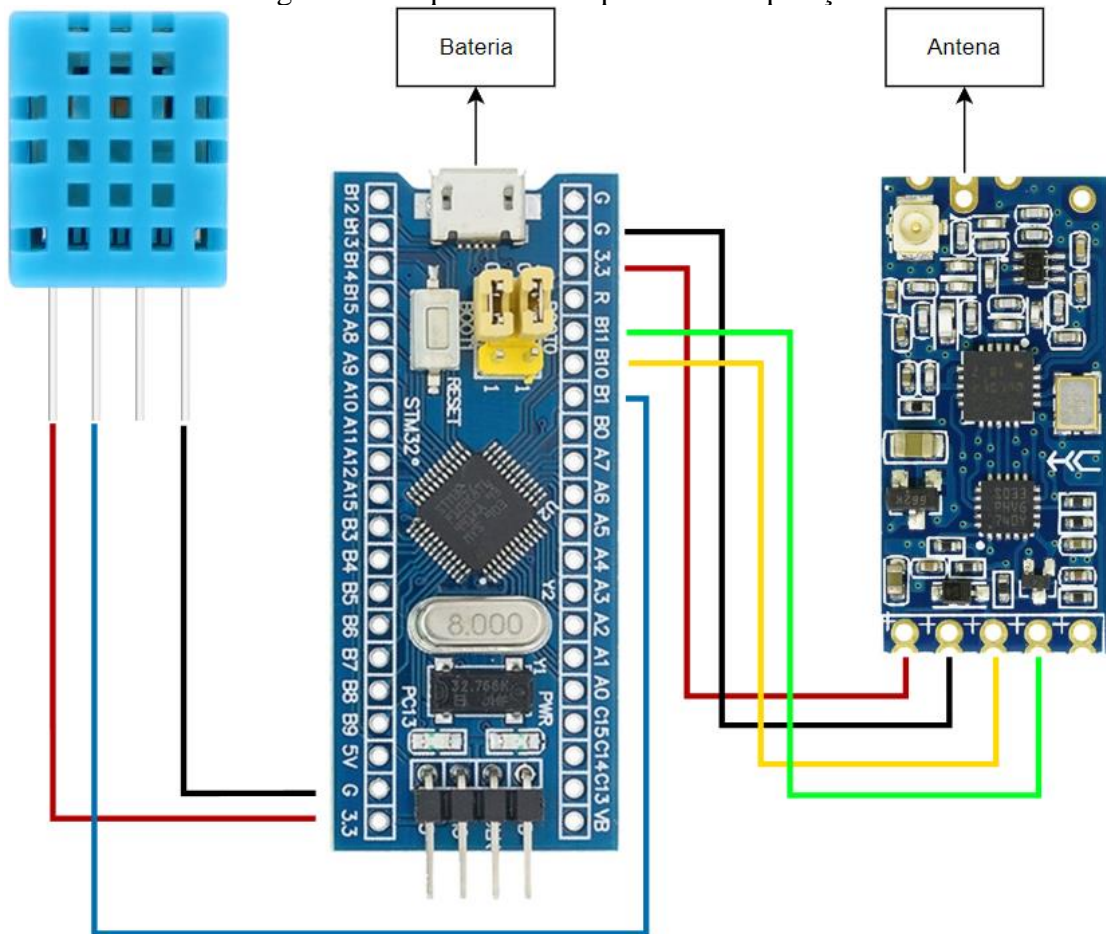
coincidirem, os dados são considerados íntegros e é retornado um aviso que a mensagem foi aceita para envio ao satélite. Caso contrário, identifica-se que houve alguma alteração ou corrupção nos dados e a mensagem é recusada.

4.3 AQUISIÇÃO DE DADOS E COMUNICAÇÃO ENTRE DISPOSITIVOS

Nessa etapa será descrito o conceito do projeto, que utiliza a rede de satélites LEO da Swarm, com o objetivo final de disponibilizar a proposta de aplicação de IoT em qualquer lugar, quebrando barreiras de projetos tradicionais, aplicando o conceito de IoST apresentando anteriormente, explorando a possibilidade de enviar dados a partir de um local remoto, sem acesso a rede de energia elétrica.

Para realizar tal feito, foi desenvolvido um primeiro dispositivo de operação com a finalidade de realizar a aquisição de dados, utilizando o microcontrolador STM32F103, tendo conectado à sua porta serial uma placa de transmissão HC-12 para envio de dados, e em uma porta conversora analógico-digital (ADC) o sensor DHT11 para aquisição de dados de temperatura e umidade, o esquemático está apresentado na Figura 9. O dispositivo é alimentado por um carregador portátil. Uma carga na bateria foi suficiente para os testes de desenvolvimento, mas em aplicação, poderia ser utilizado um carregador portátil com placa solar.

Figura 9 – Esquemático dispositivo de operação



Fonte: Autor

Nesse dispositivo de operação, apresentado na Figura 10, é realizada a aquisição de dados e montagem da mensagem no padrão necessário para o envio ao modem do SEK, tendo a porta serial configurada no padrão 8N1 com o baud rate de 9600. A mensagem enviada contém: o comando “\$TD” que serve para o modem identificar a transmissão de dados, uma identificação (ID) numérica, identificando qual é o dispositivo, sendo que nesse projeto o envio pode ser realizado por múltiplos dispositivos; o cabeçalho “temp” e a medição de temperatura em graus Celsius; o cabeçalho “umid” e a medição da umidade relativa do ar em porcentagem; e por fim, um asterisco e o checksum da mensagem. Por exemplo:

```
$TD "id:[id]temp:[medição]umid:[medição]"*[checksum]
```

```
$TD "id:1temp:24.40umid:68.00"*23
```

Figura 10 – Dispositivo de operação



Fonte: Autor

Inicialmente a ideia era conectar uma segunda placa HC-12 para receber os dados diretamente na porta serial do SEK, que nos conecta diretamente ao modem. Porém, nesse cenário, é necessário transmitir os dados com baud rate de 115200, padrão necessário para se comunicar com o modem, o qual é muito alto.

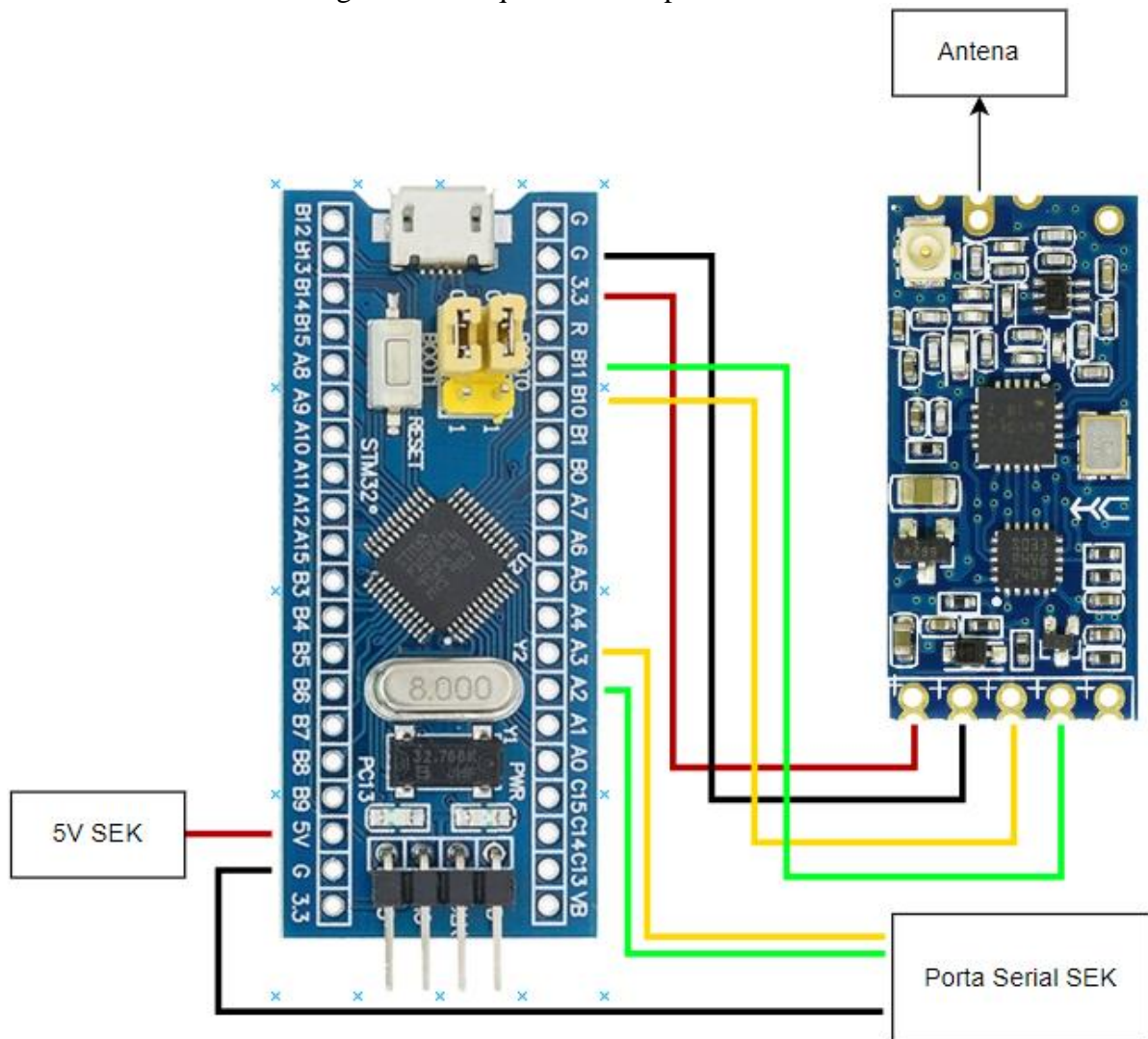
Foram feitos testes de transmissão, mas houveram quebras nas mensagens enviadas pelo dispositivo de operação, e observou-se que o alcance é menor conforme maior o baud rate. A placa HC-12 tem dificuldade em manter uma taxa de transmissão tão alta em longas distâncias. Conforme o manual, taxas mais baixas de baud rate podem ajudar a minimizar erros de transmissão e melhorar o alcance.

Com base nessa recomendação, foi definida a criação de um segundo dispositivo, o centralizador, que fica conectado ao SEK. Dessa maneira, é possível enviar uma mensagem do dispositivo de operação para o centralizador com um baud rate mais baixo de 9600,

diminuindo possibilidade de falhas na transmissão e aumentando o alcance, e em uma segunda porta serial o dispositivo envia a mensagem recebida para o SEK com a baud rate adequada.

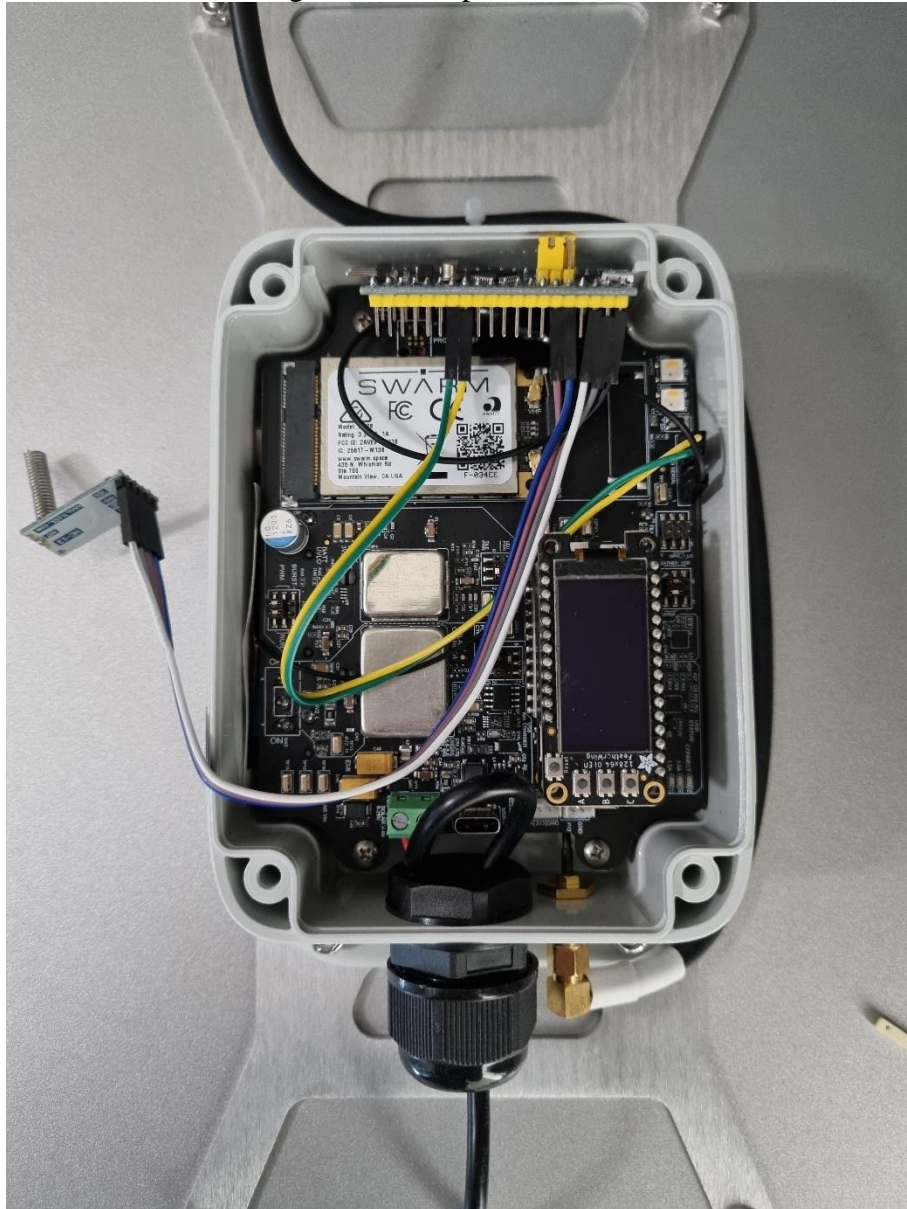
O segundo dispositivo, apelidado de mestre, com esquemático apresentado na Figura 11, foi desenvolvido utilizando também o microcontrolador STM32F103. A sua finalidade é receber dados dos dispositivos de operação pela placa de transmissão HC-12 conectada em uma porta serial com o baud rate de 9600 e transmitir a mensagem através de uma segunda porta serial para o SEK, diretamente ao modem, como exemplificado na Figura 12, configurando essa segunda porta no baud rate de 115200 necessário para transmitir mensagens ao modem da Swarm.

Figura 11 – Esquemático dispositivo mestre



Fonte: Autor

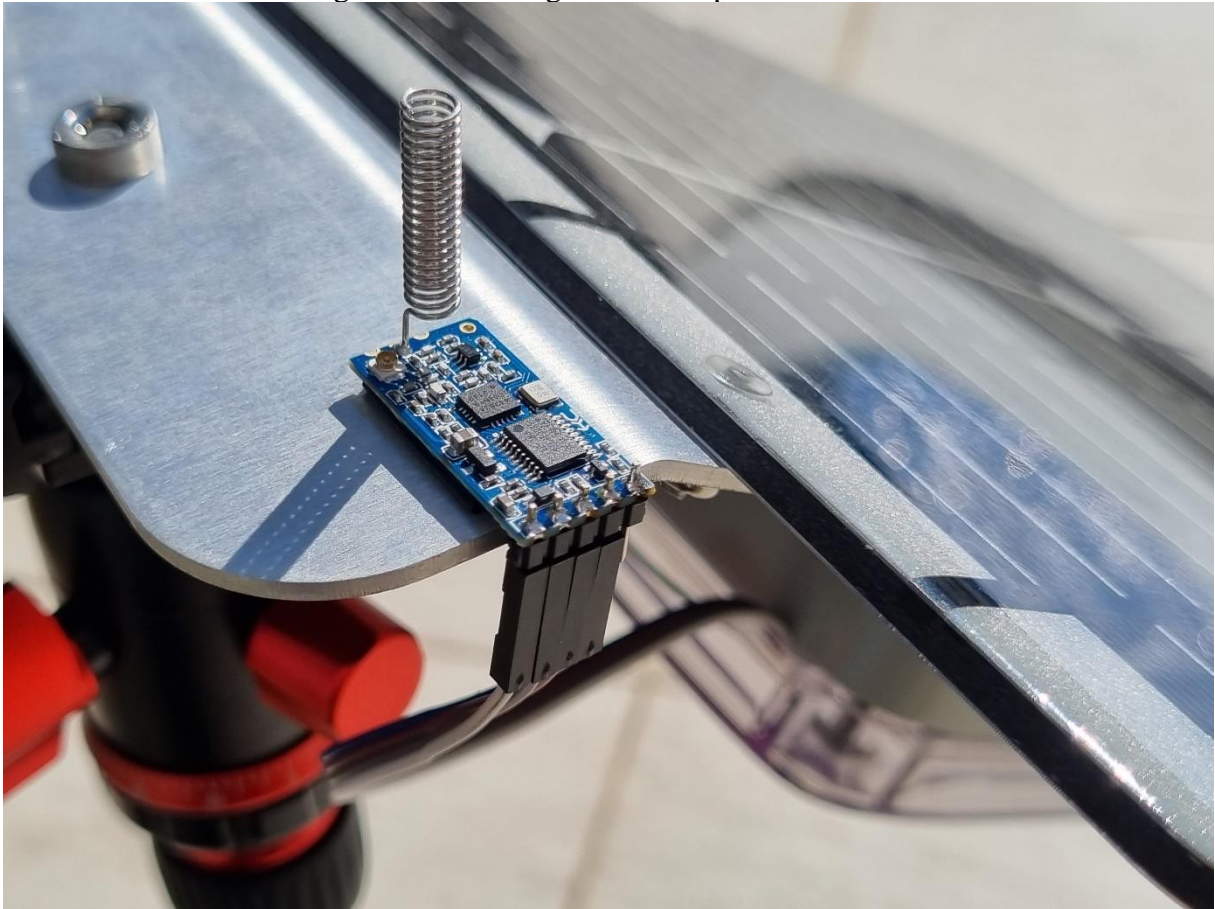
Figura 12 – Dispositivo mestre



Fonte: Autor

O dispositivo mestre fica acoplado junto com a placa da Swarm, apenas a placa HC-12 fica conectada externamente para não prejudicar o sinal. A montagem final pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 – Montagem final dispositivo mestre



Fonte: Autor

A atividade que o segundo dispositivo realiza é relativamente simples. Inicialmente foram feitos testes com a placa ATtiny85 para realizar a função, a qual é uma placa simples, com baixo consumo de energia, desejável nesse projeto. Mas, infelizmente não foi suficiente para atender a demanda, pois existem algumas limitações como pouca memória flash e RAM, clock relativamente baixo e o fato de possuir um número limitado de pinos, o que dificulta a conectividade com outros componentes e dispositivos.

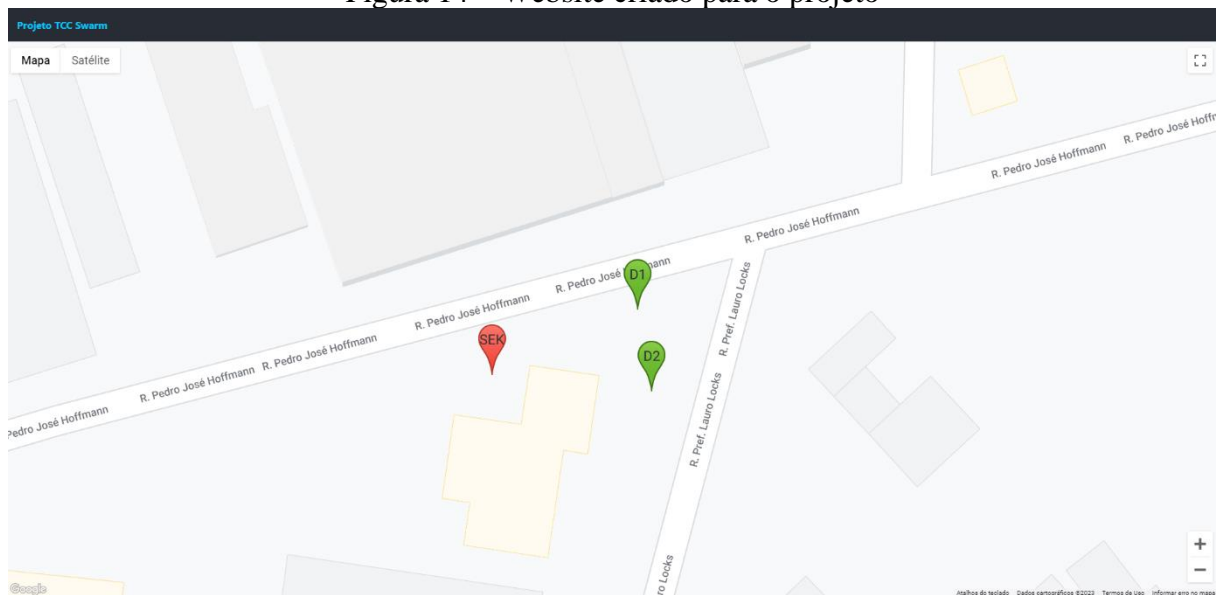
A placa ATtiny85 não possui uma porta serial nativa, no entanto, existe a possibilidade de utilizar uma biblioteca de software para configurar qualquer pino como porta serial. Essa alternativa foi explorada, porém a placa apresentou dificuldades em receber uma mensagem pelos pinos conectados à placa HC-12 e retransmitir para o SEK. Então foi decidido utilizar a STM32F103, que possui duas portas seriais nativas que atenderam perfeitamente a necessidade do projeto.

4.4 PAINEL COM INFORMAÇÕES

As mensagens contendo as medições ficam disponíveis no site da Swarm Hive, porém não é muito amigável ler as mensagens uma a uma. Então como é disponibilizada uma API para acesso as mensagens, foi criado um website para acessar e visualizar as medições.

Para desenvolver o website, foram utilizadas as APIs da Swarm e do Google Maps. A API da Swarm permitiu acessar dados relevantes como a localização do SEK e mensagens enviadas pelos dispositivos de operação, fornecendo informações para exibição no mapa interativo. Com a API do Google Maps foi possível a criação do mapa interativo, a mesma ofereceu recursos de mapeamento, como exibição de camadas, zoom e arraste, proporcionando uma experiência de navegação intuitiva para os usuários. A API também permitiu a personalização visual do mapa, garantindo a integração com os dados, como por exemplos marcadores posicionados com base em informações de latitude e longitude obtidas pela API da Swarm.

Figura 14 – Website criado para o projeto



Fonte: Autor

O site consiste de um mapa, conforme a Figura 14, com a localização do SEK e dos dispositivos de operação que realizam as medições de temperatura e umidade. Ao clicar em um dispositivo, é possível verificar informações relacionadas ao mesmo, no caso do SEK, aparece o total de mensagens enviadas para a rede da Swarm, e em cada dispositivo de

operação, seu ID de identificação, as medições realizadas, o horário do envio da mensagem, como exemplificado na Figura 15. Como no dispositivo de operação não tem módulo de GPS para obter dados de localização e horário do envio das mensagens, essas informações foram simuladas a fim de imitar o comportamento de um dado real para testes e simulações.

Figura 15 – Painel com informações coletadas



Fonte: Autor

4.5 SÍNTESE DO PROTÓTIPO

Neste capítulo, foi apresentado o desenvolvimento do projeto, um protótipo para explorar o conceito de IoST.

Em síntese, no projeto, utiliza-se a rede de satélites LEO da Swarm para oferecer uma aplicação de IoT em qualquer lugar, quebrando as barreiras de limitações dos projetos tradicionais, como a necessidade de uma rede local com internet. O objetivo é enviar dados de um local remoto, mesmo sem acesso à internet e rede de energia elétrica. Para isso, foi desenvolvido um dispositivo de operação que adquire dados de temperatura e umidade usando um microcontrolador STM32F103, uma placa de transmissão HC-12 e um sensor DHT11.

Os dados são formatados em uma mensagem específica e enviados ao modem do SEK, contendo informações como identificação do dispositivo, temperatura e umidade. No entanto, ao tentar receber os dados diretamente na porta serial do SEK, usando uma segunda placa HC-12, problemas de transmissão ocorreram devido ao alto baud rate necessário. Como solução, criou-se um segundo dispositivo, o centralizador, que recebe a mensagem do dispositivo de operação com um baud rate mais baixo e a retransmite para o SEK, com o baud rate mais alto, padrão do modem. Esse segundo dispositivo também utiliza o microcontrolador STM32F103, que atendeu às necessidades do projeto. A montagem final do protótipo pode ser observada na Figura 13.

Por fim, as medições enviadas pelos dispositivos de operação são disponibilizadas em um site da Swarm, mas a leitura individual dessas mensagens não é prática. Por conta disso, foi desenvolvido um website² que utiliza as APIs da Swarm e do Google Maps. A API da Swarm fornece acesso aos dados, como localização do SEK e mensagens enviadas pelos dispositivos de operação, enquanto a API do Google Maps possibilita a criação de um mapa interativo. O mapa exibe a localização do SEK e dos dispositivos de operação, e ao clicar em um dispositivo, é possível ver informações relacionadas, como ID, horário do envio da mensagem e medições realizadas. A integração das APIs permitiu personalizar visualmente o mapa e oferecer uma experiência de navegação intuitiva aos usuários.

4.6 DISPONIBILIDADE E DESEMPENHO DA REDE DE SATÉLITES

No momento atual, existem algumas empresas que ofertam serviços de rede de satélites LEO, com foco em conectividade de dispositivos IoT a essas redes. No projeto desenvolvido, foi utilizada a rede da Swarm Space, empresa que disponibilizou um dispositivo para utilização. A rede atualmente é composta por 189 satélites e existe o planejamento de colocar mais 150 em operação.

A Swarm disponibiliza um site com um mapa onde é possível verificar em tempo real a cobertura da rede de satélites, e ao marcar um ponto indicando o local do modem, um cronograma é exibido, mostrando em quais momentos do dia o local escolhido ficará fora da cobertura. Essa lacuna na cobertura impossibilita o envio de mensagens para a rede, porém, não é um problema tão grave, visto que em geral essas lacunas não duram mais do que 30

² O website apresentado na Figura 11 foi desenvolvido localmente para testes, não foi hospedado em um endereço público para acesso.

minutos, e que o modem da Swarm é capaz de armazenar e criar uma fila de múltiplas mensagens a serem enviadas enquanto não tem disponibilidade de satélites. A disponibilidade é adequada considerando o escopo deste trabalho, com foco em soluções IoT que não precisam de envio de dados em tempo real.

Durante todo o desenvolvimento do projeto foram enviadas mensagens para a rede da Swarm, a fim de testar a evolução do programa desenvolvido, em nenhum momento uma mensagem foi perdida, e mesmo quando foi enviada durante a lacuna, logo após o modem se conectar na rede, a mensagem foi enviada e estava disponível na plataforma Swarm Hive para consulta, o que demonstrou um bom desempenho da rede. Na Figura 16 é exibido o SEK junto com o dispositivo mestre durante um teste de envio de mensagem para a rede da Swarm, operando de forma totalmente independente.

Figura 16 – Protótipo em teste



Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram traçados alguns objetivos, como introduzir o conceito de IoST e destacar sua importância como parte fundamental da evolução e propagação de soluções IoT em qualquer lugar. Além disso, foi desenvolvido um projeto para realizar uma proposta de aplicação, utilizando sensores e o kit de desenvolvimento SEK da Swarm para coletar dados e enviá-los para a rede de satélites LEO, permitindo posteriormente o acesso dos dados coletados na internet. Por fim, também foi explorada a viabilidade de enviar dados a partir de um local remoto sem acesso à rede de energia elétrica e levantadas as limitações da abordagem realizada nesse trabalho.

Ao avaliar o alcance dos objetivos propostos, considera-se que foram alcançados de maneira satisfatória. A introdução ao conceito de IoST foi realizada, fornecendo uma visão geral das possibilidades, benefícios e restrições dessa abordagem. A utilização dos sensores e do kit de desenvolvimento SEK permitiu coletar dados de forma eficiente e transmiti-los para a rede de satélites LEO da Swarm. Além disso, a disponibilização desses dados na internet através de um site com mapa demonstrou a viabilidade e praticidade dessa solução.

Apesar que não foram feitos testes em locais extremamente isolados e remotos, apenas em um local urbano, em nenhum momento o dispositivo esteve conectado a uma rede local de internet, e inclusive teve impactos de ruído em seu sinal de conexão com os satélites, mas mesmo assim, conseguiu executar sua tarefa de maneira exemplar, e dado a falta de ruídos em um local remoto, o sinal provavelmente seria melhor e as tarefas de envio de mensagem seriam executadas da mesma maneira.

Porém, existem desvantagens, como o limite de 750 mensagens mensais no plano que a Swarm oferece atualmente, e a lacuna de tempo onde dispositivos terrestres ficam sem comunicação com o satélite. Esses fatores limitam as possibilidades de aplicações que podem utilizar a rede, já que não é possível realizar o envio de dados em tempo real. Atualmente o foco está em aplicações na área da agricultura, meio ambiente, indústria marítima e rastreamento de cargas em transporte.

Durante o desenvolvimento, foram identificadas algumas limitações do projeto proposto, como a falta de um módulo de GPS e horário para os dispositivos de operação, mas a falta dessas informações não impediu a exploração do conceito de IoST e a demonstração de como é viável a utilização da rede de satélites em diversos projetos. Também foram levantadas limitações da rede de satélites, como o limite de mensagens e a lacuna onde um

dispositivo pode ficar sem conexão com a rede, entretanto, com a adição de mais satélites LEO na rede, é possível que o limite de mensagens mensais aumente, e que as lacunas de sinal fiquem menores ou inexistentes.

Em trabalhos futuros, existe a possibilidade de resolver as limitações do projeto proposto, e também realizar o envio de diversas medições no intervalo de envio da mensagem, que é de uma hora. Além de avaliar a evolução da rede de satélites LEO e do mercado, opções de empresas que oferecem o serviço, e também dos planos disponíveis para usuários comuns.

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ I. F.; KAK A. The Internet of Space Things/CubeSats. *IEEE Network*, vol. 33, no. 5, pp. 212-218, Set-Out. 2019.

BNDES. Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil (Produto 9A – Relatório Final do Estudo, 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/d22e7598-55f5-4ed5-b9e5-543d1e5c6dec/produto-9A-relatorio-final-estudo-de-iot.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m5WVIlId>>. Acesso em: 1 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Anatel autoriza exploração de satélites por SpaceX e Swarm, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-autoriza-exploracao-de-satelites-por-spacex-e-swarm>>. Acesso em: 1 maio 2023.

SWARM SPACE. Swarm Network Architecture Overview, 2021a. Disponível em: <<https://swarm.space/wp-content/uploads/2022/06/Swarm-Network-Architecture-Overview.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2023.

SWARM SPACE. Evaluation Kit Quickstart Guide, 2021b. Disponível em: <<https://swarm.space/wp-content/uploads/2022/12/Swarm-Eval-Kit-Quickstart-Guide.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2023.

SWARM SPACE. Swarm M138 Modem Product Manual, 2022. Disponível em: <<https://swarm.space/wp-content/uploads/2022/09/Swarm-M138-Modem-Product-Manual.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2023.

MADAKAM, S., RAMASWAMY, R., TRIPATHI, S. Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, v. 3, n. 05, p. 164, 2015. Disponível em: <https://www.scirp.org/html/56616_56616.htm>. Acesso em: 6 junho 2023.

KUA, J., LOKE, S. W., ARORA, C., FERNANDO, N., & RANAWEERA, C. Internet of Things in Space: A Review of Opportunities and Challenges from Satellite-Aided Computing to Digitally-Enhanced Space Living. *Sensors*, v. 21, n. 23, p. 8117, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s21238117>>. Acesso em: 1 maio 2023.

MAJUMDAR, A. K. Optical wireless communications for broadband global internet connectivity: fundamentals and potential applications. Elsevier, 2018.

JOHN DEERE. O futuro é agora: tecnologias para impulsionar o agronegócio, 2022. Disponível em: <<https://conecta.deere.com.br/noticias/inovacao/o-futuro-e-agora-tecnologias-para-impulsionar-o-agronegocio>>. Acesso em: 04 junho 2023.

MEDTRONIC. FOCUSON™ MONITORING AND TRIAGING SERVICE, 2021. Disponível em: <<https://europe.medtronic.com/xd-en/healthcare-professionals/products/cardiac-rhythm/managing-your-patients/patient-clinic-services/focuson-for-cardiology.html>>. Acesso em: 04 junho 2023.

RING. Innovating an Industry – Celebrating 10 Years of Smart Home Security, 2023. Disponível em: <<https://blog.ring.com/about-ring/innovating-an-industry-celebrating-10-years-of-smart-home-security>>. Acesso em: 04 junho 2023.

STM. STM32F103x8 Datasheet, 2022. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2023.

STM. STM32CubeIDE Integrated development environment for STM32 products, 2021. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/data_brief/stm32cubeide.pdf>. Acesso em: 01 maio 2023.

ARM. μ Vision User's Guide Version 5.38a, 2022. Disponível em: <<https://developer.arm.com/documentation/101407/0538>>. Acesso em: 01 maio 2023.

ARDUINO. Overview of the Arduino IDE 1, 2023. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>>. Acesso em: 01 maio 2023.

DIGISTUMP. The Digispark design, 2012. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/digistump-resources/files/97a1bb28_DigisparkSchematic.pdf>. Acesso em: 01 maio 2023.

TEXAS INSTRUMENTS. KeyStone Architecture Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) User Guide, 2010. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf?ts=1685920715347&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>. Acesso em: 04 junho 2023.

ELECROW. HC-12 Wireless Serial Port Communication Module User Manual, 2012. Disponível em: <<https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf>>. Acesso em: 04 junho 2023.

MOUSER. DHT11 Humidity & Temperature Sensor, 2022. Disponível em: <<https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>>. Acesso em: 04 junho 2023.

REACT. React Quick Start, 2023. Disponível em: <<https://react.dev/learn>>. Acesso em: 06 junho 2023.