



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

YURI CRUZ MENDES

**PROJETO DE UM HARDWARE PARA MONITORAMENTO NÃO INVASIVO DE
COLMEIAS DE ABELHAS**

FORTALEZA
2023

YURI CRUZ MENDES

**PROJETO DE UM HARDWARE PARA MONITORAMENTO NÃO INVASIVO DE
COLMEIAS DE ABELHAS**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
apresentado ao curso de Engenharia de
Computação da Universidade Federal do
Ceará – UFC como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro de
Computação.

Professor Orientador: Alexandre Augusto
da Penha Coelho

FORTALEZA

2023

YURI CRUZ MENDES

**PROJETO DE UM HARDWARE PARA MONITORAMENTO NÃO INVASIVO DE
COLMEIAS DE ABELHAS**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
apresentado ao curso de Engenharia de
Computação da Universidade Federal do
Ceará – UFC como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro de
Computação.

Aprovado em: 19/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Augusto da Penha Coelho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Dr. David Freitas Moura Mota (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nicolas de Araújo Moreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Me. Caio Costa do Amaral
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a todos amigos e familiares que me apoiaram e me apoiam nessa jornada.

Até a próxima.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Alexandre Augusto da Penha Coelho pela enorme paciência, excelente orientação e valiosa amizade.

Ao Eng. Dr. David Freitas Moura Mota pela paciência e tempo dedicado à coorientação desse projeto.

Aos Prof. Dr. Nicolas de Araújo Moreira e ao Eng. Me. Caio Costa do Amaral pela participação na banca e valiosas sugestões.

À minha esposa, Rochelly Beviláqua, por todo o apoio e paciência, que muito contribuiu para a realização deste trabalho e por ter me dado nosso melhor presente, a neném Alice.

Ao meu pai, Marcos Anselmo Mendes, por me perturbar quase todo dia perguntando pelo progresso desse TCC.

À minha mãe, Tarcila Cruz, por todo amor e carinho.

Aos meus amigos, principalmente aos amigos que de alguma forma me ajudaram nas adversidades enfrentadas durante o curso: Joir Neto, Luiz Cláudio Chagas, Abdoral Neto, Gustavo Sikora, Adriano de Sousa, Felipe Jucá e Bruno Marques.

“No matter where you go, everyone's connected.”

Iwakura Lain

RESUMO

Sistemas embarcados estão presentes em grande quantidade de dispositivos do nosso dia a dia, como em televisores, micro-ondas, máquinas de lavar, câmeras digitais e telefones celulares. Além disso, principalmente devido a indústria 4.0 e ao avanço das tecnologias de IoT (Internet das Coisas), os sistemas embarcados estão em uso contínuo e progressivo na agricultura de precisão. Contudo, muitos desses equipamentos, grande maioria importada, de monitoramento ainda são caros para a realidade do Brasil, principalmente quando se leva em conta o pequeno produtor rural, o qual muitas vezes não dispõe de financiamento e/ou recursos próprios para a informatização do seu processo produtivo. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um *hardware* de baixo custo para um sistema embarcado que monitore a saúde de colmeias de abelhas de maneira remota e que seja alimentado através de energia fotovoltaica. Este hardware é composto por sensores responsáveis pela coleta das grandezas físicas, como peso, temperatura e umidade, que estarão conectados diretamente à um microcontrolador Arduino Nano V3, que por sua vez tem como função principal processar os dados para então posteriormente transmitir, via sinais de rádio através de um módulo LoRa SX1276, à um módulo receptor. O resultado desse trabalho está na concepção e projeto deste hardware de baixo custo culminando com isso em um projeto nacional que pode ser utilizado não apenas para o monitoramento de abelhas, mas também para outros monitoramentos que se fazem necessários na agricultura de precisão.

Palavras - chave: Hardware. Placa de Circuito Impresso. Apicultura. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

Embedded systems are present in large quantities in devices in our everyday life, such as televisions, microwaves, washing machines, cameras, and mobile phones. Furthermore, due to Industry 4.0 and the advancement of Internet of Things (IoT) technologies, embedded systems are continuously and progressively being used in precision agriculture. However, many of these devices, the vast majority of which are imported, are still expensive for the reality of Brazil, especially when considering small farmers who often lack funding or resources to computerize their production processes. In this context, this monograph aims to develop low-cost hardware for an embedded system that monitors the health of beehives remotely and can be powered by photovoltaic energy. This hardware consists of sensors responsible for collecting physical quantities, such as weight, temperature, and humidity, which will be directly connected to an Arduino Nano V3 microcontroller. The microcontroller, in turn, has the main function of processing the data and transmitting it via radio signals through a LoRa SX1276 module to a receiver module. The result of this work is the conception and project of this low-cost hardware, culminating in a national project that can be used not only for monitoring bees but also for other necessary monitoring activities in precision agriculture.

Keywords: Hardware. Printed Circuit Board. Beekeeping. Precision agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Colmeia do apiário da Universidade Federal do Ceará – UFC	16
Figura 2	– Primeira versão do hardware com o módulo SX1276	19
Figura 3	– Esquema representativo de um sistema embarcado	21
Figura 4	– Comunicação SPI em Modo 0	24
Figura 5	– Esquema de classificação das placas de circuito impresso (PCI)	27
Figura 6	– Máscara de solda (<i>solder mask</i>)	28
Figura 7	– Diferenças entre as tecnologias PHT e SMT	29
Figura 8	– Arquitetura geral do projeto	31
Figura 9	– Placa Arduino Nano V3	32
Figura 10	– Sensor DHT22	33
Figura 11	– Célula de carga	34
Figura 12	– Módulo HX711	35
Figura 13	– Encapsulamento e pinos do CI LM7805	36
Figura 14	– Encapsulamento e pinos do CI LM1117	37
Figura 15	– Módulo TP4056	38
Figura 16	– Módulo MT3608	39
Figura 17	– Esquema de instalação para um capacitor de desacoplamento ..	40
Figura 18	– Módulo LoRa SX1276	41
Figura 19	– SN74LVC2T45	42
Figura 20	– Placa Raspberry Pi Zero W	43
Figura 21	– Módulo LILYGO TTGO LoRa32 V1.0 ESP32 LoRa	43
Figura 22	– Simbologia da placa Arduino Nano	45
Figura 23	– Geometria (<i>Footprint</i>) da placa Arduino Nano	45
Figura 24	– Disposição mecânica da PCI do projeto	46
Figura 25	– <i>Placement</i> dos Componentes	47
Figura 26	– Modelo 3D do hardware	48

TABELAS

Tabela 1	– Conexão entre pinos do módulo LoRa SX1276 com o Arduino ...	41
Tabela 2	– <i>Bills of Materials</i> (BOM) do projeto	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abemel	Associação Brasileira de Exportadores de Mel
AD	Analógico Digital
BOM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CC-CC	<i>Constant Current-Constant Current</i>
CI	Circuito Integrado
CLK	<i>Clock</i>
CPHA	<i>Clock Phase</i>
CPOL	<i>Clock Polarity</i>
DA	Digital Analógico
DIP	<i>Dual In-line Package</i>
GND	<i>Ground</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LESC	Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação
LoRa	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Networking</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Networking</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MISO	<i>Master In Slave Out</i>
MOSI	<i>Master Out Slave In</i>
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
Pmpp	<i>Potential Maximal Power Point</i>

PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver and Transmitter</i>
USART	<i>Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
US\$	<i>United States Dollar</i>
SCK	<i>Serial Clock</i>
SMD	<i>Surface-mount Device</i>
SMT	<i>Surface-mount Technology</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	<i>Slave Select</i>
THT	<i>Through Hole Technology</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
Voc	<i>Open Circuit Voltage</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação	17
1.2 Breve Histórico do Projeto	17
1.3 Objetivo Geral	19
1.3.1 <i>Objetivos Específicos</i>	19
1.4 Organização do Trabalho	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Sistemas Embarcados	20
2.2 Processadores.....	21
2.3 Interfaces de Comunicação.....	22
2.3.1 <i>SPI</i>	23
2.4 Sensores	25
2.5 Conversão analógico digital	25
2.6 LoRaWAN	26
2.7 Placas de Circuito Impresso	26
2.8 Through Hole Technology (THT) e Surface Mount Technology (THT)	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 Arquitetura	29
3.2 Placa Arduino Nano	31
3.3 Sensor de Umidade e Temperatura DHT22	32
3.4 Sensor de Peso	33
3.5 Fontes de Alimentação	35
3.5.1 <i>Painel Fotovoltaico</i>	35
3.5.2 <i>Reguladores de Tensão</i>	36
3.5.3 <i>TP4056</i>	37
3.5.4 <i>MT3608</i>	38
3.6 Capacitores de Desacoplamento	39
3.7 Transmissor LoRa SX1276	40
3.8 SN74LVC2T45	42
3.9 Receptor	43
3.10 Altium Designer	44
4 RESULTADOS	47
4.1 Custo	48
5 CONCLUSÃO	49

REFERÊNCIAS	51
ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS	58
ANEXO B – ESQUEMÁTICO	59
ANEXO C – DESENHO DA PCI	60

1 INTRODUÇÃO

As abelhas são insetos pertencentes à ordem *Hymenoptera*, da superfamília *Apoidea* e do subgrupo *Anthophila* (MICHENER, 2007) que atuam como agentes polinizadores essenciais para a produção agrícola, aumentando a produtividade de culturas como as de soja e café. Além disso, elas produzem o mel, cuja produção brasileira aumentou 19,61% entre os anos de 2014 e 2019, de acordo com informações fornecidas pela Associação Brasileira de Exportadores de Mel (Abemel) (BRASIL, 2021).

O Ministério da Economia divulgou em 2020 que o Brasil exportou 45,7 mil toneladas de mel natural naquele ano, gerando um faturamento de US\$ 98,560 milhões, sendo os Estados Unidos responsáveis por 72% desse valor, adquirindo 34 mil toneladas de mel, totalizando US\$ 71,2 milhões (BRASIL, 2021).

Dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2020) mostram que quando observada as toneladas de mel exportadas, o Brasil ocupa o quinto lugar entre os maiores exportadores mundiais, atrás apenas da China, Ucrânia, Argentina e Índia (MOTA, 2022).

Na Região Nordeste do Brasil, o Ceará destaca-se na posição de terceiro maior produtor de mel, sendo o estado que apresentou o maior crescimento percentual da produção em 2020 (VIDAL, 2022) e, de acordo com Barbosa (2012), o Ceará possui uma localização bastante propícia para a atividade apícola e em suas áreas semiáridas, onde predominam o cajueiro e a algarobeira, há grande potencial para a apicultura, já que são plantas altamente melíferas e apreciadas pelas abelhas, além de florescem em épocas secas do ano.

Segundo Michener (2007) existem mais de 20000 espécies de abelhas no mundo. O número total de espécies contabilizadas nos inventários de abelhas brasileiras ultrapassa mais de 3.000 (PINHEIRO-MACHADO *et al.*, 2002) e encontram-se descritas nos inventários de abelhas do Estado do Ceará 148 espécies de abelhas nativas do estado, que pertencem a cinco famílias e 72 gêneros distintos. Esse número representa cerca de 8% da diversidade nacional do grupo (FREITAS *et al.*, 2021)

Monitorar continuamente colmeias de abelhas é importante para acompanhar a saúde dos indivíduos e para se agir em caso de qualquer condição anormal dentro

da colmeia. A temperatura dentro da colmeia se relaciona com o consumo de alimentos, período de procriação e até com a morte da colônia (ZACEPINS *et al.*, 2015) enquanto a umidade dentro da colmeia é muito importante para a eclosão dos ovos (ABOU-SHAARA *et al.*, 2017).

É comum na apicultura tradicional a abertura frequente da colmeia para verificar manualmente a saúde das abelhas sendo que tais práticas aumentam os níveis de estresse da colmeia e impactam negativamente as abelhas (JOSHI, 2022). Processos invasivos como abrir as colmeias e remover os quadros para averiguá-los possuem o risco de abelhas serem esmagadas pela movimentação dos quadros. Além disso, muitas colmeias são mantidas em locais distantes que exigem longos deslocamentos do apicultor até elas (MACIEL *et al.*, 2018).

Com o objetivo de lidar com essa problemática, o presente trabalho tem como finalidade elaborar um hardware que será utilizado para o monitoramento de colmeias, com ênfase na regulação da temperatura, umidade e peso da colmeia.

Figura 1 – Colmeia do Apiário da Universidade Federal do Ceará – UFC.



Fonte: FREITAS, B. M. Disponível em: <https://abelha.org.br/pesquisador-da-dicas-para-manter-producao-de-mel-em-climas-extremos/>. Acessado em: 13/06/2023.

1.1 Motivação

Geralmente produtores de mel não possuem acompanhamentos técnicos especializados, além de possuírem um sistema de produção desorganizado, uma deficiência estrutural e uma carência de inovações e tecnologias, sendo que tais práticas são fundamentais para o crescimento das empresas em um ambiente cada vez mais concorrido (MONTEIRO; KHAN; CAMPOS; LIMA, 2014). Assim uma nova tecnologia que ajude a gerenciar as colmeias pode ser útil aos apicultores, permitindo a identificação de parâmetros que possam maximizar a produção de mel e, conseqüentemente, gerar maiores lucros.

Um apicultor que monitora constantemente suas colmeias pode tomar decisões mais precisas sobre quando e como manejar as colônias de abelhas, reduzindo com isso os riscos inerentes a criação de abelhas.

Nos últimos anos cresceu o número de pesquisadores que se empenham e se dedicam a desenvolver e utilizar dispositivos no monitoramento de colmeias (JOSHI, 2022).

Um apicultor que possui um dispositivo que permite monitorar colmeias de abelhas, pode detectar precocemente possíveis problemas de saúde das abelhas, prevenindo perdas significativas de colônias e, conseqüentemente, de mel, podendo melhorar a sua produtividade e garantindo um fornecimento mais constante de mel e outros produtos apícolas. Sendo este dispositivo mais vantajoso se for de baixo custo e puder facilitar as verificações das colmeias que normalmente ocorrem de forma manuais e se permitir a disponibilidade dos parâmetros avaliados a qualquer momento para o apicultor.

1.2 Breve Histórico do Projeto

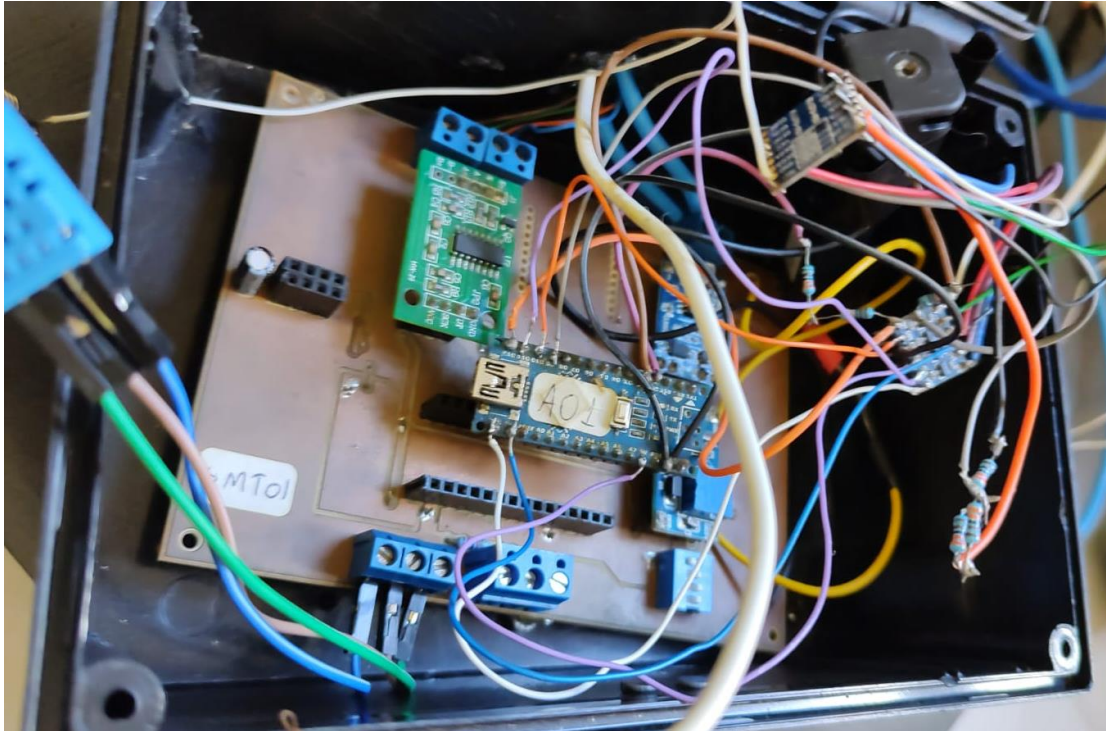
Como no Campus do Pici da UFC há várias colmeias disponíveis e professores que as cultivam e que desenvolvem pesquisas com abelhas, professores e alunos de iniciação científica do curso de Engenharia de Computação se sentiram motivados em desenvolver tecnologias que auxiliassem e pudessem originar novas pesquisas com abelhas. Em 2014 surgiu o Sm@rtbee, projeto que funciona em caráter experimental no Campus do Pici em parceria com o

Departamento de Zootecnia, com o objetivo de desenvolver um sistema embarcado que monitore colmeias de abelhas e sob a orientação do Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes.

Em 2019, os alunos de iniciação científica Lucas Esteves Rocha, Aluísio Alves da Cunha e Alef Carneiro de Sousa, juntamente com o doutorando Davyd Bandeira de Melo e o engenheiro Júlio César Soares Américo Filho desenvolveram a primeira versão do *hardware* do Sm@rtbee. Essa versão se utilizava de apenas uma pilha de 3,7 V e utilizava um Módulo Transceptor Wireless 2.4 GHz NRF24L01 para a emissão dos dados por radiofrequência. Em 2020, com a entrada dos alunos de iniciação científica João Lucas Lima Monteiro e Luís Filipe Velasco da Silva no projeto, houve a substituição do módulo NRF24L01 por um módulo LoRa SX1276 que se conectava ao Arduino por meio de jumpers.

Na atual versão do projeto foi decidido a manutenção do módulo LoRa mas houve uma atualização do conversor de nível utilizado anteriormente, o BOB-12009, por uma tradução feita por chips SMD (*Surface-mount Device*) SN74LVC2T45, além da retirada dos jumpers de forma que a comunicação ocorra por meio de trilhas na PCB. Além disso, na versão mais recente da placa houve uma melhora nas fontes de alimentação, tendo em vista que na versão anterior o módulo LoRa estava sendo alimentado por um pino I/O do Arduino Nano e não havia reguladores de tensão e capacitores de desacoplamento. Acredito que a minha maior contribuição ao projeto foi a documentação realizada por meio dessa monografia, tendo em vista que os envolvidos anteriores não documentaram os seus processos de produção e desenvolvimento de seus *hardwares*. Através desta monografia novos alunos interessados terão um documento que os auxiliem na replicação do projeto ou no adicionamento de melhorias e alterações.

Figura 2 – Primeira versão do hardware com o módulo LoRa SX1276.



Fonte: elaborada pelo autor.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal projetar e desenvolver um hardware para o monitoramento remoto de colmeias de abelhas que possua baixo custo de produção e seja autossuficiente energeticamente.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho estão relacionados nos oito itens abaixo:

- I. Elaborar a arquitetura de *hardware* do projeto;
- II. Determinar os componentes necessários para a implementação dessa solução;
- III. Organizar as bibliotecas de símbolos e de geometria para o software CAD utilizado;
- IV. Projetar o esquemático do projeto;
- V. Projetar o *layout* da placa de circuito impresso (PCI);

- VI. Gerar a lista de materiais (BOM, do inglês *Bill of Materials*) necessários para a realização do projeto;
- VII. Exportar do software CAD os arquivos de fabricação da PCI.

1.4 Organização do Trabalho

O Capítulo 2 apresenta a Fundamentação Teórica necessária para a compreensão e elaboração do sistema proposto. O Capítulo 3 descreve a Metodologia, contendo a arquitetura do sistema e todo o material utilizado para realizar as atividades propostas neste trabalho, além dos custos necessários. O Capítulo 4 é exposto os resultados obtidos na elaboração do projeto. Por fim, no Capítulo 5 é encerrado este manuscrito com as conclusões inferidas por esta solução.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Embarcados

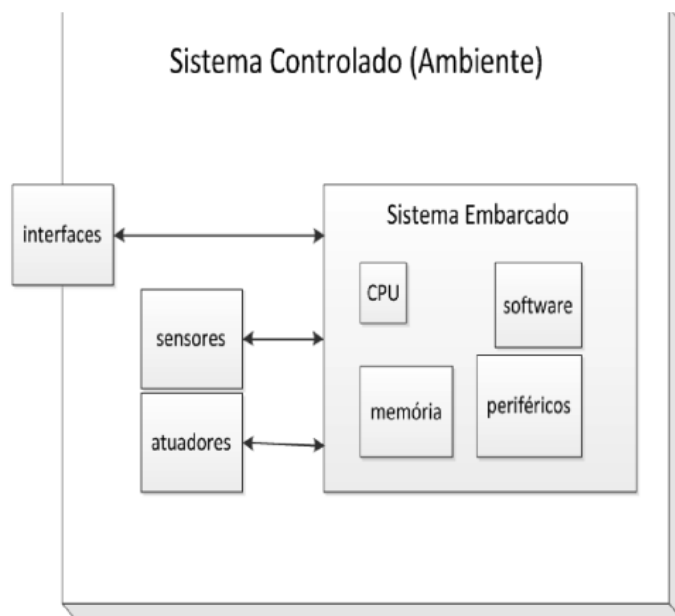
Um Sistema Embarcado é um sistema com finalidade de controlar um ambiente ou dispositivo físico e que realiza tarefas específicas, diferenciando se nesse quesito de um sistema de propósito geral como um computador pessoal (GAMA *et al.*, 2021). Sistemas embarcados estão presentes em grande quantidade de dispositivos do nosso dia a dia, como em televisores, micro-ondas, máquinas de lavar, câmeras digitais e telefones celulares (MOTA e SILVEIRA, 2013).

Sistemas embarcados são compostos por *hardware* (processador, memórias e periféricos) e software e frequentemente operam em tempo real e sem intervenção de um usuário (MOROZ, JASINSKI e PEDRONI, 2012).

Comumente os sistemas embarcados não se encontram de maneira isolada, se comunicando com outros dispositivos (por meio de protocolos I2C, SPI, USB, Ethernet, Bluetooth etc) ou com usuários (por meio de botões, teclados, leds, áudio etc) (MOROZ, JASINSKI e PEDRONI, 2012).

A figura a seguir apresenta um esquema representativo genérico de um sistema embarcado:

Figura 3 - Esquema representativo de um sistema embarcado.



Fonte: MOROZ, JASINSKI e PEDRONI (2012, p. 91).

O processador em um sistema embarcado executa as instruções operacionais (*firmware*) e é por ele que se definem as interfaces de comunicação com os periféricos, tornando-o elemento principal de um sistema embarcado (MOTA e SILVEIRA, 2013).

2.2 Processadores

Os processadores são responsáveis pelo tratamento das instruções e dos dados de um sistema. Os processadores podem ser de propósito geral ou de propósito único (VAHID e GIVARGIS, 1999).

Os processadores de propósito geral são versáteis e podem adequar-se a várias aplicações. Esses processadores possuem memória de programa para suprir diferentes aplicações que requerem diferentes espaços de memória e um *datapath* genérico que oferece uma coleção de operações gerais de processamento de dados. O tempo de desenvolvimento de um projeto utilizando um processador de

propósito geral se torna menor, pois o projetista precisa somente escrever o programa a ser executado no processador e alterações necessárias ao programa são feitas apenas com mudanças no código (VAHID e GIVARGIS, 1999).

Os processadores de propósito único é um circuito integrado desenvolvido para executar apenas um programa específico. O *datapath* de um processador de propósito único contém somente o conjunto de registradores específicos para a aplicação para a qual este processador foi projetado (VAHID e GIVARGIS, 1999).

Existem diversas vantagens na utilização de processadores de propósito único em sistemas embarcados. Seu preço é mais baixo, seu encapsulamento é menor e seu desempenho pode ser mais rápido quando comparados com processadores de propósito geral. Em compensação seu tempo de desenvolvimento pode ser bem maior em comparação com processadores de propósito geral (VAHID e GIVARGIS, 1999).

O processador de um sistema embarcado se comunica com sensores ou dispositivos atuadores do mesmo por meio de interfaces de comunicação.

2.3 Interfaces de Comunicação

Uma interface de comunicação é um *hardware* ou *software* capaz de conectar componentes, traduzindo as informações de um componente para o outro e permitindo a troca de dados entre eles (MUNHOZ e MORAES, 2020).

Os protocolos de comunicação mais comuns em microcontroladores de baixo custo são: USART, I2C, SPI e USB (TERÁN e ROSERO, 2022).

No protocolo UART (*Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*) utiliza-se uma comunicação assíncrona de dados de forma serial entre os dispositivos. Nesse protocolo o pino TX de um dispositivo é utilizado para enviar dados até o pino RX do outro dispositivo de maneira assíncrona, dessa forma deve-se ligar o TX de um dispositivo no RX do outro. O UART tem sido utilizado há décadas e ainda hoje é amplamente empregado (BLESSINGTON, MURTHY, GANESH e PRASAD, 2012).

O protocolo USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter*) é semelhante ao protocolo UART, mas com a diferença que há a adição

de um pino de *clock* (CLK) nos dispositivos que se comunicam. Tanto o transmissor quanto o receptor são sincronizados com o mesmo sinal de *clock*, que geralmente é gerado pelo transmissor e enviado juntamente com os dados em uma ligação separada para o receptor (EL-MOUSA, ANSSARI, AL-SUYYAGH e AL-ZUBI, 2008).

O I2C (*Inter-Integrated Circuit*) é um protocolo serial de 2 fios que consiste em um *clock* comum e uma linha de dados. Qualquer número de dispositivos escravos e de dispositivos mestres podem ser conectados a essas 2 linhas e se comunicar usando um protocolo que define endereços únicos para cada dispositivo escravo e bits de controle para controlar o início, o fim e a direção da comunicação (KANSE, MAYURI, ABHILASHA e NILAM, 2015).

O protocolo USB (*Universal Serial Bus*) se popularizou a ponto de se tornar um padrão na indústria, substituindo uma variedade de interfaces anteriores e definindo cabos e conectores (KANSE, MAYURI, ABHILASHA e NILAM, 2015). A comunicação USB ocorre por meio de *pipes* (canais lógicos). Um *pipe* é uma conexão entre um dispositivo *host* e um *endpoint* em outro dispositivo podendo ser do tipo de mensagem ou de fluxo. Um *pipe* de mensagem é bidirecional e transmite comandos curtos e respostas de status enquanto um *pipe* de fluxo é unidirecional e está conectado a um *endpoint* que também é unidirecional e transfere dados nos modos *isochronous* (isócrono), *interrupt* (de interrupção) ou *bulk* (de massa) (VANTONDER e ENGELBRECHT, 2014).

2.3.1 SPI

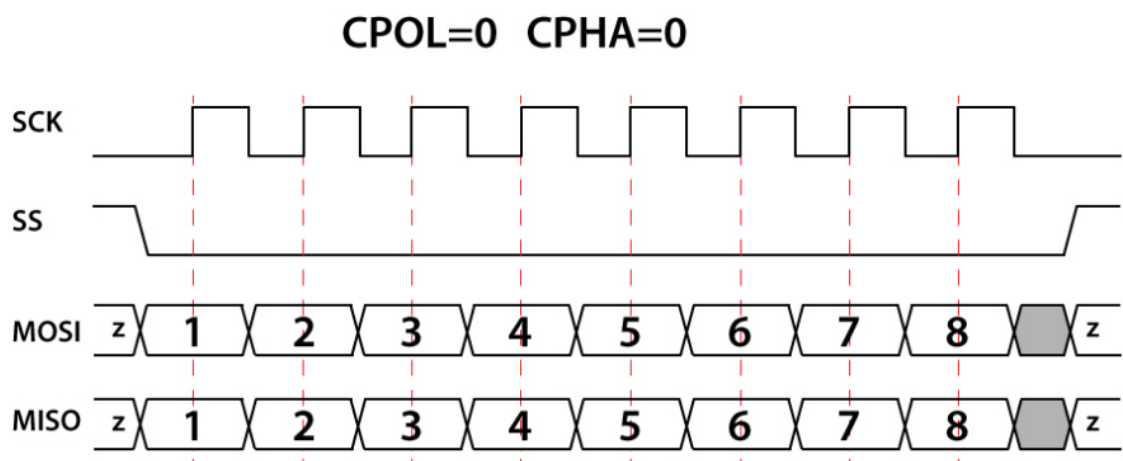
A interface de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*) fornece um método simples para que um dispositivo mestre e um escravo selecionado troquem dados de forma serial (CHOUDHURY, SINGH, MEHRA, 2014). Os quatro pinos associados às funções SPI são:

- MOSI - *Master Out Slave In*;
- MISO - *Master In Slave Out*;
- SCK - *Serial Clock*;
- SS - *Slave Select*;

A conexão SCK transmite o sinal de *clock*, enviado pelo dispositivo mestre, que vai controlar a velocidade com que se ocorrerá a comunicação. A conexão MOSI transmite dados do mestre para o escravo, a conexão MISO emite os dados do escravo para o mestre e pôr fim a linha de SS é utilizada pelo mestre para seleccionar o dispositivo escravo com o qual se pretende comunicar. A seleção do dispositivo escravo faz com que apenas este escravo leia o conteúdo da linha MOSI e, caso seja requisitado, o escravo envia dados através da linha MISO para o mestre (BAIÉ e LIRA, 2017).

O protocolo SPI permite a configuração das bordas de comunicação da linha de *clock* através de sua polaridade e através de sua fase. O bit de controle de fase do *clock* (CPHA) e o bit de polaridade do *clock* (CPOL) permitem a seleção de um formato entre quatro formatos possíveis para o *clock* a serem utilizados pelo sistema SPI. O CPOL selecciona um *clock* invertido ou não invertido e o CPHA é utilizado para seleccionar se os dados serão lidos nas bordas de subida ou nas bordas de descida da ligação *serial clock* (CHOUDHURY, SINGH, MEHRA, 2014). Por exemplo, para CPOL = 0 e CPHA = 0, os dados serão lidos na transição de subida do sinal de *clock* e devem ser atualizados na borda de descida do sinal de *clock* (BAIÉ e LIRA, 2017).

Figura 4 – Comunicação SPI em Modo 0.



Fonte: DLN Ware. Disponível em: <https://dlnware.com/dll/Clock-Phase-and-Polarity>. Acessado em: 13/06/2023.

2.4 Sensores

Os sensores são dispositivos eletrônicos que nos permitem interagir com o meio ambiente, de modo que eles nos forneçam informações sobre certas variáveis que nos cercam para podermos processá-las. Os sensores mimetizam a capacidade de percepção do ser humano, e devido a essa característica de imitar a percepção humana encontramos sensores relacionados aos diferentes sentidos: visão, audição, tato, ou seja, reagem a luz, som, contato etc. De forma análoga ao cérebro que reage a informações que recebe de nossos sentidos, dispositivos que possuem sensores deverão reagir às informações que recebem deles. (SERNA-RUIZ, ROS-GARCÍA, RICO-NOGUERA, 2010).

Como o mundo físico é por natureza analógico, as grandezas físicas mensuradas pelos sensores necessitam de um mecanismo de conversão para valores digitais. Este processo é chamado de conversão analógico digital (AD) (DIONÍSIO e SPALDING, 2017).

2.5 Conversão analógico digital

A conversão analógico digital é um processo em que um sinal analógico é transformado em um sinal discreto no tempo. A amplitude desse sinal analógico é quantizado em 2^n níveis possíveis, sendo n o número de bits utilizados para representar a amostra em um conversor AD escolhido (TAUB e SCHILLING, 1982).

A conversão digital analógica (DA) também é possível. A conversão DA pela técnica PWM (*Pulse Width Modulation*) utiliza um sinal em forma de onda quadrada, que se alterna em um padrão ligado-desligado simulando tensões intermediárias entre o V_{cc} completo de uma placa (por exemplo, 5 V no Arduino Uno) e 0 V. Alterando o tempo em que o sinal fica ligado em relação ao tempo em que o sinal fica desligado, obtém-se valores analógicos variáveis (SMITH, COWELL e FREEAR, 2013).

2.6 LoRaWAN

Projetos em Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) estão se beneficiando das redes chamadas LPWANs (Redes de Área Ampla e de Baixa Potência). LoRaWAN é um protocolo LPWAN que utiliza módulos LoRa com o intuito de conectar dispositivos a longas distâncias e com foco na eficiência energética (GAITAN, 2021). É um protocolo de controle de acesso ao meio (MAC, "*medium access control*") de código aberto padronizado pela *LoRa Alliance* que opera sobre a camada física LoRa. A camada MAC do LoRaWAN fornece o mecanismo que possibilita a comunicação entre vários dispositivos e *gateway(s)* de rede (ERTÜRK, AYDIN, BÜYÜKAKKASLAR e EVIRGEN, 2019).

A tecnologia LoRaWAN foi projetada para comunicações esporádicas quando se tem um grande número nós podendo transmitir dados com velocidades de transmissão entre 0,3 à 50 kbps em pacotes de dados com 19 a 250 bytes. (GAITAN, 2021).

2.7 Placas de Circuito Impresso

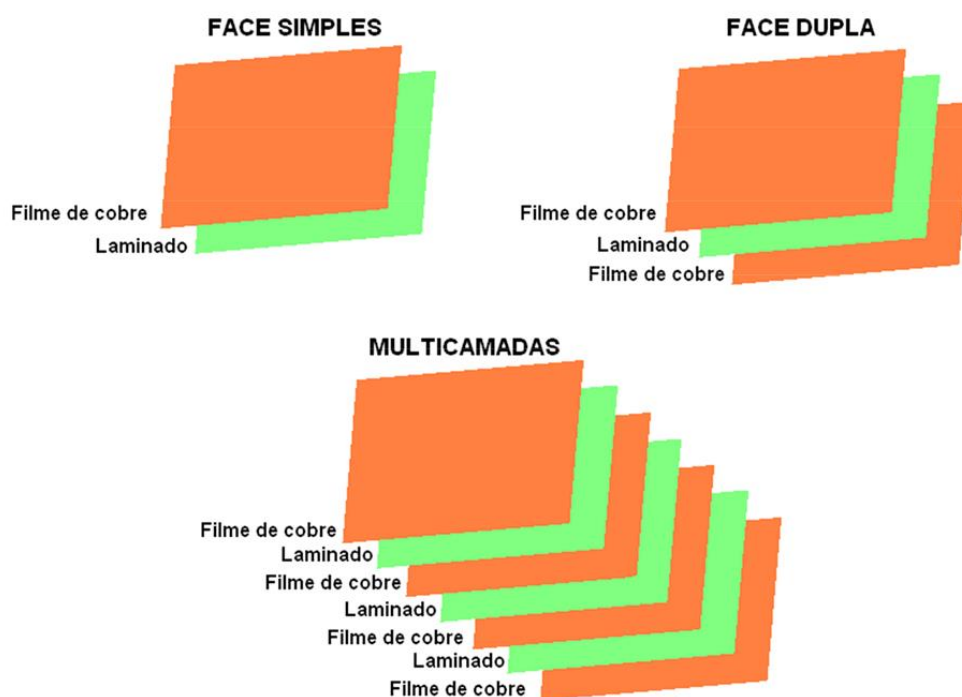
Com o intuito de fornecer suporte aos componentes eletrônicos e um meio de comunicação entre esses componentes, muitos *hardwares* de sistema embarcados são montados sobre placas de circuito impresso (PCI).

Placas de circuito impresso (PCI) são amplamente empregadas na indústria eletrônica e refere-se a um componente fundamental constituído por uma placa ou cartão com trilhas de cobre impressas ou depositadas. A placa atua como um isolante enquanto as trilhas conectam eletricamente os diversos componentes (MELO, RIOS e GUTIERREZ, 2001).

A PCI tanto serve como uma base mecânica para os componentes eletrônicos que constituem o circuito, como resistores, capacitores, circuitos integrados, como possibilita o contato entre esses elementos, graças às trilhas de cobre. Aspectos como a largura, espessura e espaçamento das trilhas de cobre são cruciais para o desempenho adequado do circuito elétrico (MELO, RIOS e GUTIERREZ, 2001).

As PCIs podem ser classificadas de acordo com a quantidade de faces revestidas de cobre que possuem: face simples (somente uma face da placa é revestida de cobre), face dupla (os dois lados da placa são revestidos de cobre) e multicamadas (4 a 16 camadas de cobre entre as camadas de material isolante) (MORAES e TENÓRIO, 2011).

Figura 5 - Esquema de classificação das placas de circuito impresso (PCI).



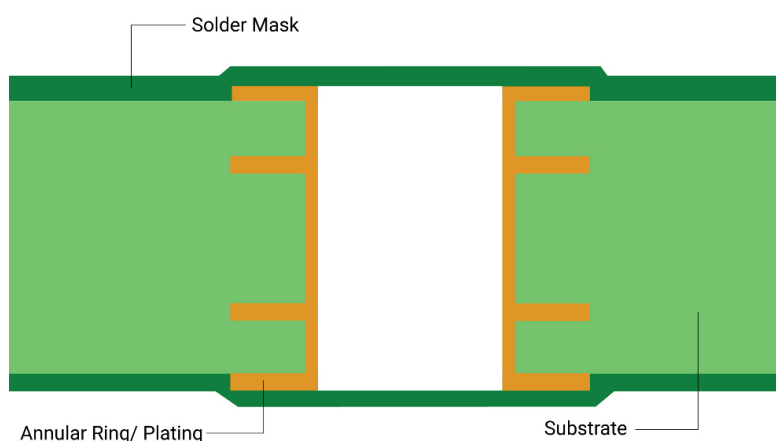
Fonte: MORAES e TENÓRIO (2011, p. 23).

As trilhas condutoras da PCI são desenhadas a partir da corrosão do material isolante da placa, expondo o cobre condutor. A precisão nesse processo é fundamental, pois as trilhas são muito pequenas, na ordem de alguns milímetros, e qualquer falha eventual pode levar a conexões inadequadas entre os componentes eletrônicos e ao mal funcionamento do produto desejado (PINTO; OTANI; LOLIS, 2012). Como uma PCI pode possuir várias camadas disponíveis para roteamento das trilhas, os componentes presentes em uma camada da PCI podem ser ligados à componentes presentes em outras camadas por meio de vias (HERSHBERGER e SURI, 1997).

Uma máscara de solda (SM, do inglês *solder mask*) é uma fina camada de polímero de revestimento que é depositada sobre a PCI e no substrato de um

componente eletrônico. As SMs têm a importante função de separar as superfícies condutoras das superfícies não condutoras, protegendo as trilhas de cobre e as interfaces entre elas. Entre as vantagens mais evidentes das SM estão a prevenção da formação de pontes de solda indesejáveis e soldas frias, prevenção da corrosão do circuito e do estresse mecânico externo (LIM *et al.*, 2023).

Figura 6 – Máscara de Solda (*Solder Mask*).



Fonte: Sierra Circuits. Disponível em: <https://www.protoexpress.com/blog/what-is-solder-mask-layer/>. Acessado em: 13/06/2023.

2.8 Through Hole Technology (THT) e Surface Mount Technology (SMT)

Para a montagem dos componentes eletrônicos em PCIs é muito comum na indústria as técnicas de *Through-Hole Technology* (THT) e *Surface Mount Technology* (SMT), ambas possuindo suas especificidades.

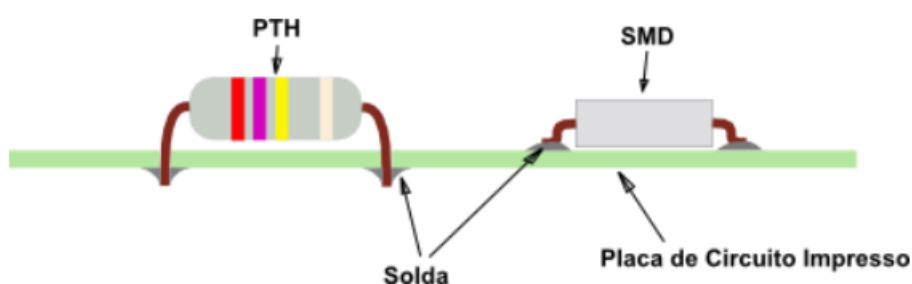
A tecnologia "*through-hole*" (THT) implica na inserção dos terminais dos componentes em furos perfurados na placa, seguida pela soldagem dos terminais no lado inferior dela. Porém, devido à necessidade de perfurar os furos, há limitações no espaço disponível e na área de roteamento (SHAMKHALICHENAR, BUECHE e CHOI, 2020).

Por outro lado, a tecnologia de montagem superficial (SMT) revolucionou a fabricação as PCIs pois permitiu reduções no tamanho, custo e complexidade das placas. A SMT permite o posicionamento de mais componentes em um mesmo espaço, pois não exige furos e possibilita a fixação dos componentes em ambos os lados da placa. Mais importante ainda é que as placas SMT podem ser fabricadas

em várias camadas, tornando-as ideais para eletrônicos de alta velocidade, com controle preciso sobre a impedância das trilhas e da interferência eletromagnética (SHAMKHALICHENAR, BUECHE e CHOI, 2020).

A SMT é amplamente preferida na fabricação de PCIs modernas. Entretanto, a THT ainda é empregada em placas mais simples e é mais conveniente para a realização da soldagem manual devido ao seu tamanho maior em relação às placas SMT. Atualmente, a grande maioria das placas utiliza a montagem superficial, e qualquer pessoa pode criar um projeto usando software CAD e enviá-lo a um fabricante para confeccionar a sua própria PCI (SHAMKHALICHENAR, BUECHE e CHOI, 2020).

Figura 7 – Diferenças entre as tecnologias PTH e SMT.



Fonte: Eletronpi. Disponível em: <http://www.eletronpi.com.br/ce-006-ptth-smd.aspx>. Acessado em: 13/06/2023.

3 METODOLOGIA

O primeiro passo para o desenvolvimento do projeto foi o levantamento bibliográfico, embasado em artigos, monografias, livros e pesquisas na Internet necessárias para a compreensão dos requisitos do projeto.

Em seguida desenhou-se a arquitetura de projeto, preocupando-se com a correspondência dos requisitos desejados, viabilidade e orçamento

3.1 Arquitetura

Ao contrário do desenvolvimento de *softwares*, cujas alterações podem ser facilmente realizadas com uma nova compilação do código-fonte, correções de erros em projetos de *hardware* geralmente vão exigir a produção de uma nova PCI, o que

acarreta mais custos e tempo. Por isso, a principal dificuldade para o desenvolvimento de um projeto de *hardware* é concluí-lo utilizando uma única versão da PCI (MOTA e SILVEIRA, 2013).

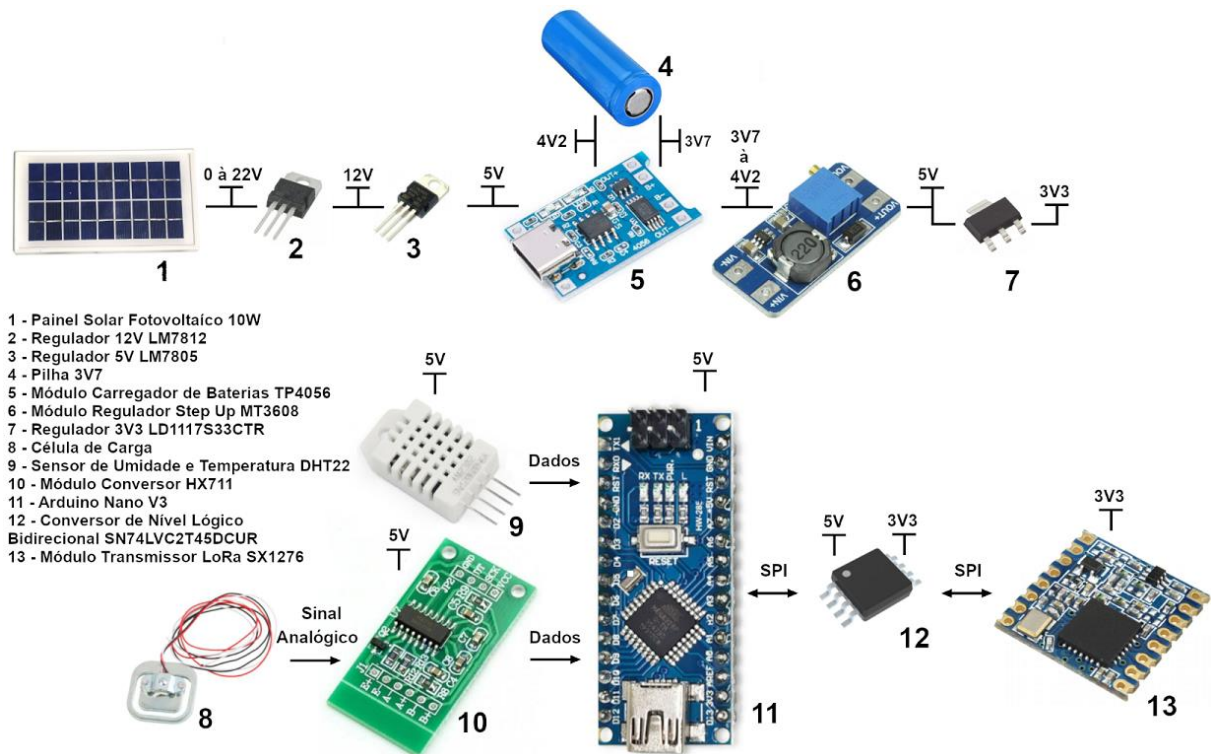
Com o intuito de reduzir a probabilidade de erros e termos uma versão única da PCI é essencial realizar uma análise minuciosa dos requisitos funcionais e desenvolver uma arquitetura sólida do sistema embarcado (MOTA e SILVEIRA, 2013).

Nesta seção especificam-se os componentes e módulos utilizados, a configuração da alimentação utilizada, os sensores e a interface para as aquisições de sinais. A arquitetura geral do protótipo é apresentada na figura 8.

O processador executa as instruções operacionais (*firmware*) e é por ele que se definem as interfaces de comunicação com os periféricos, tornando-o elemento principal de um sistema embarcado (MOTA e SILVEIRA, 2013). Para a realização deste projeto foi escolhido a placa Arduino Nano V3 cujo seu processador principal é o microcontrolador ATmega328. O ATmega 328 possui uma arquitetura de 8 bits, que opera a uma frequência de *clock* de 16 MHz, possui 32 kB de memória flash e suporta comunicação UART, I2C e SPI (ARDUINO, 2023).

Os sensores responsáveis pela coleta das grandezas físicas, como peso, temperatura e umidade, estão conectados diretamente ao Arduino, que tem como funcionalidade processar os dados para então posteriormente transmitir, via sinais de rádio através do módulo LoRa SX1276, à um receptor formado por um Raspberry Pi Zero W conectado à um módulo LILYGO® TTGO LoRa32 V1.0 ESP32 LoRa.

Figura 8 – Arquitetura geral do projeto.



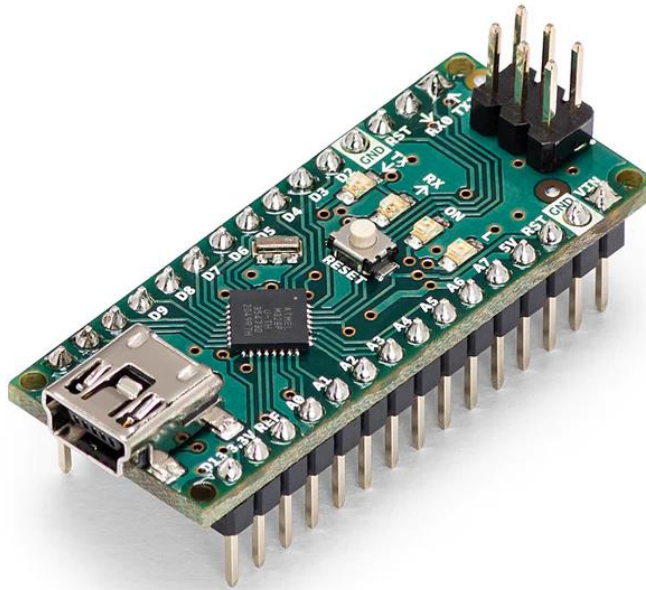
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 Placa Arduino Nano

O Arduino Nano é uma placa de microcontrolador de código aberto baseado no Microchip ATmega328 e desenvolvido pela Arduino.cc. A placa Arduino é equipada com conjuntos de pinos de entrada/saída (I/O) digitais e analógicos que podem ser conectados a vários *shields* (placas de expansão) e outros circuitos. A placa possui 14 pinos de I/O digitais (seis deles capazes de saída de PWM), 8 pinos de I/O analógicos e pode ser programada com o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino, via cabo USB (KURIA; ROBINSON; GABRIEL, 2020).

O Arduino torna-se uma opção atraente em projetos de eletrônica devido ao seu bom custo-benefício e versatilidade. Utilizar uma placa Arduino no protótipo desenvolvido se deveu pela facilidade em incorporar diversos sensores em seu *hardware*, sua interface de programação de fácil compreensão e aprendizado, a possibilidade de se encontrar diversos códigos abertos e bibliotecas prontos para utilização e a sua comunidade Arduino ser bastante entusiasmada.

Figura 9 – Placa Arduino Nano V3.



Fonte: Arduino. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. Acessado em: 13/06/2023.

Para o desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador Arduino foi utilizado a IDE própria para Arduino na versão 1.8.19 desenvolvida e disponibilizada gratuitamente pelo próprio site oficial da empresa e compatível com o Sistema Operacional Windows 11.

3.3 Sensor de Umidade e Temperatura DHT22

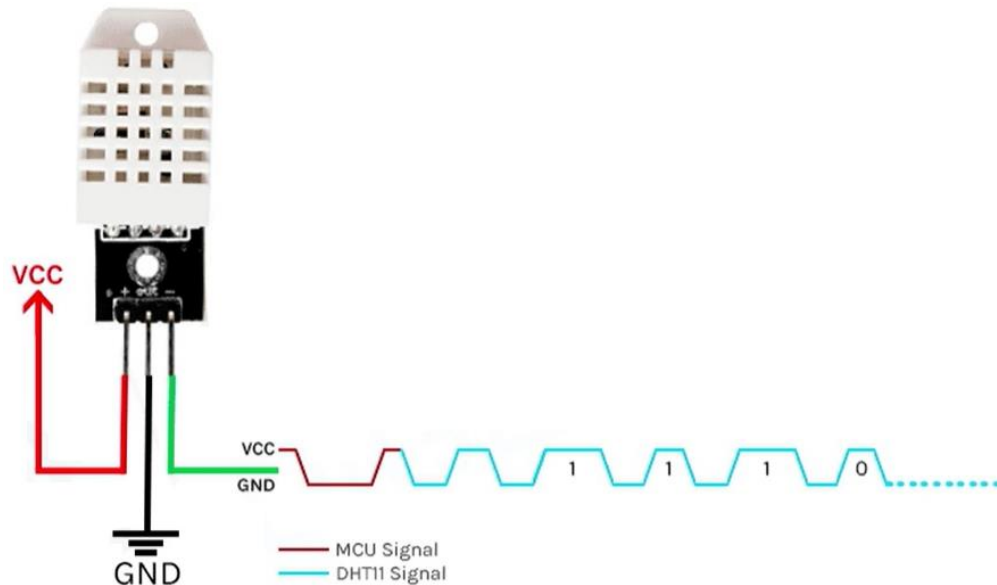
Para o monitoramento da temperatura e da umidade no interior da colmeia foi utilizado um sensor do tipo DHT22.

O sensor DHT22 (também denominado AM2302) é utilizado para aferir a temperatura e a umidade do ambiente em uma faixa de temperatura de -40 a +80 graus Celsius com precisão de $\pm 0,5$ grau e em uma faixa de umidade de 0 a 99.9% RH com precisão de 2% RH. O DHT22 pode operar em uma faixa de voltagem de 3,3 V a 5,5 V e é formado por um sensor de umidade capacitivo, um termistor, um resistor de *pullup* e um capacitor de desacoplamento (AOSONG-ELECTRONICS, 2018).

O DHT22 utiliza um *single bus communication protocol* que envia pacotes de dados de tamanhos de 40 bits e em formato MSB (*Most Significant Bit*) para que o

microcontrolador calcule a temperatura e umidade a partir dos dados recebidos (AOSONG-ELECTRONICS, 2018).

Figura 10 – Sensor DHT22.



Fonte: Circuit Digest. Disponível em: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interface-dht22-sensor-module-with-arduino>. Acessado em: 01/07/2023.

Para se comunicar com o DHT22, foi utilizado a biblioteca DHT22.h para Arduino. O pino de dados do DHT22 foi conectado com a entrada A1 do Arduino.

3.4 Sensor de Peso

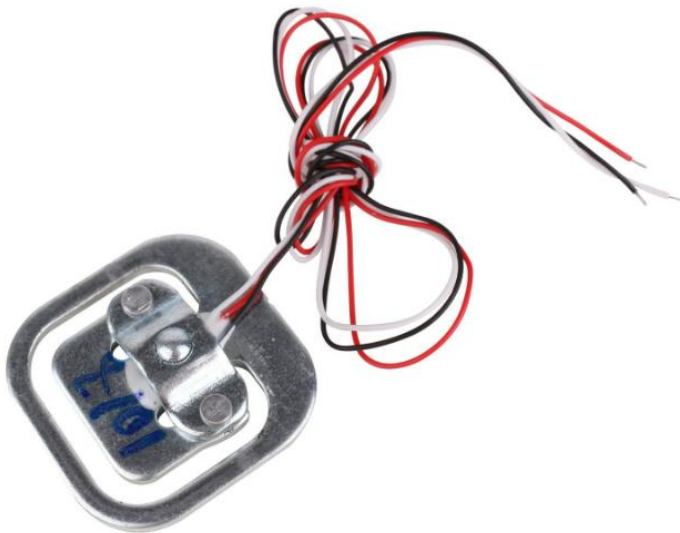
A massa da colmeia é composta pela soma das massas da caixa da colmeia, dos favos que contêm estoque de alimento e das abelhas. A massa da colmeia pode ser usada para monitorar diferentes estados da colônia e identificar vários eventos, como a ocorrência de fluxo de néctar, o estoque de alimento e abandono da colmeia pelas abelhas (ZACEPINS *et al.*, 2015).

Uma célula de carga é um transdutor que produz um sinal elétrico com magnitude diretamente proporcional à força que está sendo submetido. As células de carga do tipo *strain gauge* (extensômetros) funcionam com base no princípio de que um resistor plano se deforma quando o material das células de carga é deformado por ação de uma força. A deformação desse extensômetro por sua vez

altera a sua resistência elétrica que ocasiona uma alteração no sinal elétrico (VARSHITHA, 2021).

Uma célula de carga geralmente consiste em quatro extensômetros em uma configuração de ponte de Wheatstone e o sinal elétrico gerado é tipicamente da ordem de alguns milivolts (mV), o que requer uma amplificação antes de poder ser utilizado (VARSHITHA, 2021).

Figura 11 – Célula de Carga.

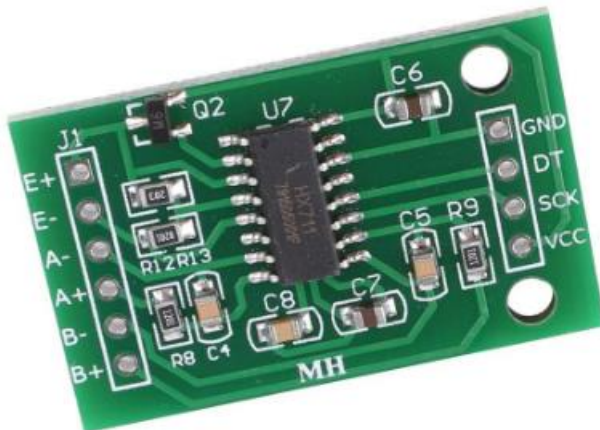


Fonte: DIY Electronics. Disponível em: <https://www.diyelectronics.co.za/store/load-cells/2385-load-cell-sensor-50kg-single-point.html>. Acessado em: 13/06/2023.

O HX711 é um módulo amplificador operacional de 24 bits que converte o sinal analógico em digital e amplifica a saída para que ocorra a leitura por um microcontrolador. O HX711 é um módulo apropriado para atuar em conjunto com células de carga ligadas em ponte (REIS-FILHO e MORAIS, 2023). Neste projeto, quatro células de cargas conectadas em ponte de Wheatstone foram ligadas ao módulo HX711, o que permite aferir o peso de colmeias de até 200 kg (BASA *et al.*, 2019).

O HX711 pode ser calibrado utilizando-se um peso conhecido sobre as células de carga para gerar um fator de calibração, cujo valor medido deve corresponder ao peso real do objeto (REIS-FILHO e MORAIS, 2023).

Figura 12 – Módulo HX711.



Fonte: DIY Electronics. Disponível em: <https://www.diyelectronics.co.za/store/load-cells/626-hx711-load-cell-sensor-interface-module.html>. Acessado em: 13/06/2023.

O HX711 utiliza um protocolo *non-I2C compliant* que utiliza uma ligação de *clock* e uma ligação de dados. Para se comunicar com o HX711, o Arduino foi carregado com a biblioteca HX711.h. Como os pinos do Arduino D0 e D1 são utilizados em interface UART e o pino D2 é empregado na comunicação SPI, foi selecionado o pino D3 para receber os dados do HX711 e o pino D4 como o *clock* desta transmissão.

3.5 Fontes de Alimentação

Para o bom funcionamento dos componentes eletrônicos é necessário uma tensão de operação estável e confiável (MOTA e SILVEIRA, 2013) e com esse intuito foi proposto um sistema de alimentação que cumpra os requisitos demandados pelo projeto.

3.5.1 Painel Fotovoltaico

Como o projeto foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Engenharia e Sistemas de Computação (LESC) da Universidade Federal do Ceará (UFC), foi utilizado o painel fotovoltaico KRPF-10P já pertencente ao acervo do laboratório. O KRPF-10P possui uma potência nominal (P_{mpp}) de 10 W e tensão de circuito aberto (V_{oc}) de 22 V.

O KRPF-10P fornece uma tensão contínua para o *hardware* quando ele estiver em condições de boa luminosidade, além de carregar duas pilhas de 3,7 V que alimentam o sistema nos momentos em que a energia de conversão fotovoltaica não for suficiente.

Como o *hardware* necessita de uma tensão contínua muito baixa em relação à tensão máxima gerada pelo painel fotovoltaico, e por não existir no mercado reguladores com as características desejadas para o projeto, utilizou-se dois reguladores de tensão (7812 e 7805) em série para chegarmos à tensão desejada de 5 V.

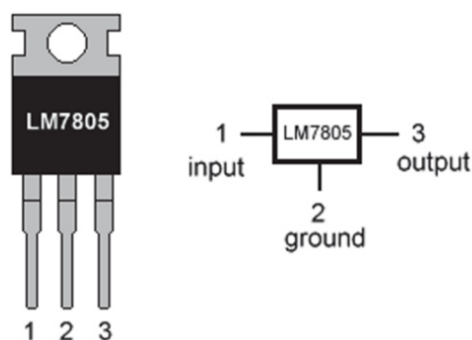
3.5.2 Reguladores de Tensão

Um regulador de tensão é um dispositivo eletrônico utilizado para regular a tensão de entrada e fornecer uma tensão de saída em um determinado valor fixo (SOMBRA-JÚNIOR e QUEIROZ-JÚNIOR, 2019). Neste projeto foram utilizados os reguladores de tensão 7812, 7805 e LM1117.

O 7812 regula a tensão em 12 V com corrente de 1 A (SOMBRA-JÚNIOR e QUEIROZ-JÚNIOR, 2019), que está dentro da faixa de tensão de entrada de operação do regulador 7805, que neste projeto foi ligado em série a um 7812.

O 7805 é um regulador muito encontrado em projetos que utilizam Arduino. O 7805 regula a tensão em 5 V com corrente de 1 A. O funcionamento adequado do projeto não depende apenas de boa programação do sistema, mas também de uma alimentação constante e bem regulada (ANTONIO, MARQUINA e JUÁREZ, 2014). Esta tensão de 5V será entregue a um módulo TP4056.

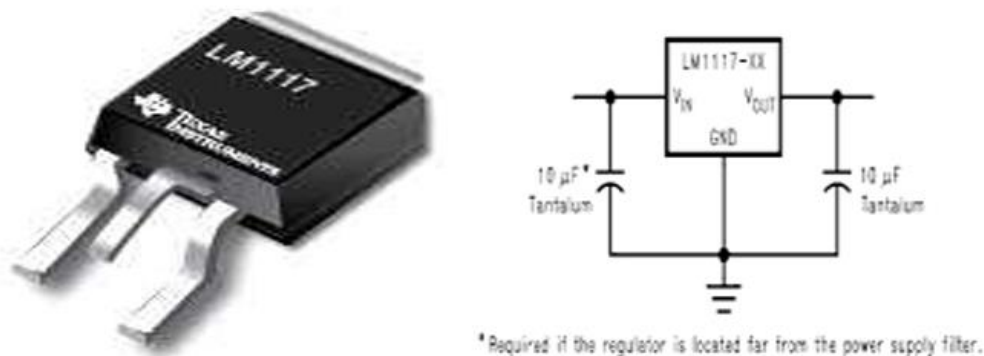
Figura 13 – Encapsulamento e pinos do CI LM7805.



Fonte: ANOTONIO, MARQUINA e JUÁREZ, 2014.

Como o módulo LoRa SX1276 precisa ser alimentado com uma tensão de 3,3 V, foi utilizado no projeto um CI LM1117 com saída de 3,3 V. O LM1117 pertence a série de reguladores de tensão que operam com corrente de 800 mA e está disponível em cinco versões de tensão de saída fixas: 1,8 V, 2,5 V, 2,85 V, 3,3 V e 5 V (JYOTHI, KRISHNA, RAVEENDRANADH, e RUPALIN, 2017).

Figura 14 – Encapsulamento e pinos do CI da família LM1117.



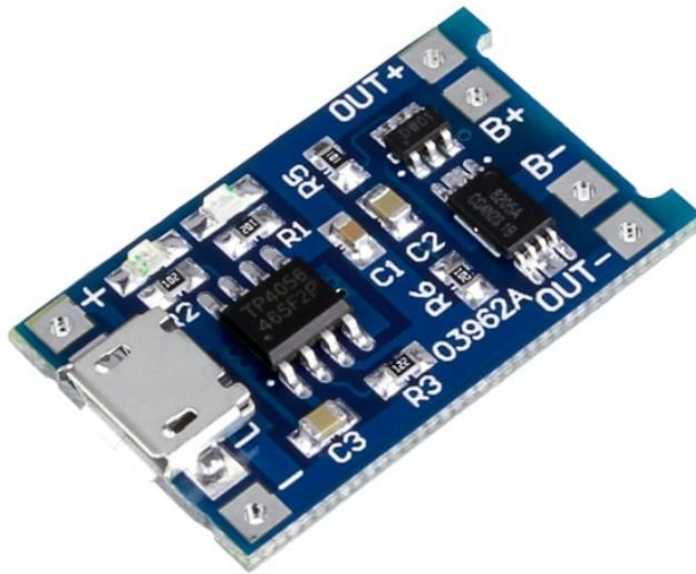
Fonte: JYOTHI, KRISHNA, RAVEENDRANADH, e RUPALIN, 2017.

3.5.3 TP4056

O módulo de TP4056 é utilizado para carregar uma bateria de lítio com uma corrente de 1 A e com uma tensão de carregamento contínua de 4,2 V, com precisão de $\pm 1,5\%$, e é ideal para baterias de 3,7 V. O módulo ainda possui dois leds que indicam a situação atual do processo de carregamento: em andamento ou concluído (ANANDA e AMIN, 2021).

Independente do carregamento das baterias, o TP4056 ainda fornece uma tensão de saída de 4.2 V, que no *hardware* será utilizada para alimentar um novo estágio de regulação, o MT3608.

Figura 15 – Módulo TP4056.



Fonte: Addicore. Disponível em: <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm>. Acessado em: 13/06/2023.

3.5.4 MT3608

O módulo MT3608 é um conversor CC-CC tipo *boost* (elevador) altamente eficiente, de baixo custo e de tamanho reduzido projetado para elevar uma tensão de entrada de 2 V à 24 V até aos valores de tensão de saída de 2.5 V à 28 V, com uma corrente máxima de saída de 2 A. O componente principal deste módulo é o CI MT3608 que amplifica a tensão, mas há outros componentes presentes como dois capacitores cerâmicos, um resistor fixo, um diodo *Schottky*, um indutor de 22 μ H e um potenciômetro que permite o ajuste da tensão de saída (ANA, EKAH e OYO-ITA, 2022).

Com o uso de seu potenciômetro, a tensão de saída foi ajustada em 5 V para a alimentação do Arduino, do módulo HX711, do sensor DHT22 e dos conversores de nível lógico.

Figura 16 – Módulo MT3608.



Fonte: Digilog Electronics. Disponível em: <https://digilog.pk/products/mt3608-2a-booster-dc-dc-step-up-module-micro-usb-input-2v-24v-to-5-9-12-28v>. Acessado em: 13/06/2023.

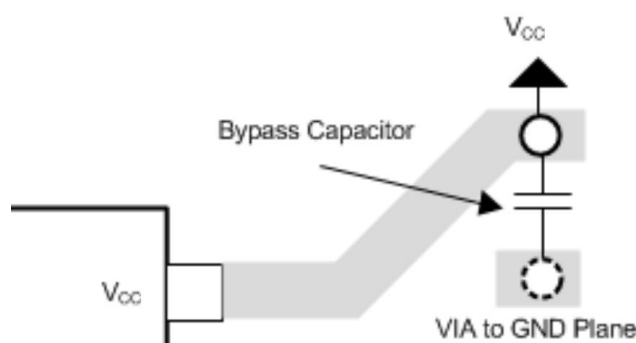
3.6 Capacitores de Desacoplamento

Quando a corrente consumida por um dispositivo muda, as quedas de tensão nas fontes de alimentação também mudam devido às características desses condutores. Se vários dispositivos compartilham o mesmo caminho para a fonte de alimentação, as mudanças na corrente de um elemento podem causar flutuações de tensão significativas que afetam o funcionamento dos outros dispositivos. Isso ocorre porque o comportamento de um dispositivo está ligado aos outros através da impedância comum do circuito de alimentação (BRANDÃO e FREIRE, 2022).

Para mitigar esse efeito indesejado, é comum adicionar capacitores de desacoplamento. Esses capacitores criam um caminho alternativo para as correntes transitórias, evitando que elas fluam através da impedância comum do circuito de alimentação. O capacitor de desacoplamento atua como um reservatório local de energia para o dispositivo, e geralmente é colocado entre a linha de alimentação e o GND, próximo ao circuito onde a corrente é necessária (BRANDÃO e FREIRE, 2022).

Ao ter uma capacitância adequada, o capacitor de desacoplamento fornece corrente suficiente para manter uma queda de tensão aceitável. Ele armazena uma pequena quantidade de energia que pode compensar a queda de tensão nos condutores de alimentação, garantindo uma alimentação estável para os dispositivos eletrônicos (BRANDÃO e FREIRE, 2022).

Figura 17 – Esquema de instalação para um capacitor de desacoplamento.



Fonte: Texas Instruments. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/gpn/sn74lvc2t45>. Acessado em: 13/06/2023.

Capacitores de desacoplamento foram utilizados em paralelo com os reguladores de tensão e com os conversores de nível, seguindo as instruções presentes em seus respectivos *datasheets*.

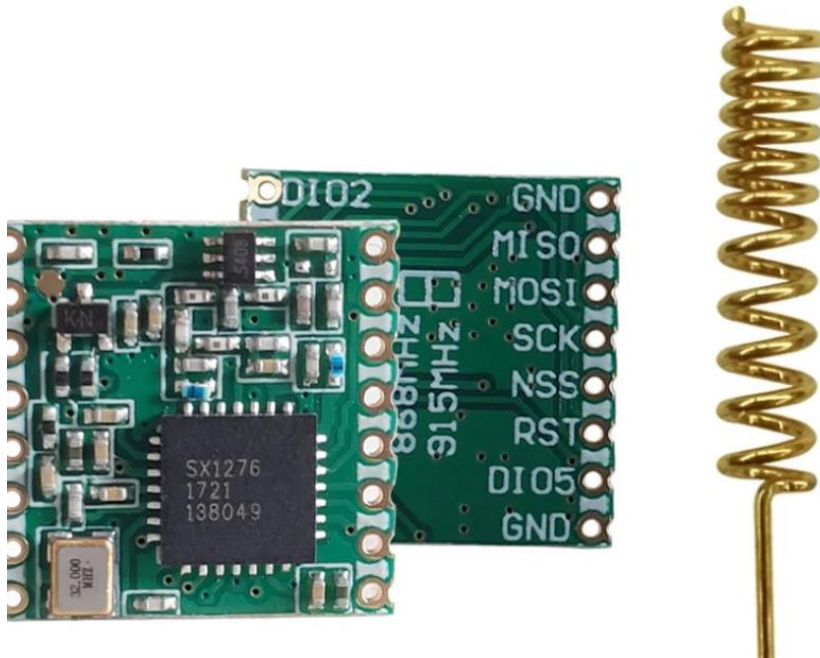
3.7 Transmissor LoRa SX1276

A utilização de módulos LoRa vem se expandindo em projetos de IoT em áreas rurais em conjunto com placas solares devido ao seu baixo custo comparado à outras tecnologias disponíveis no mercado (VILLARIM *et al.*, 2019).

LoRa é uma modulação de radiofrequência e corresponde à camada física no modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) (ERTÜRK, AYDIN, BÜYÜKAKKASLAR, EVIRGEN, 2019).

Para a realização deste projeto foi escolhido o módulo transmissor LoRa SX1276 que é um transceptor de longo alcance que opera na frequência de 915 MHz.

Figura 18 – Módulo LoRa SX1276.



Fonte: Think Robotics. Disponível em: <https://thinkrobotics.com/products/super-low-power-rf-lora-module-sx1276-868mhz>. Acessado em: 13/06/2023.

A comunicação entre o módulo LoRa e o Arduino utilizados no projeto ocorre através de protocolo SPI e segue a configuração de Modo 0 (onde encontra-se com CPOL = 0 e CPHA = 0).

Por padrão, a biblioteca lora.h para Arduino utilizada para enviar dados para os dispositivos de radiofrequencia LoRa necessita da configuração de ligações entre os pinos descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Conexão entre pinos do módulo LoRa SX1276 com o Arduino.

LoRa SX1276	Arduino
VCC	3.3V
GND	GND
SCK	SCK
MISO	MISO
MOSI	MOSI
NSS	D10
NRESET	D9
DIO0	D2

Fonte: Sandeep Mistry. Disponível em: <https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa>. Acessado em: 13/06/2023.

3.8 SN74LVC2T45

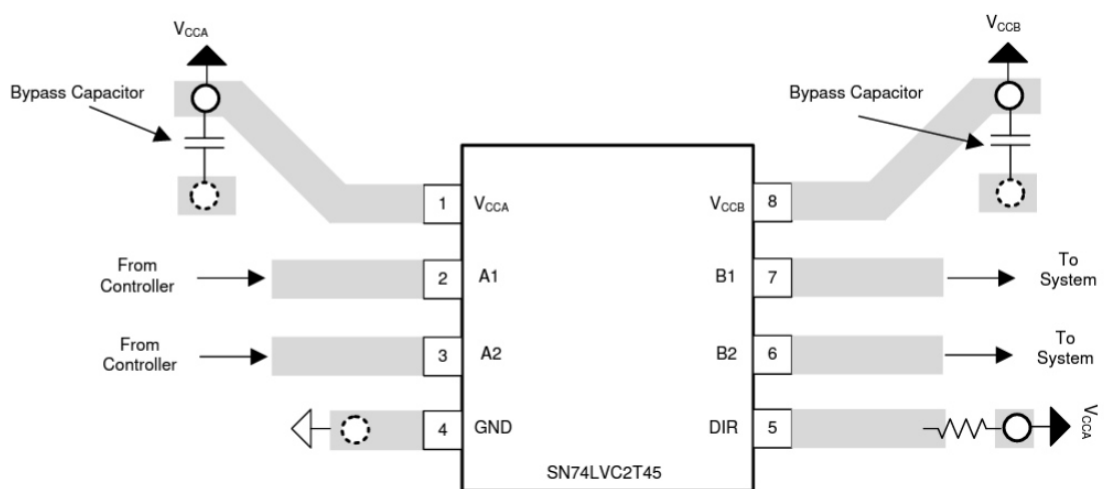
Como o Arduino Nano e o módulo LoRa SX1276 possuem padrões lógico de entrada e de saída em níveis diferentes, foram utilizados tradutores SN74LVC2T45 para resolver as incompatibilidades de tensão entre as duas partes com o intuito de garantir o funcionamento adequado do sistema.

O SN74LVC2T45 é um transceptor de barramento de dois bits e duas fontes de alimentação com tradução de tensão configurável que permite a conversão bidirecional entre qualquer um dos valores de tensão de 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V e 5 V. O pino DIR define a direção da transmissão de dados que ocorre no sentido do lado A para o B quando DIR está em nível lógico alto e do lado B para o A quando DIR está em nível lógico baixo (TEXAS-INSTRUMENTS, 2022).

As linhas MOSI, RESET, SS e SCK foram conectadas a dois transceptores configurados em modo de operação A para B, enquanto a linha MISO e DIO0 foram conectadas a outro transceptor em modo de B para A. Como as linhas SPI individuais são unidirecionais, cada direção de cada SN74LVC2T45 foi fixa em um único sentido.

O SN74LVC2Y45 se utiliza da tecnologia SMT devendo ser soldado diretamente na PCI.

Figura 19 – SN74LVC2T45.



Fonte: Texas Instruments. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/gpn/sn74lvc2t45>. Acessado em: 13/06/2023.

3.9 Receptor

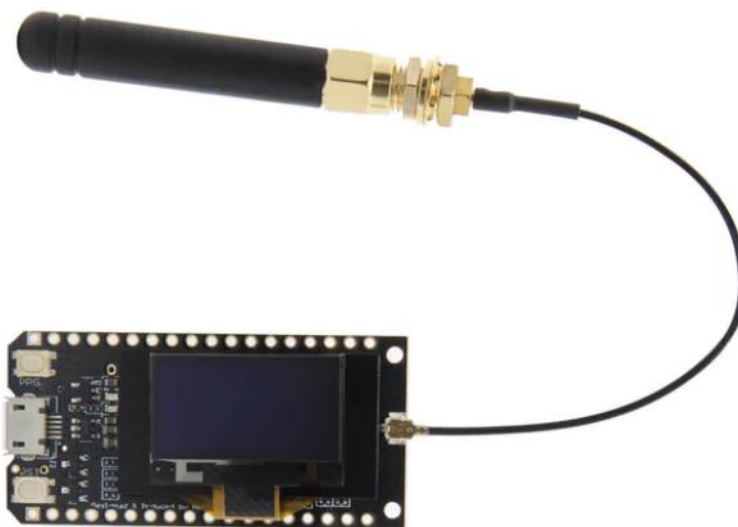
O receptor utilizado no projeto foi composto por uma placa Raspberry Pi Zero W conectado a um módulo LILYGO® TTGO LoRa32 V1.0 ESP32 LoRa.

Figura 20 – Placa Raspberry Pi Zero W.



Fonte: Raspberry Pi. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-w/>. Acessado em: 13/06/2023.

Figura 21 – Módulo LILYGO® TTGO LoRa32 V1.0 ESP32 LoRa.



Fonte: Lilygo®. Disponível em: <https://www.lilygo.cc/products/lora32-v1-0-lora-868mhz-915mhz>. Acessado em: 13/06/2023.

3.10 Altium Designer

A utilização de um *software* CAD (*Computer-Aided Design*) facilita o desenvolvimento de um desenho técnico. Para a elaboração desse projeto foi escolhido o software Altium Designer.

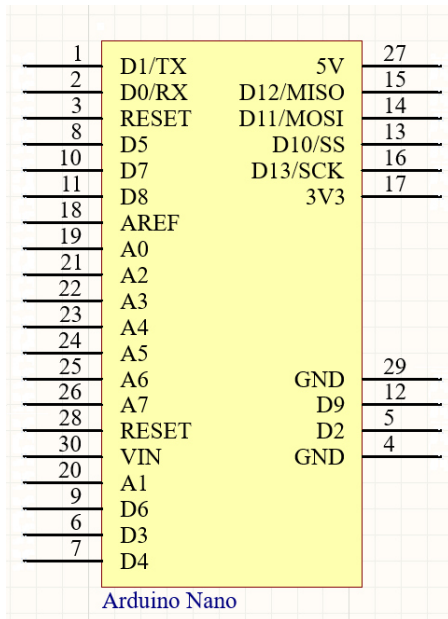
O Altium Designer é um *software* utilizado para projetar PCBs a partir de um editor esquemático que gera um arquivo do formato Gerber (DIA; NDIAYE, 2023). Equipamentos CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) interpretam os arquivos do formato Gerber para a fabricação de PCBs (MORENO-BÁEZ *et al.*, 2012).

Beltran Jr. *et al.* afirmam que o Altium Designer é utilizado por engenheiros eletrônicos, educadores e projetistas de sistemas embarcados tanto em universidades, como em indústrias de todo o mundo. Os autores também afirmam que os ícones presentes no programa facilitam a realização de alterações em projetos de circuitos eletrônicos.

Após a elaboração da Arquitetura do *hardware*, iniciou-se a formulação das bibliotecas de simbologia e de geometria no Altium Designer.

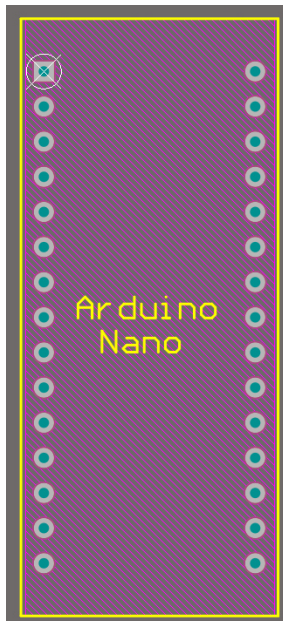
A biblioteca de simbologia armazena as partes lógicas dos componentes que serão utilizados nos quais os símbolos dos componentes têm seus pinos organizados de maneira que facilite a compreensão das ligações no desenho esquemático enquanto a biblioteca de geometria armazena representações das características físicas dos componentes (MOTA e SILVERA, 2013). Nos *datasheets* dos componentes há a descrição de suas medidas e disposição de seus pinos, o que permite desenhar os seu *footprints*.

Figura 22 – Simbologia da placa Arduino Nano.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 23 – Geometria (*Footprint*) da placa Arduino Nano.

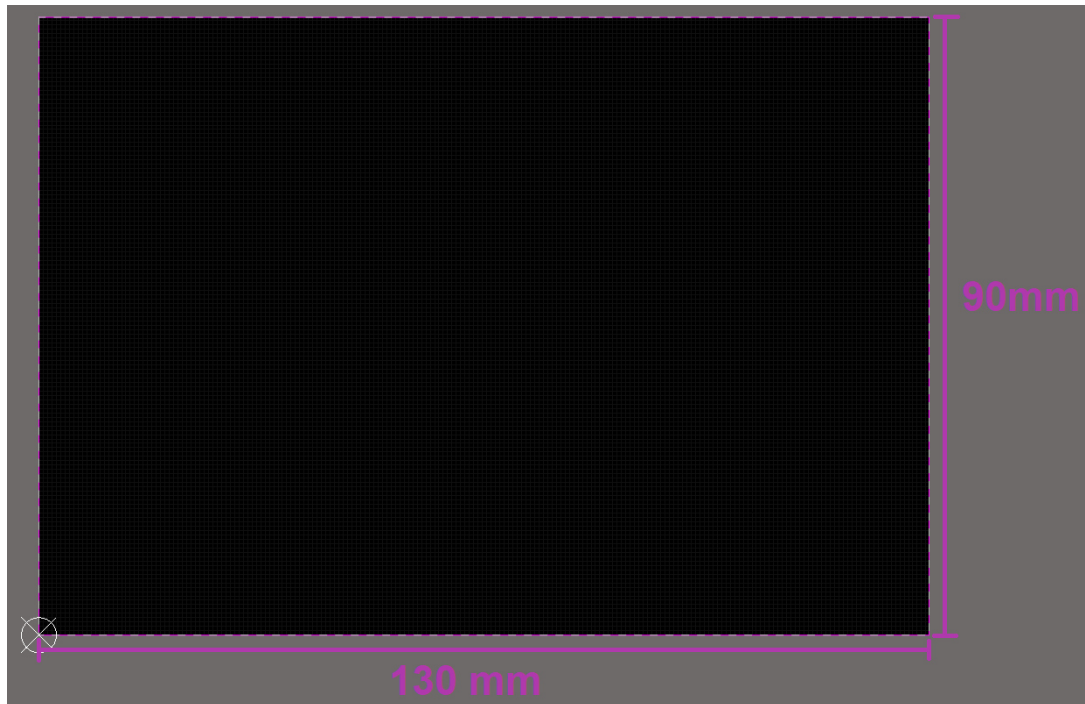


Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a organização as bibliotecas de símbolos e de geometria foi desenhado o esquema elétrico dos circuitos que se encontra no Anexo B desta monografia.

Em seguida foi iniciado o desenho da PCI do projeto. Para a disposição mecânica da PCI foi teorizado que uma placa com medidas de 130 x 90 mm em seus extremos seria suficiente para acomodar todos os componentes eletrônicos.

Figura 24 – Disposição mecânica da PCI do projeto.

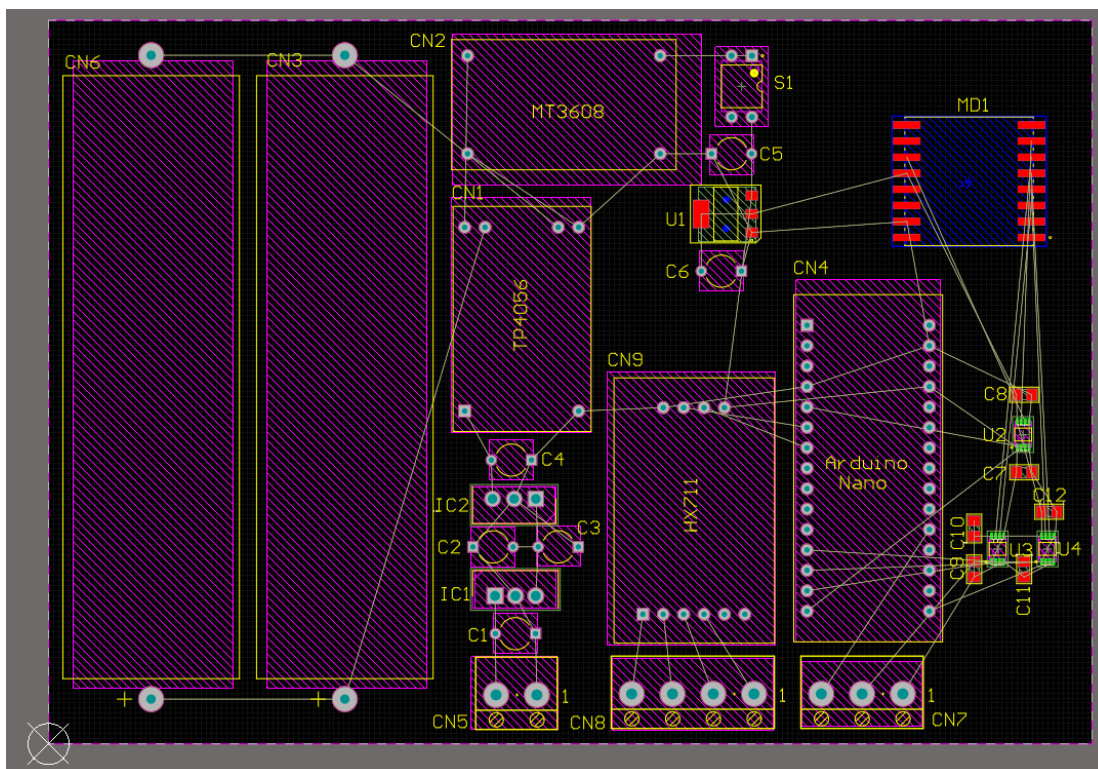


Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a disposição mecânica da placa é necessário organizar os componentes eletrônicos sobre a PCI (*Placement*). O *Placement* deve ser realizado com o objetivo de facilitar a elaboração das trilhas entre o processador e os periféricos, afim de evitar trilhas complexas com muitas curvas e voltas. Além disso é indicado que os conectores se encontrem o mais próximo possível das bordas (MOTA e SILVERA, 2013).

Considerou-se pertinente agrupar todos os componentes relacionados com as fontes de alimentação no lado oeste da PCI enquanto o microcontrolador Arduino juntamente com seus periféricos posicionados no lado leste.

Figura 25 – *Placement* dos componentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a conclusão do *Placement* realizou-se o roteamento das trilhas da PCI. Uma largura padrão para uma trilha de sinal em produções de PCI está na faixa de 7 a 12 mils (o mil é o milésimo da polegada e corresponde a 0.0254 mm), podendo essa trilha ter alguns centímetros de comprimento (SAN-FRANCISCO-CIRCUITS, 2020). Foi decidido que as trilhas de condução de sinais deveriam possuir 10 mil de largura, enquanto os planos de alimentação se encontrariam preferencialmente na camada superior da PCI e o plano de terra na camada inferior.

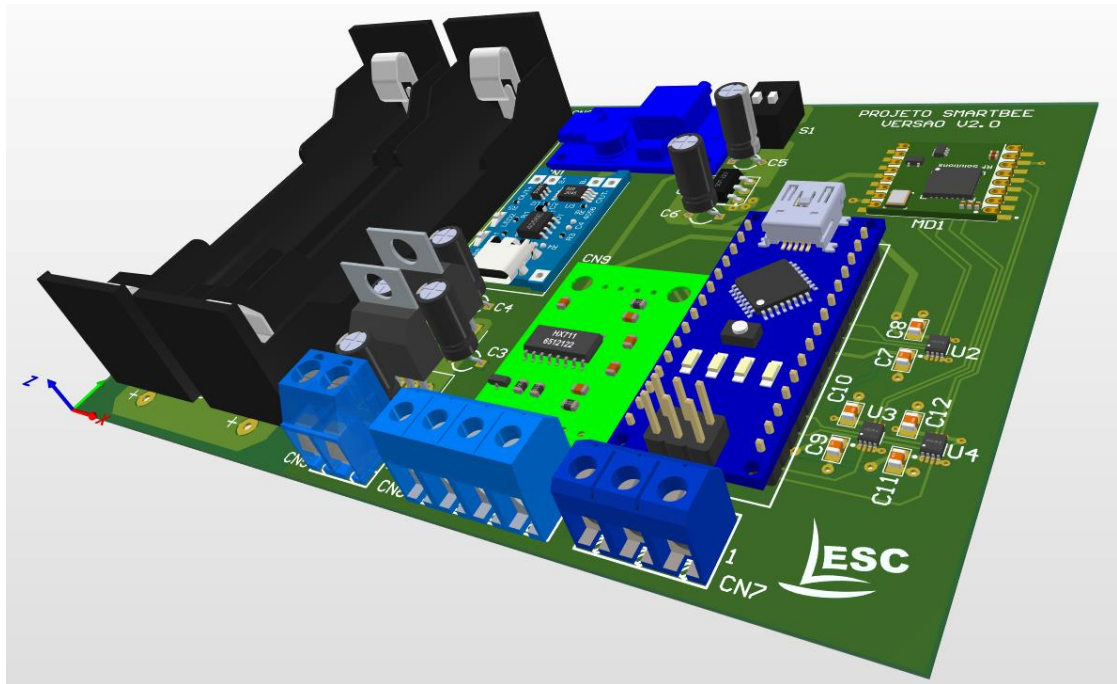
Tanto o esquema elétrico projetado que implementa a arquitetura da PCI como o *layout* da PCI desenvolvida encontram-se nos Anexo B e Anexo C desta monografia.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos são os artefatos desenvolvidos ao longo do projeto, todos adicionados a esta monografia na sessão de anexos: a lista de materiais (que se encontra no anexo A) em formato de arquivo para Microsoft Excel; a biblioteca de

simbologia em formato de arquivo para Altium; a biblioteca de geometria em formato de arquivo para Altium; o esquemático do projeto (presente no anexo B); o desenho da PCI (incluído no anexo C); o modelo 3D da PCI (Figura 25); a lista de materiais (*Bill of Materials*) e o arquivo no formato Gerber para a produção da PCI.

Figura 26 – Modelo 3D do hardware.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1 Custo

O Altium Designer possui o comando *Bill of Materials* (BOM) que origina uma lista de materiais a partir do Esquemático do projeto que contém todos os componentes necessários para construção do mesmo, além de seus valores, fornecendo uma forma de calcular o custo do projeto (MORENO e CASTAÑO, 2016). A lista de materiais utilizados no projeto com uma breve descrição, suas respectivas quantidades e valores em dólares se encontra na tabela 2.

Tabela 2 – Lista de materiais.

Designator	Comment	Manufacturer	Quantity	eVendor Price (US\$)
10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 35V RADIAL	Panasonic Electronic Components	1	0,22
10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 16V RADIAL	Panasonic Electronic Components	2	0,26
10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 10V RADIAL	KEMET	3	0,28
0.1µF	CAP CER 0.1UF 6.3V X7R 0805	KEMET	6	0,25
TP4056	Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056 com Proteção Usb Tipo C	Shenzhen Feng Man International Technology	1	1,39
MT3608	Módulo Fonte Regulador de Tensão Step Up MT3608	Aerosemi	1	13,90
Battery Holder	BATT HOLDER 18650 1 CELL PC PIN	MPD (Memory Protection Devices)	2	3,75
Arduino Nano	ARDUINO NANO ATMEGA328 EVAL BRD	Arduino	1	24,90
BORNE 1X2	2 Position Wire to Board Terminal Block Horizontal with Board 0.200" (5.08mm) Through Hole	TE Connectivity AMP Connectors	1	0,89
BORNE 1X3	3 Position Wire to Board Terminal Block Horizontal with Board 0.200" (7.62 mm) Through Hole	TE Connectivity AMP Connectors	1	1,56
BORNE 1X4	4 Position Wire to Board Terminal Block Horizontal with Board 0.200" (10.16 mm) Through Hole	TE Connectivity AMP Connectors	1	1,71
HX711	Módulo AD 24 bits HX711 para Células de Carga	Avia Semiconductor (Xiamen) Co. Ltda	1	2,81
L7812CV	Integrated Circuit	STMicroelectronics	1	0,76
L7805CV	Integrated Circuit	STMicroelectronics	1	0,69
SX1276	915MHz SPI Port SX1276 LoRa Module	G-NiceRF	1	20,81
SW DIP-2	DIP Switch, 2 Position, SPST, Par# KAS1102E	E-Switch, Inc	1	1,25
LD1117S33CTR	IC REG LDO 3.3V 0.8A SOT223	STMicroelectronics	1	0,51
SN74LVC2T45DCUR	IC TRNSLTR BIDIRECTIONAL 2CH US8	Texas Instruments	3	0,94
			Total	84,58

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi mensurado que o custo total de todos os materiais necessários para a produção de uma unidade do *hardware* (excluindo a PCI) é de US\$ 84,58. A BOM completa pode ser conferida no anexo A desta monografia. Vale pontuar que os custos maiores estão por conta da utilização do Arduino NANO e do módulo LoRa que somados contribuem por mais de 50% do valor do projeto.

5 CONCLUSÃO

Com base na Literatura em Eletrônica e em Sistemas Embarcados foi possível projetar um *hardware* para monitoramento não invasivo de colmeias de abelhas utilizando-se um software CAD.

Considerou-se que o projeto foi exitoso, pois o *hardware* projetado é de baixo custo, como visto na BOM, e possui autonomia energética, uma vez que não há a necessidade de conectar o dispositivo há uma fonte de alimentação externa, devido a alimentação fotovoltaica que permite que o sistema funcione em locais remotos e em áreas onde o acesso à eletricidade é limitado.

Como sugestão para trabalhos futuros, temos a ideia de produzir um protótipo do *hardware* e testá-lo em um cenário real, instalando-o em uma colmeia, a fim de coletar os dados para posterior observação destes. Além disso, para uma futura versão deste projeto, iremos ter a adição de sensores de vibração e torque piezoelétricos. Outra alteração que pretendemos fazer é o desenvolvimento de uma

aplicação Mobile para o monitoramento das colmeias em tempo real e a elaboração de um novo *hardware* com um microfone para a captura de áudio. Por fim, uma versão futura de placa utilizando um microcontrolador e um módulo de LoRa de mais baixo custo está no nosso radar.

REFERÊNCIAS

ABOU-SHAARA, H. F.; OWAYSS, A. A.; IBRAHIM, Y. Y.; BASUNY, N. K. **A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees.** *Insectes Sociaux*, v. 64, n. 4, p. 455-463, 2017.

ANA, P.; EKAH, U. J.; OYO-ITA, E. **IOT-based biometric attendance system for CRUTECH.** *International Journal of Science and Research Archive*, v. 5, n. 1, p. 39-50, India, 2022.

ANANDA, R.; AMIN, M. **Utilization of booster circuit Joule thief for garden lighting source of voltage from the sun.** *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*. v. 3, n. 1, India, 2021.

ANTONIO, R. T. S.; MARQUINA, A. V.; JUÁREZ, A. G. **Automatización del sistema de pintado en carros pintarrayas.** Trabajo Fin de Grado (Graduación) - Universidad de Sonora, Sonora, 2014.

AOSONG-ELECTRONICS. *Temperatura and humidity module: AM2302 Product Manual*. 2018. Disponível em: [https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Temperature and Humidity Sensor Pro/res/AM2302-EN.pdf](https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Temperature%20and%20Humidity%20Sensor%20Pro/res/AM2302-EN.pdf). Acessado em: 1 de jul. de 2023.

ARDUINO, *Datasheet Arduino Nano*, 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/static/6951a8a1910fc430f0268f8b20cb0cb9/A000005-datasheet.pdf>. Acessado em: 1 de jul. de 2023.

BAIÉ, M. G. B.; LIRA, J. G. A. **Estudo de módulos de comunicação sem fio.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

BARBOSA, W. F.; SOUSA, E. P. **Desempenho competitivo dos apicultores fixos e migratórios da microrregião do Cariri, Ceará.** Revista de Economia e Administração, v. 11, n. 1, p. 5-27, 2012.

BELTRAN JR, A. A.; HIWATIG, C. D.; LAGUNA-AGUSTIN, N. J. R.; VILLANUEVA M. B. **Teaching electronic circuits using Altium Designer.** International Journal of Scientific Engineering and Technology, v. 3, n. 10, 2014.

BRANDÃO, S. R. O.; FREIRE, R. C. S. **Sistema para uso da tecnologia CAN em veículos automotivos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

BASA, J. J. A.; CU, P. L. G.; MALABAG, N. N.; NAAG, L. A. V.; ABACCO, D. F. P.; SIQUIHOD, M. J. M.; MADRIGAL, G. A.; TOLENTINO, L. K. S. **Smart Inventory Management System for Photovoltaic-Powered Freezer Using Wireless Sensor Network.** International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, v. 7, n. 10, India. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Políticas do Mapa incentivam a produção nacional de mel.** [Brasília]: Ministério da Agricultura e Pecuária, 20 maio. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/politicas-do-mapa-incentivam-a-producao-nacional-de-mel>. Acessado em: 9 de mar. de 2023.

BLESSINGTON, P. T.; MURTHY, B. B.; GANESH, G. V.; PRASAD, T. S. R. **Optical implementation of UART-SPI Interface in SoC.** 2012 International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS), Coimbatore, 2012.

CHOUDHURY, S.; SINGH, G. K.; MEHRA, R. M. **Design and verification Serial Peripheral Interface (SPI) Protocol for low power applications.** International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, v.10, n.11, India, 2014.

DIA, P. A.; NDIAYE, A. **Design of a low-cost electronic board for monitoring photovoltaic systems.** International Journal of Physical Sciences, v. 18, n. 1, 2023.

DIONÍSIO, G.; SPALDING, L. E. S. **Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, n.1, São Paulo, 2017.

EL-MOUSA, A. H. ANSSARI, N. AL-SUYYAGH, A. AL-ZUBI, H. **The design and implementation of a reconfigurable USART IP core for embedded computing with support for networks.** World Congress on Engineering, London, 2008.

ERTÜRK, M. A.; AYDIN, M. A.; BÜYÜKAKKASLAR, M. T.; EVIRGEN, H. **A survey on LoRaWAN Architecture, Protocol and Technologies.** Future Internet, Basel, v. 11, n. 10, 2019.

FREITAS, B. M.; PEREIRA, J. S.; CAVALCANTE, M. C.; ALVES, J. E.; FELIX, J. A.; MASCENAS, V. M.; SILVA, S. O.; LIMA-VERDE, L. W. **Lista de Abelhas do Ceará.** [Fortaleza]: Secretaria do Meio Ambiente do Ceará. 2021. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/fauna-do-ceara/invertebrados/abelhas>. Acessado em: 9 de mar. de 2023.

GAITAN, N. C. **A long-distance communication architecture for medical devices based on LoRaWAN Protocol.** Electronics, v.10, n.8, Poland, 2021.

GAMA, H. S.; ARAUJO, J. K.; MONTEIRO, J. S.; CARVALHO, R. A.; VASCONCELOS, A. P. V. **Especificação de requisitos para sistemas embarcados: uma revisão sistemática da literatura.** Brazilian Journal of Development, v.7, n.3, Curitiba, 2021.

HERSHBERGER, J.; SURI, S. **Efficient breakout routing in Printed Circuit Boards.** In: Algorithms and Data Structures, 5th International Workshop, Lecture Notes in Computer Science, p. 462 - 471, Nova Scotia, 1997.

JOSHI, D. B. **Design and implementation of sustainable smart beehive monitoring.** Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado). Universidade da Califórnia, Riverside, 2022.

JYOTHI, V.; KRISHNA, M. G.; RAVEENDRANADH, B.; RUPALIN, D. **IoT based smart home system technologies**. International Journal of Engineering Research and Development, v. 12, n. 2, India, 2017.

KANSE, S.; MAYURI, B.; ABHILASHA, B.; NILAM, K. **Protocol converter (UART, I2C, Manchester protocols to USB)**. International Journal of Research in Engineering and Technology, v. 4, n. 1, India, 2015.

KURIA, K. P.; ROBINSON, O. O.; GABRIEL, M. M. **Monitoring temperature and humidity using Arduino Nano and Module-DHT11 sensor with real time DS3231 data logger and LCD display**. International Journal of Engineering Research & Technology, India, 2020.

LIM, W. Y. L.; JAAFAR, M.; ISHAK, K. M. K.; CHINNIAH, K.; CHAN, W. K. **Recent developments in advanced polymeric materials for solder mask application: Progress and challenges**. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, v. 8, n. 3, Vietnam, 2023.

MACIEL, F. A. O.; BRAGA, A. R.; DA-SILVA, T. L. C.; FREITAS, B. M.; GOMES, D. G. **Reconhecimento de padrões sazonais em colônias de abelhas Apis mellifera via clusterização**. Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 10, p. 74-88, Passo Fundo, 2018.

MELO, P. R. S.; RIOS, E. C. S. D.; GUTIERREZ, R. M. V. **Placas de circuito impresso: mercado atual e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2001.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. 2^a ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. 2007.

MONTEIRO, E. S.; KHAN, A. S.; CAMPOS, K. C.; LIMA, P. V. P. S. **Inovação e tecnologia no arranjo produtivo de apicultura no nordeste paraense**. Revista de Política Agrícola, Ano 23, n. 4, Brasília. 2014.

MORAES, V. T.; TENÓRIO, J. A. S. **Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidrometalúrgico de Placas de Circuito Impresso de celulares obsoletos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

MORENO-BÁEZ, A.; MIRAMONTES-DE-LEÓN, G.; GARCÍA-DOMÍNGUEZ, E.; SIFUENTES-GALLARDO, C. **Processing Gerber files for manufacturing printed circuit boards**. Procedia Engineering, v. 35. 2012.

MORENO, R. B.; CASTAÑO, R. I. B. **Design and implementation of control hardware**. Universidad Carlos III de Madrid. Trabajo Fin de Grado (Graduación) -. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Leganés, 2016.

MOROZ, M. R.; JASINSKI, R. P.; PEDRONI, V. A. **Requisitos para adoção de sistemas operacionais embarcados**. Revista Visión Electrónica, v.5, n.2, 2012.

MOTA, D. F. M; SILVEIRA, J. A. N. **Desenvolvimento do hardware de um telefone IP sem fio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2013.

MOTA, D. L. A. **Análise competitiva das exportações de apicultura cearense**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.

MUNHOZ. D. C.; MORAES, F. G. **Interfaces de rede padronizadas para periféricos em sistemas Many-core**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

PINHEIRO-MACHADO, C.; SANTOS, I. A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P.; SILVEIRA, F. A. **Brazilian bee surveys: State of knowledge, conservation and sustainable use**. Pollinating bees: the conservation link between Agriculture and Nature. Brasília, D.F.: Ministry of Environment, 115-119, 2002.

PINTO, A. C. C.; OTANI, M. V. Z.; LOLIS, M. M.; **Analisador de falhas em placas de circuito impresso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

REIS-FILHO, F. H; MORAIS, J. S. **Estudo de viabilidade e desenvolvimento de gôndola automatizada para varejo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

SAN-FRANCISCO-CIRCUITS. **The Importance of PCB Trace Widths in PCB Design**, 2020. Disponível em: <https://www.sfcircuits.com/pcb-school/pcb-trace-widths>. Acessado em 1 de jul. de 2023.

SERNA-RUIZ, A.; ROS-GARCÍA, F.; RICO-NOGUERA, J. C. **Guía práctica de sensores**. Creaciones, Madrid, 2010.

SHAMKHALICHENAR, H.; BUECHE, C. J.; CHOI, J. W. **Printed Circuit Board (PCB) Technology for electrochemical sensors and sensing platforms**. Biosensors. Basel, 2020.

SMITH, P. R.; COWELL, D. M. J.; FREEAR, S. **Width-modulated square-wave pulses for ultrasound applications**. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, v. 60, n. 11, Warteloo, 2013.

SOMBRA-JÚNIOR, F. J.; QUEIROZ-JÚNIOR, I. S. **Sistema de geração de energia elétrica de baixo custo para manter a iluminação e uma tomada USB em uma bicicleta**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019.

TAUB, H.; SCHILLING, D. **Eletrônica Digital**. McGraw Hill, 1982.

TERÁN, K. P. R. ROSERO, C. X. **Gestor de carga para microcontroladores de bajo costo**. Trabajo Fin de Grado (Graduación) - Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022.

TEXAS-INSTRUMENTS, *SN74LVC2T45 dual-bit dual-supply bus transceiver with configurable voltage translation*, 2022. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/gpn/sn74lvc2t45>. Acessado em: 1 de jul. de 2023.

VAHID, F.; GIVARGIS, T. **Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Approach**. Riverside: Fall, 1999.

VAN-TONDER, R.; ENGELBRECHT, H. **Lowering the USB fuzzing barrier by transparent two-way emulation**. 8th USENIX Workshop on Offensive Technologies (WOOT'14), San Diego, 2014.

VARSHITHA, I. **Arduino weighing machine using load cell and HX711 Module**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto de Tecnologia e Ciência de Kakatiya, Warangal. 2021.

VIDAL, M. F. **Mel natural**. Caderno Setorial Etene, n. 219, Fortaleza, 2022.

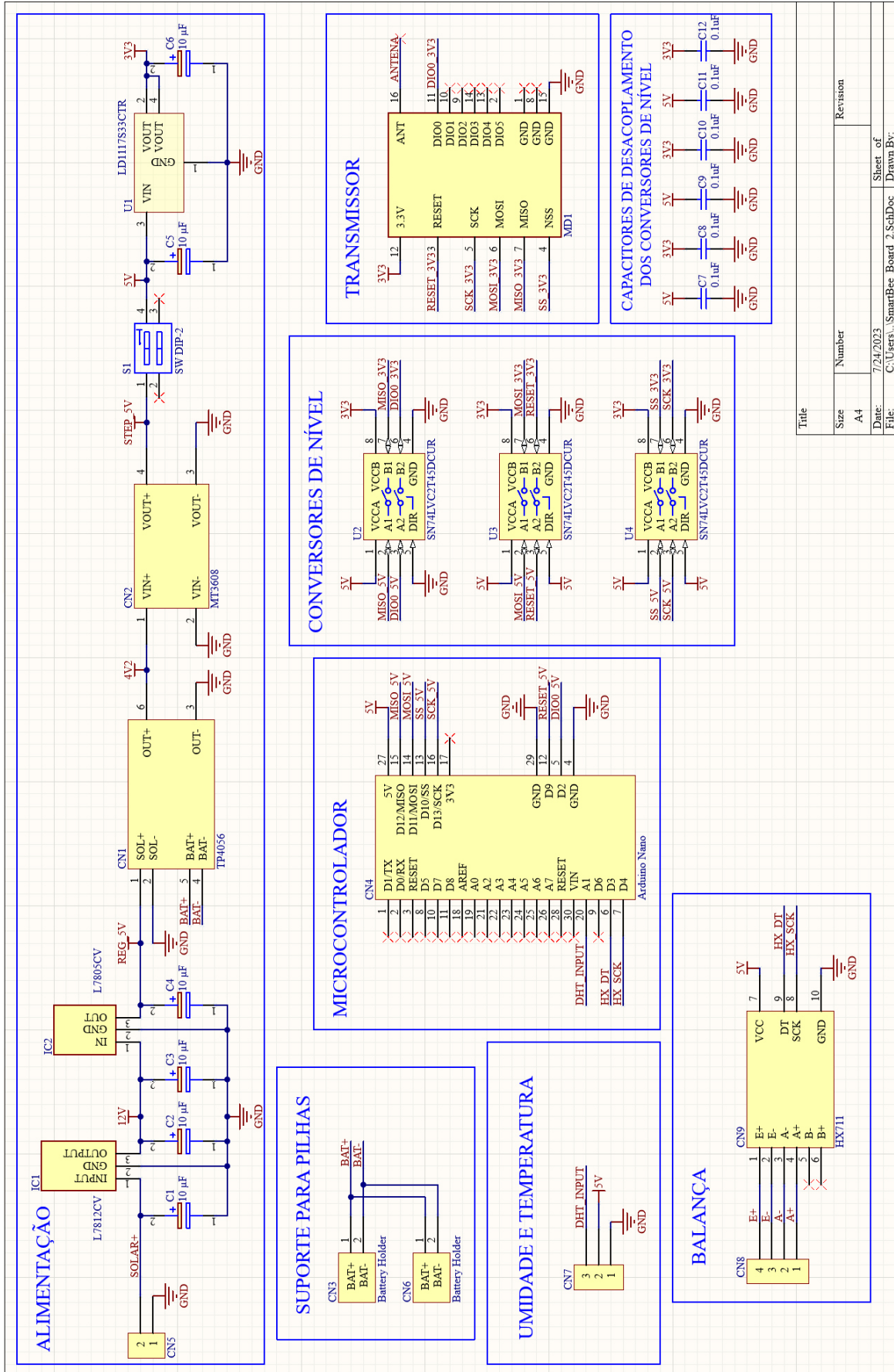
VILLARIM, M. R.; LUNA, J. V. H.; MEDEIROS, D. F.; PEREIRA, R. I. S.; SOUZA, C. P.; BAIOCCHI, O.; MARTINS, F. C. C. **An evaluation of lora communication range in urban and forest areas: A case study in Brazil and Portugal**. 2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, 2019.

ZACEPINS, A., BRUSBARDIS, V., MEITALOVIS, J., STALIDZANS, E. **Challenges in the development of precision beekieping**. Biosystems Engineering, v. 130, 60-71, 2015.

ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS

Designator	Comment	Description	Manufacturer	Part#	e/Vendor	e/Vendor Part#	e/Vendor Price	MOQ	MSRP	Quantity
C1	10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 35V RADIAL	Panasonic Electronic Components	ECA-1VM1001	Digikey	P19549CT-ND	0,22	1000	0,24619	1
C3	10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 16V RADIAL	Panasonic Electronic Components	ECE-A1CK5100B	Digikey	10-ECE-A1CK5100BCT-ND	0,26	1000	0,06191	2
C4, C5, C6	10 µF	CAP ALUM 10UF 20% 10V RADIAL	KEMET	ESK106M010AC3AA	Digikey	399-ESK106M010AC3AA-ND	0,28	1000	0,05768	3
C7, C8, C9, C10, C11, C12	0.1µF	CAP CER 0.1UF 6.3V X7R 0805	KEMET	C0805C104K9RACAUTO	Digikey	399-C0805C104K9RACAUTOCT-ND	0,25	1000	0,05227	6
CN1	TP4056	Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056 e Shenzhen Feng Man International Technol	Shenzhen Feng Man International Technol	TP4056	Autocore Robótica	ND0016-02	1,39	1	1,39	1
CN2	MT3608	Módulo Fonte Regulador de Tensão Step Up MT	Aerosemi	MT3608	Autocore	00010	13,90	1	13,90	1
CN3, CN6	Battery Holder	BATT HOLDER 18650 1 CELL PC PIN	MPD (Memory Protection Devices)	BK-18650	Digikey	BK-18650-PC2-ND	3,75	1000	2,09949	2
CN4	Arduino Nano	ARDUINO NANO ATMEGA328 EVAL BRD	Arduino	AO00005	Digikey	1050-1001-ND	24,90	1	24,90	1
CN5	BORNE 1X2	2 Position Wire to Board Terminal Block Horiz	TE Connectivity AMP Connectors	282841-2	Digikey	A98343-ND	0,89	1000	0,55758	1
CN7	BORNE 1X3	Horizontal with Board 0,200" (7.62 mm)	TE Connectivity AMP Connectors	282841-3	Digikey	A98343-ND	1,56	1000	1,03089	1
CN8	BORNE 1X4	Horizontal with Board 0,200" (10.16	TE Connectivity AMP Connectors	284391-4	Digikey	A98161-ND	1,71	1000	1,11724	1
CN9	HX711	Módulo AD 24 bits HX711 para Células de Carga	Avia Semiconductor (Xiamen) Co., Ltda	HX711	Autocore Robótica	K0075	2,81	1	2,81	1
IC1	L7812CV	Integrated Circuit	STMicroelectronics	L7812CV	Digikey	497-1452-5-ND	0,76	1000	0,32275	1
IC2	L7805CV	Integrated Circuit	STMicroelectronics	L7805CV	Digikey	497-1443-5-ND	0,69	1000	0,29329	1
IMD1	SK1276	915M/Hz SPI Port SX1276 LoRa Module	G-NiceRF	SK1276	Autocore Robótica	E0017	20,81	1	20,81	1
S1	SW DIP-2	DIP Switch, 2 Position, SPST, Par# KAS1102E	E-Switch, Inc	KAS1102E	Digikey	EG4485-ND	1,25	1000	0,76922	1
U1	LD1117533CTR	IC REG LDO 3.3V 0.8A SOT223	STMicroelectronics	LD1117533CTR	Digikey	497-1241-1-ND	0,51	1000	0,142	1
U2, U3, U4	SN74LVC2T45DCUR	IC TRNSLTR BIDIRECTIONAL 2CH US8	Texas Instruments	SN74LVC2T45DCUR	Digikey	296-17014-1-ND	0,94	1000	0,42706	3

ANEXO B – ESQUEMÁTICO



Title	Size	Number	Revision
	A4		
Date:	7/24/2023		
File:	C:\Users\...SmartBee Board v2.SchDoc		
Sheet of	Drawn By:		

ANEXO C – DESENHO DA PCI

