

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ERASMO COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA A COLETA
DA TEMPERATURA DO SOLO**

CAMPO MOURÃO

2022

ERASMO COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA A COLETA
DA TEMPERATURA DO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Roberto Ribeiro Neli.

CAMPO MOURÃO

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ERASMO COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA A COLETA
DA TEMPERATURA DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 31/maio/2022

Roberto Ribeiro Neli
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Castilho Brolin
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcio Rodrigues da Cunha
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2022

Dedico este trabalho à minha família e minha noiva,
por todos os momentos de apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida, razão da minha existência, a quem devo tudo, meu pai Valdomiro de Jesus Costa, à minha mãe Regiani de Fátima Ferreira Costa, à minha irmã Andressa Costa e, toda minha família pelo enorme incentivo, apoio e paciência nos momentos mais difíceis desta longa caminhada, e por depositarem toda a confiança na concretização deste sonho.

À minha noiva e melhor amiga, Rebeca Ribeiro Rufo Corona, por ser uma pessoa muito especial, com quem compartilho todos os momentos da minha vida pessoal e acadêmica e por ser meu porto seguro, onde posso recorrer a qualquer hora, encontrar forças para enfrentar meus obstáculos e continuar minha trajetória e por ser a maior felicidade dos meus dias.

Agradeço aos meus amigos, André Luis Maldonado Daniel, Bruno Suracci de Lima, Lucas Ribeiro, e Yuri Ruzzene Barroso e tantos mais que tive o privilégio de conhecer na universidade, que me ajudaram e acompanharam em toda essa trajetória acadêmica.

A todos os meus colegas de trabalho por me ajudarem a crescer não apenas profissionalmente, mas também como pessoa.

Agradeço todo o corpo docente, que me passaram conhecimentos e experiências, vividas e profissionais durante esses anos de graduação. E em especial ao meu orientador Roberto Ribeiro Neli por confiar, auxiliar e me apoiar na realização deste trabalho.

Obrigado a todos por fazerem parte da minha vida, e me tornarem a ser quem eu sou.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo, o desenvolvimento e a implementação física de um dispositivo microcontrolado, projetado para a obtenção de dados de microclima (temperatura) do solo. Levando em consideração as diversas mudanças climáticas que ocorrem no planeta, as divergências de estudos de microclima com as temperaturas medidas na atmosfera e, também, a grande dificuldade para se desenvolver estudos deste tema, o projeto busca o desenvolvimento de um dispositivo capaz de realizar medições da temperatura do solo, de forma autônoma, por determinados períodos de tempo. Utilizando-se de um microcontrolador PIC (PIC16F877A), sensores de temperatura digital (DS7505U+), memória EEPROM (AT24C256C), interface serial (FT232RL) e baterias de lítio (SD18650), é realizado o estudo detalhado dos componentes, analisando suas características principais e justificando seu uso na devida aplicação. O desenvolvimento, simulação, construção e testes são explicados e justificados, visando buscar a melhor performance na coleta de dados, em um sistema compacto e, ao mesmo tempo, robusto e eficiente. O dispositivo desenvolvido atende à todas as características citadas e ainda surpreende apresentando menor consumo de corrente do que o previsto.

Palavras-chave: microclima; sensores; microcontrolador; temperatura.

ABSTRACT

This work presents the study, development and physical implementation of a microcontrolled device, projected to collect soil microclimate (temperature) data. Considering that various climate changes occur on the planet, the divergency about microclimate studies and the atmosphere temperatures collected and, also, the great difficulty to realize studies about these themes, the project searches about the development of a device capable of measuring soil temperature, in an autonomous way, for certain periods of time. Using a PIC microcontroller (PIC16F877A), temperature sensors (DS7505U+), EEPROM memory (AT24C256), serial interface (FT232RL) and lithium batteries (SD18650), it is fulfilled a detailed study of the components used, analyzing its main characteristics and justifying its use. The development, simulation, construction and testing are explained and justified trying to get the best performance in the data collecting, in a compact, and, at the same time, robust and efficient system. The developed device achieves all the features cited and also surprises by consuming less current than the foreseen.

Keywords: microclimate; sensors; microcontroller; temperature.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivos	8
1.1.1	Objetivos gerais	8
1.1.2	Objetivos específicos	8
1.2	Justificativa	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Biodiversidade	11
2.2	Mudanças climáticas	12
2.3	Microclima	15
2.4	Instrumentos de medição	16
3	METODOLOGIA	18
3.1	Concepção do sistema	18
3.2	Estudo dos componentes	21
3.2.1	Unidade de processamento	21
3.2.2	Interface de saída	23
3.2.3	Sensores	25
3.2.4	Unidade de Memória	28
3.2.5	Baterias e fontes secundárias	30
3.3	Simulação	35
3.4	Prototipagem do sistema	37
3.5	Aferição do sistema	40
3.6	Confecção da PCI	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	Resultado da simulação	42
4.2	Resultado da aferição	44
4.3	Esquema elétrico definitivo	45
4.4	Layout da placa de circuito impresso	47
4.5	Confecção da placa de circuito impresso	49
4.6	Testes finais	53
5	CONCLUSÃO	57
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A Financiadora de Estudos e Pesquisa (FINEP), define em seu glossário de termos e conceitos, inovação como sendo: “a solução de um problema tecnológico, utilizada pela primeira vez, descrevendo o conjunto de fases que vão desde a pesquisa básica até o uso prático, [...] tendo, em geral, fortes repercussões socioeconômicas” (FINEP, 2011). O mesmo documento ainda define tecnologia como sendo:

O conjunto ordenado de conhecimentos empregados na produção e comercialização de bens e serviços, e que está integrada não só por conhecimentos científicos - provenientes das ciências naturais, sociais, humanas, etc. -, mas igualmente por conhecimentos empíricos que resultam de observações, experiência, atitudes específicas, tradição (oral ou escrita), etc. (FINEP, 2011).

Da mesma forma, Tidd e Bessant (2015) afirmam que, a inovação é mais do que simplesmente conceber uma nova ideia, é também o processo de desenvolver seu uso prático.

Com isso, pode-se entender que todo o processo que envolve o desenvolvimento de um equipamento (ou produto), visando resolver um problema existente, partindo de sua concepção, estruturação e seguindo até a conclusão com a ideia concretizada e produzida, é possível de se chamar inovação tecnológica.

Os dispositivos eletrônicos que interagem com o mundo exterior e transformam grandezas físicas como: luz, calor, som, pressão, velocidade, corrente elétrica, posição e temperatura, em sinais elétricos são denominados sensores. Thomazini e Albuquerque (2020) comentam que informações quanto ao andamento do processo, ou grandeza, são sempre necessárias, seja na indústria, na área médica ou em pontos comerciais. E que essas informações são coletadas por meio dos mais diversos tipos de sensores. Deste modo, é possível perceber que não somente na eletrônica, mas em diversas áreas, os sensores são amplamente necessários. E isto não é diferente na coleta de dados ambientais.

A influência da ação humana tem causado intensas mudanças climáticas no planeta, afetando tanto o ser humano, como vegetação e animais. Atualmente existem técnicas para o conhecimento e medição dos fatores que influenciam o clima de uma região, muitas delas de alta tecnologia e elevado custo. Uma das técnicas mais populares é a análise de imagens de satélite. Por ser uma forma de análise complexa, e de custo elevado para se adquirir dados, não são todos os estudos que se utilizam delas. Com isso, pesquisadores mensuram dados em séries repetitivas para a

obtenção de temperaturas de microclima, tornando o trabalho lento e repetitivo (PÖTTKER; ANDRADE; OLIVEIRA FILHO, 2011).

Tendo em vista o que foi exposto, o desenvolvimento de um circuito eletrônico robusto e com o *hardware* simples, capaz de realizar a coleta de dados durante o período de no mínimo um mês, colabora com a realização de estudos sobre o microclima de diversas regiões. Com isso, é possível contribuir grandemente com o levantamento de dados climáticos do planeta, além de poder ser considerado uma inovação tecnológica.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão divididos em: Objetivos gerais e Objetivos específicos.

1.1.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos componentes, projeto e desenvolvimento de um dispositivo de coleta e armazenamento de dados da temperatura do solo, visando construir um sistema com *hardware* simples, porém robusto e confiável no levantamento de dados.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são descritos a seguir:

- Analisar os principais sensores de temperatura disponíveis no mercado, levantando as principais características, vantagens e desvantagens dos componentes estudados, visando buscar a melhor opção que atenda aos requisitos do projeto;
- Definir um elemento de memória adequado à aplicação, sendo possível armazenar os dados, por um período de no mínimo 30 dias, mantendo-os salvos mesmo na falta de bateria;
- Dimensionar o *pack* de baterias capaz de alimentar o circuito, durante um período de no mínimo 30 dias;
- Simular o funcionamento do sistema em *software* dedicado a simulação de circuitos eletrônicos;

- Montar um protótipo funcional do projeto, capaz de obter dados experimentais para validar o estudo e desenvolvimento do circuito;
- Aferir o sistema prototipado, validando o sensor de temperatura escolhido para o sistema, buscando uma margem de erro de no máximo 10%;
- Desenvolver um esquema definitivo e desenhar o *layout* da placa de circuito impresso (PCI), incorporando as melhorias obtidas com o protótipo;
- Confeccionar a PCI do sistema de medição de temperatura em uma versão definitiva;
- Testar o sistema definitivo em laboratório, validando todos os conceitos, componentes, esquemático e PCI.

1.2 Justificativa

Pesquisas em ciências do meio ambiente mostram que modelamentos climáticos são alimentados por dados de temperaturas medidas 2 metros acima do solo. Com isso, estes modelos falham em refletir as condições próximas, e abaixo, da superfície do solo. Este fato se mostra problemático, uma vez que a maioria dos seres vivos abitam no solo. Além disso, cada vez mais estudos indicam que os impactos do clima e das mudanças climáticas sobre a biodiversidade e, o funcionamento dos ecossistemas, são avaliados de forma imprecisa quando são utilizadas temperaturas do ar, ao invés das temperaturas do solo, especialmente em ambientes frios (LEMBRECHTS *et al.*, 2021).

Entender e modelar microclimas de uma determinada região, especialmente de florestas, e seus principais fatores de influência, constitui uma etapa fundamental para o entendimento da variação espacial e temporal nos processos biológicos. Ainda, ao promoverem refúgios por meio de temperaturas menores, os microclimas podem auxiliar as espécies a se adaptarem ao aquecimento, reduzindo perdas de biodiversidade. Além do mais, o conhecimento e entendimento do microclima ajuda a identificar estratégias eficientes para adaptação de florestas, importantes na manutenção de diversos serviços ecossistêmicos (GREISER *et al.*, 2018).

Atualmente, diversas novas técnicas de modelagem e previsões ambientais estão sendo implantadas e se mostrando extremamente úteis para estudos, como técnicas avançadas de satélites de monitoramento. Da mesma forma, a criação de redes de equipamentos de medições de temperatura para microclima estão se

tornando cada vez mais acessíveis e contribuindo para o monitoramento remoto de áreas de difícil acesso para outras tecnologias (HE *et al.*, 2015; GREISER *et al.*, 2018).

Dessa forma, o presente trabalho possui enfoque no desenvolvimento de um circuito eletrônico, que além de agregar conhecimento ao autor em diversos ramos da eletrônica como: programação de microcontroladores (MCU), leituras de sensores e armazenamento de dados. Estes conhecimentos são altamente requisitados no mercado de trabalho, também tem como intuito servir como objeto de estudo em outros trabalhos do ramo, uma vez que o desenvolvimento do circuito pode ser replicado.

Com isso, pode-se utilizar o equipamento desenvolvido para criar uma base de dados para o estudo em regiões de interesse, colaborando no levantamento de dados de microclima para artigos que podem ser utilizados para modelar e criar projeções sobre o clima da região documentada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os referenciais teóricos abordados nesta seção foram divididos em 4 tópicos, sendo eles: Biodiversidade, Mudanças climáticas, Microclima e Instrumentos de medição

2.1 Biodiversidade

A biodiversidade é a enorme variedade de seres vivos no planeta Terra. Ela está espalhada por todo o globo, desde o topo das montanhas, até o fundo dos mares. É tão grande, abrangente e magnífica que se torna imensurável, permeando tudo e todos (BRASIL, 2020). Segundo o Artigo 2 de Brasil (2000), biodiversidade, ou diversidade biológica, pode ser definida como:

A variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (BRASIL, 2000, p. 11).

Muito além de toda a beleza natural proveniente da biodiversidade, ela é a base dos serviços de ecossistemas e geram inúmeros benefícios naturais para a sociedade, sendo estes favoráveis e, na grande maioria das vezes, essenciais para as economias e o bem-estar das populações mundiais (ADAPTACLIMA, 2018).

Em 1997, dois trabalhos trouxeram definições importantes para serviços ecossistêmicos. De acordo com Costanza *et al.* (1997, p.253), a definição é: “bens e serviços que representam benefícios às populações humanas, derivadas, direta ou indiretamente das funções ecossistêmicas”. De forma análoga, para Daily (1997, p.3), os serviços são: condições e processos pelos quais, cada ecossistema natural, e as espécies que os compõem, sustentam e satisfazem a vida humana”.

Estes diversos serviços dos ecossistemas estão diretamente relacionados com a manutenção da vida no planeta, como: a provisão de alimentos e de água, são responsáveis pela regulação do clima, de doenças, de inundações e da qualidade da água, além do suporte à formação do solo e da ciclagem dos nutrientes (ADAPTACLIMA, 2018).

O *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) – Avaliação dos Ecossistemas do Milênio – durante os anos de 2001 e 2005, se dedicou a avaliar as consequências das mudanças dos ecossistemas para o bem-estar humano e, estabelecer bases

científicas de ações necessárias para: aumentar a conservação e sustentabilidade no uso dos ecossistemas, seus serviços e contribuições para a vida humana no planeta.

Uma síntese do trabalho publicado, apresenta de forma resumida os sistemas ecossistêmicos em forma de quadro, dividido em 4 categorias: serviços de provisão, de regulação, cultural e de suporte (MEA, 2005). O Quadro 1 mostra a síntese dos serviços de ecossistemas. Cada coluna do Quadro 1 apresenta uma das categorias dos serviços dos ecossistemas.

Analisando a coluna de provisão, pode-se analisar recursos básicos para a vida humana, como água potável e alimento. Na coluna de regulação são expostos serviços que regulam a vida na Terra e que, além de favorecerem o bem-estar humano, ainda diminuem as ações destrutivas do ser humano na natureza. A coluna dos serviços culturais apresenta o que a natureza agrega na vida humana no sentido pessoal e cultural, evidenciando como o bem-estar da sociedade se comunica com a natureza. Por fim, a última coluna, de suporte, contém serviços responsáveis pela manutenção dos ecossistemas, suportando a vida no meio ambiente.

Quadro 1 – Serviços Ecossistêmicos.

Aprovisionamento	Regulação	Cultural	Suporte
Alimento	Regulação da Qualidade do Ar	Diversidade Cultural	Fotossíntese
Fibra	Regulação do Clima	Valores Espirituais e Religiosos	Formação do Solo
Recursos Energéticos	Regulação da Água – Purificação e Tratamento de Resíduos	Sistemas de Conhecimento	
	Regulação da Erosão	Valores Educacionais	Produção Primária
Bioquímicos, Fármacos naturais e Remédios	Regulação de Doenças	Valores Estéticos	Ciclagem de Nutrientes
	Regulação de Pestes	Relações Sociais	
Recursos Ornamentais	Regulação de Ameaças Naturais	Sensação de Pertencimento	Ciclagem da Água
Água Potável	Polinização	Recreação e Ecoturismo	

Fonte: Adaptado de MEA, 2005.

2.2 Mudanças climáticas

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – órgão fundado pela Organização

das Nações Unidas (ONU), para avaliar as ciências relacionadas às mudanças climáticas, definiu em seu relatório de 2014 mudanças climáticas como:

Mudanças no estado do clima que podem ser identificadas por mudanças na média e/ou variabilidade de suas propriedades, e que persistem por um longo período de tempo, geralmente décadas ou maiores períodos de tempo. Além disso, mudanças climáticas podem ser causadas por processos naturais internos ou forças externas, como modulações do ciclo solar, erupções vulcânicas e constantes mudanças antropológicas na composição atmosférica ou uso da terra (IPCC, 2014, p. 5, tradução nossa).

De forma similar, a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima – convenção também criada pela ONU, em 1992, pautada no suporte global de resposta às ameaças das mudanças climáticas, define no seu Artigo 1 mudanças climáticas como: “mudanças no clima que podem ser atribuídas direta ou indiretamente à atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global e que, com contribuição a variabilidade natural do clima, podendo ser observadas em comparáveis períodos de tempo” (ONU, 1992, p.7, tradução nossa).

No trabalho publicado por Hegland *et al.* (2009), abordam como as mudanças climáticas afetam os polinizadores e as perdas que podem trazer para a humanidade, sendo estes fundamentais na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais, (além de realizarem a polinização, que por si só, é um dos principais serviços dos ecossistemas), aos sistemas naturais e à agricultura. As mudanças climáticas podem afetar sua distribuição geográfica, a abundância local e a sincronia no florescimento das plantas e na atividade dos polinizadores.

De forma mais detalhada, Giannini *et al.* (2017) analisaram a distribuição potencial de 95 espécies de polinizadores relevantes a 13 tipos de lavouras. As projeções apontam a diminuição de regiões com climas adequados às espécies de polinizadores e, como consequência, afeta negativamente sua influência na produção de culturas. Considerando este cenário, é iminente a desaceleração da produtividade nas plantações, resultante do déficit de polinização, podendo resultar em prejuízos à renda agrícola. Isto reforça a vulnerabilidade socioeconômica em face das alterações em curso, e também a dependência humana da natureza e seus serviços.

Analisando agora os animais vertebrados, com ênfase nos animais de sangue frio (anfíbios e répteis), por necessitarem de habitats especializados e serem mais sensíveis a mudanças climáticas, existem populações que estão drasticamente diminuindo e suas áreas de concentração são cada vez menores (VASCONCELOS,

2014). Os anfíbios em específico, precisam de água para a reprodução ou, ao menos, de microambientes mais úmidos. Estes fatores são diretamente afetados pelas mudanças climáticas, alterações nas precipitações e na disponibilidade de água (HADDAD *et al.*, 2013).

O aumento da temperatura e a incidência de secas, além de afetar vertebrados e plantas, podem alterar a distribuição, a densidade e a ocorrência de doenças transmitidas por vetores transmissores (dengue, leishmaniose, malária, febre amarela, entre outras), e levar à adaptação dos vetores e hospedeiros à novos ciclos de transmissão, aumentando o número de surtos das doenças, mesmo fora das estações em que os casos são constantes, em vista do impacto das condições climáticas no desenvolvimento, no comportamento e na vida-útil de muitos insetos (MILLS; GAGE; KHAN, 2010; CAMPBELL-LENDRUM *et al.*, 2015).

Os serviços ecossistêmicos culturais também são afetados por mudanças climáticas. Os impactos físicos sobre os sítios históricos estão relacionados principalmente com: alterações nos processos hidrológicos, químicos e biológicos do solo, que podem acelerar processos de deterioração de materiais arqueológicos; o aumento da incidência de tempestades e rajadas de vento, que podem levar a danos estruturais de bens arquitetônicos e urbanísticos; e a danos a sítios localizados em zonas litorâneas, causados por consequência do aumento do nível do mar.

Edifícios históricos podem ser afetados devido ao aumento da umidade, absorvida por meio do contato entre sua estrutura e o solo, danificando seu interior. Qualquer aumento na umidade do solo pode resultar em aumento da migração de sais e deterioração relacionada à sua cristalização após a secagem.

As inundações por água de chuva podem danificar os materiais de construção não resistentes à imersão prolongada. Materiais como a madeira, podem estar mais sujeitos à biodeterioração (mofo e insetos xilófagos). Acervos móveis podem ser impactados ainda por níveis mais elevados de umidade do ar, altas temperaturas e aumento dos níveis de radiação UV (COELHO, 2014).

Desta forma, é possível notar que, não só os animais sofrem com as mudanças climáticas, mas também a espécie humana é impactada negativamente pelas mudanças, e sofre também, direta ou indiretamente, pela diminuição das espécies em seus habitats naturais. As perdas sofridas pelos serviços dos ecossistemas evidenciam cada vez mais como as mudanças no clima afetam o

planeta. Ao analisar o clima mais de perto, em espaços cada vez menores, é possível notar com ainda maior clareza os impactos causados.

2.3 Microclima

De acordo com o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, em seu Glossário de Termos Técnicos Ambientais Rodoviários, o microclima é definido simplesmente por: “clima local, em escala de pequenos ambientes” (BRASIL, 2006). De forma semelhante, o Professor Rudolf Geiger cita em seu livro microclima como: “clima no menor espaço” (GEIGER, 1950).

Um conceito tão simples, no entanto, apresenta grande influência em toda a vida no planeta. Tendo em vista que a maioria dos organismos terrestres vivem próximas ao solo, e que os instrumentos de medição de temperatura em estações meteorológicas se encontram em alturas de aproximadamente 1,5 m a 2,0 m acima do nível do solo, as condições ambientais em que a vida na terra se encontra, difere dos dados convencionais medidos (GEIGER, 1950; POTTER; ARTHUR; PINCEBOURDE, 2013; WILD *et al.*, 2019). Ainda de acordo com Potter, Arthur e Pincebourde (2013), os seres vivos habitam em regiões de microclima, que podem ser altamente heterogêneas e se diferenciar fortemente dos macroclimas que os rodeiam.

As previsões sobre o aquecimento global, sua influência na distribuição das espécies e o aumento do risco de extinção de espécies, levam em conta dados de estações meteorológicas. Com os *Species Distribution Models* (SDM) – Modelos Preditivos de Distribuição de Espécies – metodologia científica mais utilizada para examinar os possíveis impactos das mudanças climáticas na biodiversidade, isso não é diferente. Em seu estudo, Frank *et al.* (2012) demonstra como a aquisição dos dados difere na conclusão de pesquisas. Ao se utilizar medidas de temperaturas adquiridas em pontos próximos ao solo, com distâncias entre um ponto e outro de 80 m a 90 m, os dados adquiridos nestas condições resultam em um modelo mais detalhado e que reflete com maior clareza o habitat dos seres vivos.

Novos estudos se tornam cada vez mais relevantes, ao indicarem que: em alturas de apenas 5 cm a 15 cm acima do nível solo, as medidas de temperatura diferem em até 10°C, em relação às medições de estações meteorológicas. Estas diferenças sofrem variações substanciais em diferentes biomas e estações do ano. Ao se considerar as medições em florestas (ou outros ambientes altamente

arborizados), diversos processos com efeitos climáticos e serviços ecossistêmicos, como regeneração de árvores, a dinâmica e nutrientes da biodiversidade, ciclo da água e do carbono, podem ter seu entendimento afetado (FRENNE; VERHEYEN, 2016).

2.4 Instrumentos de medição

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) define um instrumento de medição como: “dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es)” (INMETRO, 1995). O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) – Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos – maior organização técnica profissional para avanço tecnológico, também define: “é considerado instrumento somente o dispositivo que tenha como aplicação principal a realização de medições. Não estão incluídos dispositivos com aplicação geral, tais como fontes, componentes elétricos e eletrônicos individuais, conectores, cabos etc.” (IEEE, 1996).

Apesar de toda a importância da obtenção e análise de dados referentes ao microclima, a coleta de dados não é fácil. Primeiramente, é necessária uma quantidade considerável de registradores de dados, para cobrir uma região e seus inúmeros microclimas heterogêneos (ASHCROFT; GOLLAN, 2011). Além do mais, existem limitações quanto aos sensores utilizados nestes registradores, tendo em vista que as regiões de microclima são altamente dinâmicas e turbulentas (WILD *et al.*, 2019). Um último ponto importante, é o fato de que os registradores precisam ter proteção contra a radiação solar e chuva, para obterem medições mais precisas (TERANDO, *et al.* 2017; WILD *et al.*, 2019).

Wild *et al.* (2019) ainda comenta sobre alguns medidores industriais que existem, que são desenvolvidos para outras finalidades e acabam sendo utilizados para a medição de microclima, o que faz com que os dados obtidos não sejam precisos devido a falhas e distúrbios nas medições. No mesmo trabalho o autor relata que existem registradores de dados meteorológicos profissionais, porém estes apresentam custo elevado. Além disso, alguns tipos de medidores apresentam baixa capacidade de memória e/ou baixa autonomia de bateria, dificultando seu uso a longo prazo.

As definições, áreas de aplicação e requisitos técnicos evidenciam as complexidades do desenvolvimento de instrumentos de medição. Apesar disso, a

necessidade e a vasta gama de aplicações, além da contribuição em estudos e pesquisa, faz com que o projeto e construção de um sistema de medição de temperatura, dedicado a registrar dados ao nível do solo e abaixo dele, é um tema de estudo de relevância e importância.

O projeto desenvolvido tem como base o sistema desenvolvido por Wild *et al.* (2019). No trabalho, os autores desenvolvem um registrador de temperatura e umidade do solo com medições de longo prazo para microclima. O nome dado ao sistema é *Temperature-Moisture-Sensor* (TMS) – Sensor de Temperatura-Humidade.

Estudando o artigo de Wild *et al.* (2019), é possível entender que o sistema mede a temperatura ao nível do solo, 15 cm acima dele, e também 8 cm abaixo do mesmo nível. Além disso, a umidade é medida na mesma profundidade do sensor abaixo do solo (8 cm). O autor defende que estas altitudes representam as posições das folhas das plantas, dos botões de internódia (características que plantas de clima frio possuem para sobreviver ao inverno rigoroso) e também das raízes. Outro ponto importante é o uso de dois sensores de temperatura e o intervalo de tempo entre a coleta dos dados. O autor ainda define que, o intervalo máximo entre uma aquisição de dados e outra, é de 15 minutos e que ambos os sensores coletam os dados simultaneamente.

O TMS conta também com um *Real Time Clock* (RTC) – Relógio de Tempo Real – dispositivo que informa segundos, minutos, horas, dias, meses e anos (MAXIM INTEGRATED, 2015a). Com isso, o sistema pode saber qual o momento exato em que os dados foram coletados.

Além disso, Wild *et al.* (2019) ainda discorrem no artigo que utilizam uma unidade de memória capaz de realizar 524288 gravações, fazendo com que o TMS seja capaz de coletar dados por toda sua vida, desde a primeira inicialização. O dispositivo é alimentado por uma bateria de lítio LS 14500, com capacidade de corrente de 2,6 Ah e tensão de 3,6 V (SAFT, 2021). O microprocessador utilizado pelos autores é apenas descrito como sendo um PIC, do fabricante Microchip. Por fim, o TMS é equipado com 03 sensores DS7505U+, do fabricante Maxim Integrated, para realizar a coleta dos dados.

Tendo em vista o exposto, o sistema desenvolvido neste projeto é uma simplificação do TMS, dispositivo criado por Wild *et al.* (2019). Os detalhes do desenvolvimento e simplificações realizadas são explicados na seção 3.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa aplicada, exploratória, de levantamento e quantitativa.

Os procedimentos utilizados para se desenvolver o trabalho estão divididos em 5 macro blocos que norteiam o projeto: concepção do sistema, estudo dos componentes, simulação do sistema de medição de temperatura, prototipagem do sistema e calibragem do sensor.

3.1 Concepção do sistema

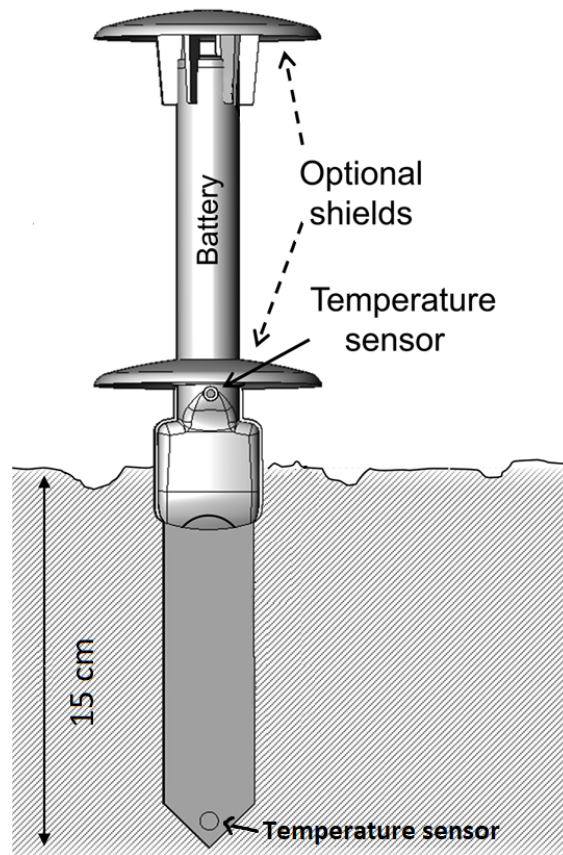
Partindo dos princípios e análises citados na seção 2.4, com destaque para o trabalho de Wild *et al.* (2019), o que este trabalho se propõe é um projeto de um sistema baseado no TMS, porém com simplificações. O dispositivo dos autores apresenta algumas particularidades de maior complexidade, como por exemplo, a medição da umidade do solo em uma placa de circuito impresso (PCI) multicamadas.

Apesar da umidade também ser de extrema importância para o desenvolvimento da flora, sendo fundamental do microclima (BANDERALI, c2018), a complexidade de realizar medidas deste parâmetro, como relatado no trabalho de Wild *et al.* (2019), e também o objetivo de se construir um dispositivo dedicado à medição da temperatura, definiu-se que o instrumento projetado não terá a capacidade de se medir a umidade do solo. Além disso, o intervalo de tempo entre uma coleta de dados e outra é fixo em 15 minutos.

Outra diferença deste trabalho com relação ao TMS, é a utilização de apenas 02 sensores de temperatura, além da posição dos mesmos. Apesar de ser importante a medição da temperatura 15 cm acima do solo, como o demonstrado por Wild *et al.* (2019), o sistema deste trabalho se propõe a levantar dados com 01 sensor ao nível do solo e outro 15 cm abaixo dele. Desta forma, a Figura 1 mostra um modelo de como o sistema idealmente deve se parecer.

Tendo como base a Figura 1, a concepção do sistema consiste em caracterizar o sistema proposto em blocos menores, para que assim, possam ser implementados por etapas, a fim de facilitar e orientar o fluxo de desenvolvimento. O projeto consiste em 5 blocos principais: unidade de processamento, unidade de memória, interface de saída, fonte de alimentação (baterias e fontes secundárias) e sensores.

Figura 1 - Conceito do sistema de medição da temperatura.



Fonte: Adaptado de Wild *et al.* (2019, p. 41).

A unidade de processamento é formada integralmente por um microprocessador. Este é o componente central do projeto, sendo capaz de realizar leitura dos sensores, ser o responsável pela gravação dos dados na memória externa, além de enviar os dados à interface que entrega os dados para o usuário de forma inteligível. As leituras dos sensores devem ser feitas a cada determinado período de tempo e as informações devem ser armazenadas de forma organizada.

A memória externa é o componente responsável por armazenar os dados que o microcontrolador recebe dos sensores. Ela deve ser capaz de guardar informações por longos períodos de tempo, inclusive em ocorrências de falta de suprimento de energia ao dispositivo, ou seja, quando a bateria que alimenta o sistema se esgotar.

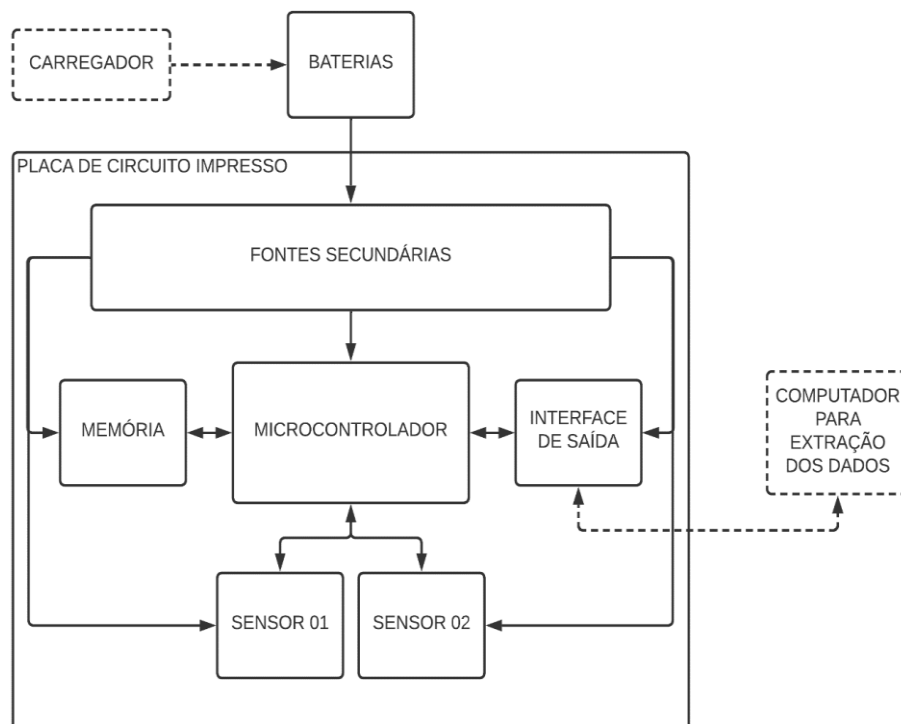
A interface de saída, realiza o intermédio entre o sistema e o computador portátil do usuário. Dessa forma, ela mostra os dados na tela de um *notebook* que o usuário conecta ao dispositivo, via cabo USB, quando desejar colher as informações adquiridas pelo aparelho. Esta deve mostrar os dados de forma organizada, para que

o usuário consiga identificar a ordem de leitura do sensor e identificar qual o sensor que realizou a leitura.

A fonte de alimentação, é o bloco composto pelas baterias e as fontes secundárias. As baterias devem ter capacidade de carga o suficiente para manter o sistema em funcionamento durante o período de ao menos um mês. Esta deve fornecer o nível de tensão e corrente para o dispositivo, garantindo seu funcionamento adequado. Para que as tensões sejam adequadas para todos os componentes, fontes secundárias devem ser projetadas, respeitando as características elétricas dos componentes.

Por fim, os sensores de temperatura, são os componentes que realizam a leitura da temperatura do solo. Estes realizam e enviam a leitura dos dados coletados para o microcontrolador, a cada intervalo de tempo pré-determinado. O microcontrolador é o responsável pela recepção e conversão correta dos dados enviados a partir dos sensores.

Figura 2 - Diagrama de blocos da concepção do sistema.



Observações:
Os elementos representados e ligados com linhas tracejadas, representam elementos que não são fixos no sistema, apenas utilizados quando necessário.

Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 2 apresenta o diagrama de blocos de todos blocos menores que formam o sistema.

3.2 Estudo dos componentes

O estudo dos componentes foi realizado tendo como base os 5 blocos menores, discutidos na seção Concepção do sistema, e apresentados em forma de digrama de blocos pela Figura 2. Dessa forma, esta seção é dividida em: unidade de processamento, unidade de memória, interface de saída, fonte de alimentação (baterias e fontes secundárias) e sensores.

3.2.1 Unidade de processamento

A unidade de processamento é o componente responsável por controlar todo o sistema. Esta possui a função de se comunicar com os demais componentes do sistema (sensores e memória), a fim de fazê-los operar de acordo com a programação desenvolvida. Para realizar estas funções, microcontroladores ou microprocessadores são os componentes utilizados.

O microprocessador é um circuito integrado (CI) que contém apenas um pequeno processador encapsulado, não dispendo de periféricos como: contadores, conversores, memória, etc. Já o microcontrolador consiste em um CI com núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis, conversores e periféricos de entradas e saídas (CARDOSO, 2020). Com isso, um microcontrolador se mostra o componente mais indicado para ser a unidade de processamento do sistema.

De acordo com Oliveira (c2022), os fabricantes de microcontroladores mais populares são: Microchip, AVR (comprada pela Microchip em 2006), STMicroelectronics, NXP, Texas Instruments e Espressif. O comércio de componentes destes fabricantes é facilmente encontrado em sites de eletrônica nacionais, o que os fazem de fácil aquisição em território nacional. Para a aplicação deste trabalho, um microcontrolador de 8-bits (uma arquitetura simples) já é o suficiente para controlar o sistema, uma vez que o mesmo possui poucos periféricos (memória e sensores) e sua função é altamente direcionada a leitura e armazenamento da temperatura. Destes fabricantes, os MCUs de 8-bits que são encontrados com maior facilidade são: PIC16F877A, da Microchip e ATMEGA328p da AVR (também Microchip).

O ATMEGA328p, se tornou extremamente popular devido ao seu uso na plataforma de desenvolvimento Arduino (OLIVEIRA, c2022). No entanto, de acordo com o fabricante, atualmente o *status* de fabricação deste microcontrolador não é recomendável para novos designs (MICROCHIP, c2022a). Isto significa que o fabricante não recomenda o uso deste componente em novos projetos, pois existem outras alternativas melhores e mais econômicas, ou por sua demanda estar diminuindo (MAXIM INTEGRATED, 2020). Apesar deste não ser um problema no momento atual, futuramente poderá se tornar. Desta forma, um microcontrolador que está com status de “em produção” é mais indicado.

O PIC16F877A, apresenta status em produção no site do fabricante (MICROCHIP, c2022b), apesar de possuir um novo dispositivo disponível, o PIC16F18877. No entanto, este último não se encontra com facilidade no Brasil. Desta forma, a escolha de mais fácil acesso se torna o PIC16F877A. Analisando o datasheet deste MCU, é possível perceber que o componente teve seu primeiro manual publicado em 2001. Isto é um ponto favorável, uma vez que, com mais de 20 anos no mercado, existem diversas informações sobre o mesmo na internet, livros e artigos, que podem ajudar o projetista durante dificuldades no projeto.

As principais características relevantes, disponível no *datasheet*, do PIC escolhido são (MICROCHIP, 2013a):

- Microcontrolador com 40 pinos, incluindo pinos analógicos e 33 entradas/saídas (I/O's);
- *Clock* de 4 até 20MHz;
- 15 tipos de interrupções disponíveis: *timers*, contagem, pulso externo, etc.;
- Modo *Sleep*;
- Conversores Analógico/Digital (ADC);
- Módulo SPI/I2C (*Serial Peripheral Interface* – Interface Periférica Serial/ Inter-Integrated Circuit – *Cirutico Inter-Integrado*);
- Diferentes opções para osciladores (cristal, oscilador RC (Resistor-Capacitor), etc.);
- 2 canais PWM (*Pulse Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso);
- Modo USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* – Transmissor Receptor Universal Síncrono e Assíncrono);

- 8 kBytes de memória ROM (*Read Only Memory* – Memória Apenas Leitura);
- Memória RAM (*Random Access Memory* – Memória de Acesso Aleatório) com 368 bytes;

Dentre os diversos recursos favoráveis do PIC, alguns merecem destaque para a aplicação deste trabalho. As diversas fonte de interrupção são extremamente favoráveis, uma vez que, por exemplo, a contagem do tempo do intervalo de 15 minutos entre as leituras, pode ocorrer por meio de interrupções; conversor AD e módulo SPI/I2C é importante por possibilitar o uso de diversos tipos de sensores e memórias externas; modo UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter* – Transmissor Receptor Universal Assíncrono) é útil na comunicação serial com dispositivos externos, como uma interface de saída; e uma boa capacidade de memória RAM/ROM, considerando a aplicação em que o componente será usado. Os demais recursos reforçam a robustez da unidade de processamento escolhida, apesar de não serem aplicáveis ao projeto.

O microcontrolador apresenta ainda disponibilidade de encapsulamentos *Surface Mounted Device* (SMD) – Dispositivos Montados em Superfície – e *Pin Through Hole* (PTH) – Pinos Através de Furos. Apesar do PIC na versão SMD ser mais compacto, possibilitando diminuir as dimensões da PCI projetada, devido a sua maior dificuldade de se encontrar o componente em lojas nacionais e também maior dificuldade de se fazer uma placa, por processo manual, dedicada à componentes SMD, a versão PTH foi utilizada.

3.2.2 Interface de saída

Tão importante quanto coletar os dados, é entregá-los ao usuário, de forma correta. Uma vez que os dados forem coletados pelos sensores e armazenados na memória externa, o usuário pode visualizá-los quando quiser. Desta forma, é primordial que a interface de saída disponha os dados de forma organizada, facilitando a extração dos dados, organizando-os de forma que seja simples a exportação dos dados para algum programa de análise de dados. Com isso, estes devem ser mostrados de modo similar a uma tabela. Além disso, a interface com o usuário deve ser simples de ser operada.

Outro ponto válido de destaque, se encontra no fato de ser pela interface de saída que o usuário é capaz de dar um reset no sistema. Isto é, uma vez que os dados forem coletados, e extraídos pelo usuário, os dados salvos na memória podem ser apagados. Isto deve ser feito a comando do utilizador, quando achar mais conveniente.

Desta forma, para conectar o sistema ao computador do usuário e de forma segura, e de forma facilitada, uma excelente solução para a comunicação, é ser feita de forma serial, via *Universal Serial Bus* (USB) – Barramento de Dados Universal. De modo geral, para realizar a comunicação serial, é necessário modo UART, com o microcontrolador, e USB no computador. Como o PIC16F877A possui um módulo UART e a interface USB é padrão para a grande maioria de computadores portáteis no mundo, um módulo pronto é uma solução viável e prática para o projeto.

O principal protocolo de comunicação entre um microcontrolador e um computador é o RS-232. Este protocolo é amplamente utilizado na indústria para enviar dados de uma máquina a um computador. O RS-232 opera com tensões de +3V a +15V para representar o nível lógico '0' e, -3V a -15V para o nível lógico '1'. Além disso, possui conexões de dados (*Received Data* e *Transmitted Data*), controle de fluxo (*Clear to Send* e *Request to Send*) e sinalizações (*Data Set Ready* e *Data Terminal Ready*) (BRAGA, 2003).

Para adequação dos níveis de tensão do microcontrolador para o USB do computador, e também gerir o protocolo, módulos conversores prontos são facilmente encontrados no mercado. De forma geral, os conversores utilizam o chip da Prolific PL2303HX, ou o FT232RL da FTDI. Ambos os módulos são facilmente encontrados, porém os que utilizam o FT232RL, possuem versões que apresentam conector de saída USB V3, permitindo que o usuário conecte o módulo ao sistema, e o conecte na USB do computador via cabo. Por esta praticidade, o módulo FT232RL é o escolhido para realizar a comunicação da interface de saída.

Assim sendo, o módulo conversor USB/serial FT232RL, consiste em uma placa de fácil utilização e implementação, de fácil aquisição no Brasil e de baixo custo. Este módulo é composto basicamente pelo circuito integrado FT232RL, seu circuito de aplicação, barramento de pinos com 6 terminais para conexão no dispositivo e conector de saída USB modelo V3.

Pesquisando na folha de dados do fabricante, é possível encontrar que, o módulo em questão, apresenta no conector principal os seguintes pinos: DTR, RX,

TX, VCC, CTS e GND, sendo o primeiro pino, DTR e o último, GND. Os pinos de alimentação (VCC e GND) são alimentados por 5V. Os pinos RX e TX são os responsáveis por enviar e receber os dados, respectivamente. Já os pinos DTR e CTS, realizam controle do fluxo de dados (FTDI CHIP, 2020). Para o sistema em desenvolvimento, controlar o fluxo de dados não se faz necessário, uma vez que a comunicação é simples, e deve possuir poucos comandos provenientes do usuário (uma vez que a interface de saída deve ser simples e de fácil operação).

Com isto, para a aplicação deste projeto, apenas os pinos 2, 3 e 6 são utilizados, uma vez que a comunicação serial via UART realizada pelo microcontrolador não necessita de controle de fluxo. Portanto, para uma interface simples e informativa, o módulo FT232RL é de grande valia.

3.2.3 Sensores

Uma vez que o microcontrolador já foi escolhido, é possível saber quais periféricos ele contém para se comunicar com dispositivos externos, como os sensores. Como visto em Unidade de processamento, o PIC16F877A possui: conversor AD, módulo SPI/I2C e modo USART. Estes 3 periféricos podem ser úteis na comunicação e leitura de diversos tipos de sensores, inclusive de temperatura. Alguns tipos de sensores de temperatura, comumente utilizados são: termistores, termopares e sensores eletrônicos (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020; ALVES, c2022).

Os termistores são, de forma simplificada, semicondutores cuja resistência varia de acordo com a temperatura, ou seja, são resistores termicamente sensíveis. Os dois tipos típicos de termistores são: coeficiente negativo de temperatura (NTC) e coeficiente positivo de temperatura (PTC). No NTC, sua resistência diminui com o aumento da temperatura. Já no PTC, ocorre o oposto, ou seja, sua temperatura aumenta com o aumento da temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020; ALVES, c2022).

Estes sensores são amplamente utilizados em ambientes industriais. Porém, em dispositivos eletrônicos estes componentes apresentam algumas limitações. A primeira delas é a não linearidade dos termistores, o que dificulta a leitura em amplas faixas de valor, e também dificulta sua calibração. Além disso, estes sensores, por serem muito sensíveis a mudanças de temperatura, geralmente precisam de mais componentes externos para uma operação adequada (THOMAZINI;

ALBUQUERQUE, 2020; ALVES, c2022). Costumam ser ligados em Ponte de Wheatstone, juntamente com amplificadores de instrumentação, ligados na entrada do conversor analógico do microcontrolador. Assim, apesar da sensibilidade, o aumento da complexidade de *hardware* não se mostra vantajoso para o projeto em questão.

Os termopares são compostos por dois fios metálicos heterogêneos, acoplados em uma extremidade. A diferença de temperatura entre os dois fios gera uma tensão elétrica proporcional. Assim, um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada por fios diferentes. Apesar de serem extremamente sensíveis às diferenças de temperatura, porém por serem feitos com dois fios metálicos, são altamente sujeitos a corrosão, impactando em sua temperatura. Além disso, geralmente são associados a *hardware* externo, para ser possível realizar a leitura de pequenas variações de temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020; ALVES, c2022). Assim, da mesma forma como os termistores, o aumento da complexidade de *hardware*, e também sua facilidade de sofrer corrosão, não torna o sensor favorável na aplicação.

Por fim, existem diversos tipos de sensores eletrônicos. O mais popular deles é o LM35 (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020; ALVES, c2022). Analisando a folha de dados do componente, este componente é um sensor de temperatura calibrado diretamente em graus Celsius; com escala linear de 10 mV/°C, não precisando de calibração externa; opera em uma ampla faixa de tensão, 4 V a 30 V e; precisão de 0,5°C (TEXAS INSTRUMENTS, 2017).

Sendo um sensor analógico, o LM35 deve ser ligado em uma porta de um ADC, que o PIC16F877 também possui. Porém, apesar de ser um sensor de temperatura com ótimas qualidades e que se aplica muito bem no projeto, para o componente ser capaz de medir temperaturas negativas, este deve ser alimentado por uma fonte simétrica (tensão positiva e tensão negativa). Isso é um problema no projeto do circuito. Mesmo existindo técnicas e CI que realizam esta função, seria necessário, mais uma vez, aumentar a complexidade do *hardware*, apenas para atender a leitura do sensor, o que vai contra o objetivo do trabalho de manter a PCI simples e de baixo custo. Desta forma, o LM35 também não é o sensor mais adequado ao projeto.

Analisando agora alguns sensores eletrônicos digitais, 03 deles são populares. Estes são: DS18B20, LM75 e DS7505.

O primeiro da lista é um sensor digital, com resolução programável de 9 a 12 bits e comunicação por 1 fio. Mais uma vez recorrendo ao datasheet, o DS18B20 possui precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; é capaz de medir tanto temperaturas negativas, quanto positivas, e como sua comunicação é digital, não precisa de *hardware* externo para medir temperaturas em toda sua escala, que varia de -10°C a 85°C ; apresenta uma resposta de leitura máxima de 750 ms; baixíssimo consumo de corrente em *standby* de no máximo 1000 nA, o que é excelente uma vez que o dispositivo opera alimentado por baterias; e corrente ativa máxima de 1,5mA (MAXIM INTEGRATED, 2019).

Apesar de inúmeras vantagens e de se mostrar o melhor sensor apresentado até o momento, sua comunicação por 1 fio ocorre via interface serial. Isso é problemático uma vez que o PIC16F877 possui apenas um módulo USART, responsável pela comunicação serial (MICROCHIP, 2013a).

Como este módulo já estar sendo utilizado para realizar a comunicação com a interface de saída e, ser responsável por enviar os dados no notebook do operador do sistema, durante a comunicação, o barramento já está sendo ocupado. Apesar de ser possível contornar o este empecilho, via *software* reconfigurando o módulo UART a cada leitura do sensor, para evitar possíveis conflitos, por exemplo: o usuário conectar o *notebook* durante uma leitura do sensor, causando conflitos na comunicação, o sensor DS18B20 também não se mostra a melhor opção para o projeto.

Os dois sensores digitais, DS7505 e LM75 possuem propriedades muito semelhantes. Ambos possuem comunicação I2C, capaz de informar a temperatura sempre que o dispositivo mestre solicitar; não necessitam de *hardware* externo para funcionar; operam em temperaturas negativas e positivas. Suas principais diferenças são: o LM75 possui resolução de 9 *bits*, enquanto o DS7505 possui resolução configurável de 9 a 12 *bits*; a precisão do LM75 é de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, já a do DS7505 de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; a corrente quiescente do LM75 é de 4 μA , e a do DS7505 é metade disso, ficando em 2 μA (MAXIM INTEGRATED, 2015c; TEXAS INSTRUMENTS, 2015).

Desta forma, o DS7505 se mostra o melhor sensor dentre os analisados, se adequando de forma mais do que o suficiente ao projeto deste trabalho. Além do mais, o sensor DS7505U+ é o modelo utilizado no trabalho de Wild *et al.* (2019), que é usado como principal inspiração neste projeto.

Este sensor possui algumas outras características válidas de destaque. O DS7505 opera em tensões de 1,7 V a 3,3 V e é fabricado apenas em encapsulamento SMD. Apesar destas características não serem vantajosas neste projeto, suas

vantagens se mostram compensativas, em vista do leve aumento na complexidade da manufatura de uma placa com componentes SMD e da necessidade de um pequeno regulador de tensão de 3,3 V.

Por fim, é possível perceber que existem diversos sensores de temperatura disponíveis no mercado, cada um com características próprias, que podem ser vantajosas ou não para cada tipo de aplicação. No projeto do sistema desenvolvido neste trabalho, o sensor DS7505 se mostrou mais adequado, possuindo mais vantagens em relação a outros modelos de sensores disponíveis no mercado.

3.2.4 Unidade de Memória

A unidade de armazenamento de dados é responsável por manter os dados coletados pelos sensores salvos, para que possam ser lidos posteriormente. Existem diversos tipos de memórias para cada tipo de aplicação. No projeto deste trabalho, um requisito de projeto consiste, na necessidade de os dados permanecerem armazenados mesmo quando as baterias estiverem sem carga. Isso se deve ao fato de que, pode ocorrer de as baterias ficarem sem cargas antes do previsto, ou ainda, o usuário pode optar por deixar o sistema operando por mais tempo, ou ainda simplesmente esquecer, ou perder a data, de extrair os dados. Desta forma, é essencial que a unidade de memória mantenha os dados em segurança.

Existem alguns tipos de memória, e dois deles que são relevantes para o projeto são: memórias voláteis e memórias não voláteis. A memória volátil é um tipo de memória em que as informações são armazenadas eletricamente em transistores, isso implica que, quando não há presença de corrente elétrica, os dados armazenados são perdidos. Já a memória não volátil, é capaz de armazenar as informações em células individuais, usando código binário. Com isto, os dados permanecem armazenados, mesmo na ausência de corrente elétrica (CRUCIAL, 2018).

Os dois principais tipos de memórias não voláteis utilizados na eletrônica são: memória EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* – Memória Programável Eletronicamente Apagável Somente-Leitura) e memória Flash. A memória flash é um tipo de memória EEPROM, diferindo no tipo de portas lógicas utilizadas para armazenar os dados, na forma de acessar os dados armazenados e nas velocidades de escrita/leitura. A *flash*, costuma usar portas NAND, enquanto EEPROM costumam usar portas NOR; a EEPROM pode acessar e apagar byte a byte, enquanto a flash, faz o mesmo em bloco maiores, possuindo capacidade maior de

memória que a EEPROM; a *flash*, é mais rápida que a EEPROM na escrita, porém mais lenta ao apagar dados e; CI de memória flash costuma utilizar comunicação SPI, enquanto EEPROM são facilmente encontradas com SPI ou I2C (ELETRONICS FOR YOU, 2018).

Apesar de circuitos integrados de memória flash com capacidade de armazenamento na ordem de *MegaBytes*, e até *GigaBytes* serem facilmente encontrados, geralmente estes CIs apresentam comunicação SPI. O PIC16F877A possui módulo de comunicação SPI/I2C, porém o datasheet informa que o microcontrolador pode operar em um dos dois modos, mas não em ambos simultaneamente (MICROCHIP, 2013a). E como o sensor de temperatura escolhido, DS7505 se comunica com o PIC via interface I2C, não é possível adicionar um componente que trabalhe com SPI. Desta forma, um chip de memória EEPROM é o modelo de memória mais indicado para a aplicação.

Analisando a questão da quantidade de memória externa necessária para armazenamento dos dados, esta deve ser capaz de suprir o salvamento das informações fornecidas pelos dois sensores, por períodos superiores de no mínimo 30 dias. Sabendo disto, e também lembrando que, o microcontrolador realiza a leitura de 02 sensores a cada 15 minutos, assim é possível estimar o requisito mínimo de memória.

De acordo com Maxim Integrated (2015c), a resposta recebida pela unidade de processamento ao requisitar a temperatura, é retornada por 2 bytes, onde o MSB (*Most Significant Byte* – Byte Mais Significativo), contém a informação da parte inteira da temperatura, enquanto o LSB (*Less Significant Byte* – Byte Menos Significativo) contém a parte fracionária do valor da temperatura (os números após a vírgula). Em posse dessas informações, é possível determinar a quantidade de memória necessária para armazenar toda a informação, sem sofrer com falta de armazenamento.

Sendo 2 bytes lidos a cada 15 minutos, para armazenar os dados referentes a uma hora, são utilizados 8 *bytes*. Em um dia, 192 *bytes*. Logo, para 30 dias, 5760 *bytes* são necessários. Este é o valor para cada sensor, porém como o sistema é composto por 02 sensores de temperatura, são necessários 11520 *bytes*, ou 92160 *bits*. Desta forma, qualquer CI capaz de armazenar ao menos 92160 *bits*, se adequa ao sistema.

Os valores encontrados em memórias EEPROM, capazes de suprir a necessidade do projeto são: 128 *kbit*, 256 *kbit* e 512 *kbit*. Por simplicidade, o modelo com capacidade de armazenamento intermediário, 256 *kbit*, foi o escolhido.

O modelo da Microchip, mesmo fabricante do microcontrolador PIC16F877A, AT24C256C, é um CI de memória EEPROM de 256 *kbit*, com comunicação I2C. As informações do datasheet mostram que o componente possui: velocidade de comunicação de 100 kHz, 400 kHz e 1 MHz; entradas com filtro *Schmitt Trigger* para supressão de ruídos; opera com tensão entre 1,7 V a 5,5 V; corrente de *standby* de apenas 6 μA , e corrente em operação de 3 mA; ciclo de escrita máximo de 5ms e; é capaz de suportar 1000000 de ciclos de escrita e reter a informação por até 100 anos (MICROCHIP, 2020). Por simplicidade na hora da aquisição do componente, o encapsulamento SMD também foi escolhido para a memória EEPROM.

Como visto, as restrições na definição da escolha da unidade de memória foram: a forma de comunicação com o microcontrolador e armazenamento mínimo. Existem diversos outros modelos de memória EEPROM que são compatíveis eletricamente, e pino a pino, com o modelo AT24C256C, que podem ser usados sem maiores complicações no projeto.

3.2.5 Baterias e fontes secundárias

As baterias são dispositivos capazes de produzir corrente elétrica por meio de reações químicas de oxirredução reversíveis. Isto quer dizer que elas podem ser carregadas para continuar gerando energia. Com o avanço da tecnologia, cada vez mais os equipamentos eletrônicos estão sendo alimentados por baterias, uma vez que isso permite com que o aparelho seja portátil (TECMUNDO, 2015).

As principais tecnologias de baterias são: Chumbo-Ácido, Níquel-Cadmio (Ni-Cd), Hidreto metálico de Níquel (Ni-MH) e Íons de Lítio (Li-Ion). Apesar de existirem outras, estas são as mais populares.

As baterias de chumbo-ácido, são popularmente conhecidas por seu uso nos automóveis. Geralmente com tensões de 12 V, e altas correntes, estas baterias são grandes e pesadas, e capazes de fornecer uma grande quantidade de corrente. Sua composição as torna poluentes ao meio ambiente, pela composição de ácido e metais pesados. As baterias de Ni-Cd, foram amplamente utilizadas em eletrônicos nos anos 2000, além da sua composição com componentes nocivos ao meio ambiente, elas sofrem com o efeito memória, isto é, “ficam viciadas” e perdem sua capacidade de

fornecimento de corrente. As baterias de Ni-MH, são menos agressivas ao meio ambiente, e popularizaram o uso de baterias recarregáveis em eletrônicos. Por fim, as baterias de Li-Ion são as mais utilizadas atualmente na eletrônica. São leves, estáveis e seguras, não possuem efeito memória e são facilmente encontradas com diversas correntes. Para o uso na eletrônica, a tensão nominal das baterias é de 3,7 V (TECMUNDO, 2015).

No projeto deste trabalho, baterias são as responsáveis pelo fornecimento de energia para todo o sistema. Além de serem as mais populares e versáteis, as baterias de Li-Ion são pouco agressivas ao meio ambiente, podem ser recicladas e possuem fornecimento de corrente capaz de manter eletrônicos de baixo consumo em funcionamento por longos períodos de tempo. Além disso, estas baterias apresentam como principais atrativos, a grande vida útil e a ausência do efeito de degradação do ânodo e/ou eletrólito, que gera o efeito de memória, vício da bateria (WOLLINGER, 2020).

As baterias de Lítio apresentam tensão de trabalho em torno de 3,7 V, podendo ser associadas em série para se obter uma tensão de alimentação maior. Desta forma, a associação de 02 destas baterias em série, gera uma tensão em torno de 7,4 V enquanto a associação de 03 baterias gera uma tensão de 11,1 V. Ambos os valores podem ser usados no projeto, porém para a unidade de processamento, memória e sensores operarem, é necessário mais alguns níveis de tensão. Isso se dá pelo fato de que o microcontrolador PIC16F877A, necessita de 5V para realizar uma comunicação estável com a interface de saída (MICROCHIP, 2013a). A memória EEPROM AT24C256C, pode operar também com 5 V (MICROCHIP, 2020). Já o sensor de temperatura DS7505, necessita operar em uma tensão de 3,3 V. Estas duas demandas de tensões fazem com seja preciso duas fontes secundárias: 5 V e 3,3 V.

Para se obter as tensões adequadas para os componentes, é preciso de CIs reguladores de tensão. Estes podem ser lineares ou chaveados. Os reguladores de tensão chaveados apresentam a maior eficiência dentre os reguladores de tensão, atingindo até 95%. No entanto, estes componentes necessitam de um *hardware* adicional, que acaba se tornando complexo a implementação e, se mal dimensionado, diminui a eficiência e aumenta as perdas no sistema. Já os reguladores lineares, apesar de menor eficiência, apresentam baixo custo, são facilmente encontrados em lojas no país, e necessitam de apenas capacitores externos para estabilizar sua tensão, sendo assim, são de fácil utilização (MALVINO A.; BATES, D.J., 2016).

Desta forma, para regular a tensão das baterias para 5V, foi escolhido o regulador L7805CV da STMicroelectronics. Este regulador linear de 3 pinos mantém a tensão em sua saída fixa em $5\text{ V} \pm 0,25\text{ V}$, desde que a tensão em sua entrada esteja entre 7 V a 35 V. Além disso, apresenta uma corrente quiescente de 8 mA e, corrente de saída de até 1,5 A (STMICROELETRONICS, 2018).

De forma análoga, para a tensão de 3,3 V responsável por alimentar os sensores de temperatura DS7505, um regulador linear é o que melhor se adequa a aplicação. Para isto, o modelo AMS1117-3.3, da Advanced Monolithic Systems, é o componente utilizado. Este regulador, no encapsulamento SMD, mantém sua tensão de saída em $3,3\text{ V} \pm 0,02\text{ V}$, desde que a tensão de entrada esteja entre 4,8 V a 12 V. Apresenta uma corrente quiescente de 11 mA, e corrente de saída de até 1,5 A (ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS, 2007).

É importante ressaltar que a grande maioria dos fabricantes também fornecem reguladores de tensão, com características, muitas vezes, bem próximas dos modelos escolhidos. Com isso, é possível substituir os modelos escolhidos por um modelo equivalente sem alterações no circuito.

Por boas práticas, e também recomendações dos fabricantes, para uma tensão mais estável na saída dos reguladores e filtrar ainda mais possíveis ruídos, capacitores de 100 nF foram adicionados na estrada de ambos os reguladores, e capacitores de 22 μF , com encapsulamento SMD, foram colocados nas suas saídas. Desta forma, a regulação de carga do L7805CV deve permanecer abaixo de 100 mA e do AMS1117-3.3, abaixo de 10 mV (STMICROELETRONICS, 2018; ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS, 2007).

Por fim, com todos os blocos definidos, e seus componentes escolhidos, é possível dimensionar as baterias responsáveis pela alimentação do sistema. A Tabela 1 contém as informações de consumo de corrente de todos os componentes escolhidos.

É possível notar que o consumo do sistema é baixíssimo, somando um total de 39mA máximo de corrente consumida. Assim, para aguentar o período de 30 dias sem descarregar, uma bateria de Li-Ion com uma corrente de 9800mAh, é mais do que o suficiente. Este é o caso da bateria SD18650 da JYX. Esta apresenta tensão nominal de 3,7V e corrente de 9800mAh. Desta forma, a bateria pode fornecer corrente para alimentar o sistema por períodos até superiores a um mês. Por fim, o requisito mínimo de tensão de alimentação do L7805CV de 7V

(STMICROELECTRONICS, 2018), faz com que sejam necessárias 03 baterias para compor o pack de baterias do sistema.

Tabela 1 – Corrente máxima drenada pelos componentes.

Componente	Fabricante	Consumo Máx. de corrente
PIC16F877A	Microchip	16mA
AT24C256C	Microchip	3mA
DS7505	Maxim Integrated	750 μ A cada
L7805CV	STMicroelectronics	8,5mA
AMS1117-3.3	Advanced Monolythic Systems	10mA

Fonte: Aatoria própria (2022).

Por meio da Tabela 1, é possível notar que, as correntes que os reguladores de tensão podem fornecer (1,5 A), são bem superiores às correntes que os dispositivos drenam. Isso implica que os CIs não sofreram por aquecimento, o que é uma excelente característica para o circuito.

Apesar da corrente consumida pelos reguladores de tensão serem baixas, assim como, a de todo o sistema, estes reguladores, por serem lineares, apresentam eficiência expressa por (MALVINO A.; BATES, D.J., 2016):

$$Eficiência = \frac{V_o}{V_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

Sendo o sistema alimentado por 03 baterias, tendo alimentação de 11,1V, a eficiência do L7805CV fica, de acordo com a equação 1, em aproximadamente,

$$Eficiência = \frac{5}{11,1} \cdot 100\%$$

$$Eficiência = 45,04\% \quad (2)$$

Já para o regulador AMS1117-3.3, da mesma forma que em 2,

$$Eficiência = \frac{3.3}{11,1} \cdot 100\%$$

$$Eficiência = 29,73\% \quad (3)$$

Desta forma, a corrente total consumida fica,

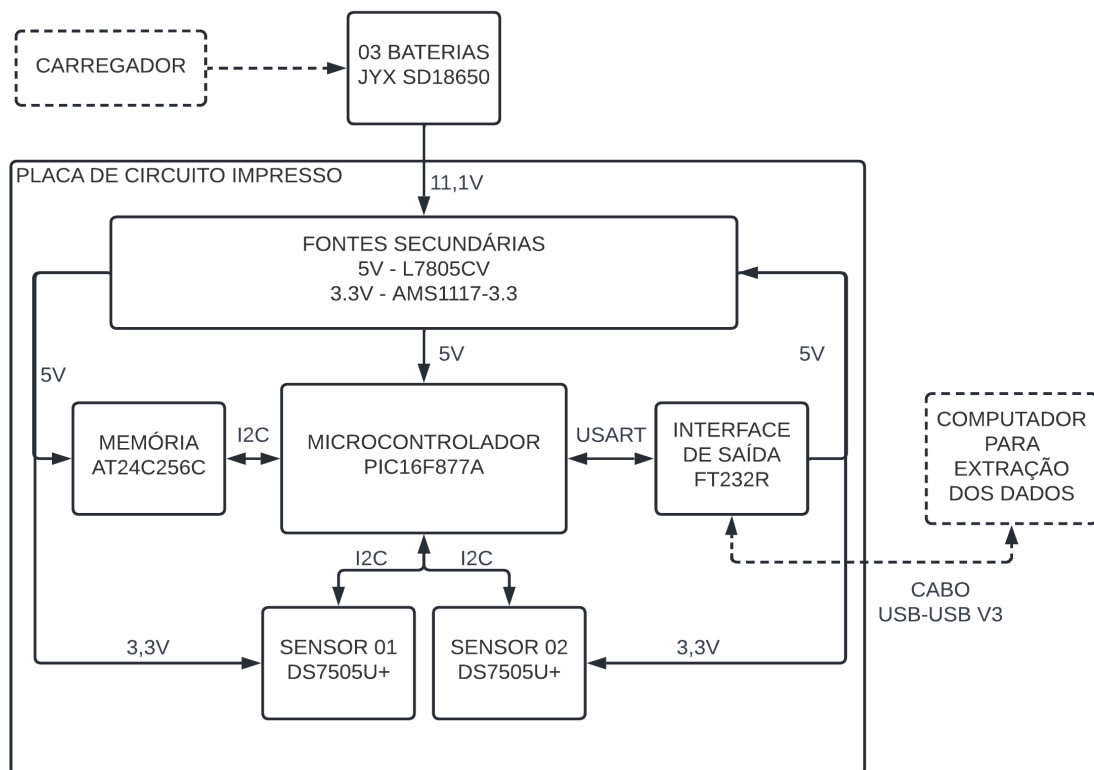
$$I_t = 1,55(16 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}) + 1,7[(750 \cdot 10^{-6}) \cdot 2] + (8,5 \cdot 10^{-3}) + (10 \cdot 10^{-3})$$

$$I_t = 53,6 \text{ mA} \quad (5)$$

Mesmo com as perdas dos reguladores, a corrente consumida pelo circuito continua baixa. Um detalhe válido de destaque, é o regulador de 3,3 V estar alimentado com a tensão das baterias, diminuindo a eficiência do circuito. Esta consideração foi realizada, devido ao fato de a tensão mínima para alimentação do AMS1117-3.3, ser de 4,7 V (ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS, 2007). Este valor, por ser muito próximo de 5 V, pode causar problemas na saída do regulador.

Além do mais, o módulo FT232RL não aparece na Tabela 1 pelo fato de que, quando conectado no sistema e na USB do computador, o próprio notebook alimenta o módulo e, conseqüentemente, o sistema. Desta forma, este não drena corrente das baterias para comunicar o computador externo.

Figura 3 – Diagrama de blocos detalhado após o estudo dos componentes.



Observações:

Os elementos representados e ligados com linhas tracejadas, representam elementos que não são fixos no sistema, apenas utilizados quando necessário.

Fonte: Autoria própria (2022).

Da mesma forma como os reguladores de tensão, existem diversos fabricantes de baterias de lítio que possuem baterias similares às escolhidas. Sendo assim, é possível substituir por outro modelo sem perdas no sistema.

Por fim, para carregar as baterias, existem diversos modelos disponíveis no mercado, desde modelos que carregam uma bateria individual, até modelos que carregam até 04 baterias. Desta forma, fica por conta de o usuário escolher qual carregador é mais conveniente para recarregar as baterias.

Após o estudo dos componentes descritos nesta seção, a Figura 2 pode ser apresentada de maneira mais detalhada, como mostra a Figura 3. Agora, com todos os componentes especificados e detalhados, o diagrama de bloco, que antes fornecia uma visão geral do sistema, agora possibilita uma vista com maior riqueza de informações, facilitando a interpretação do projeto.

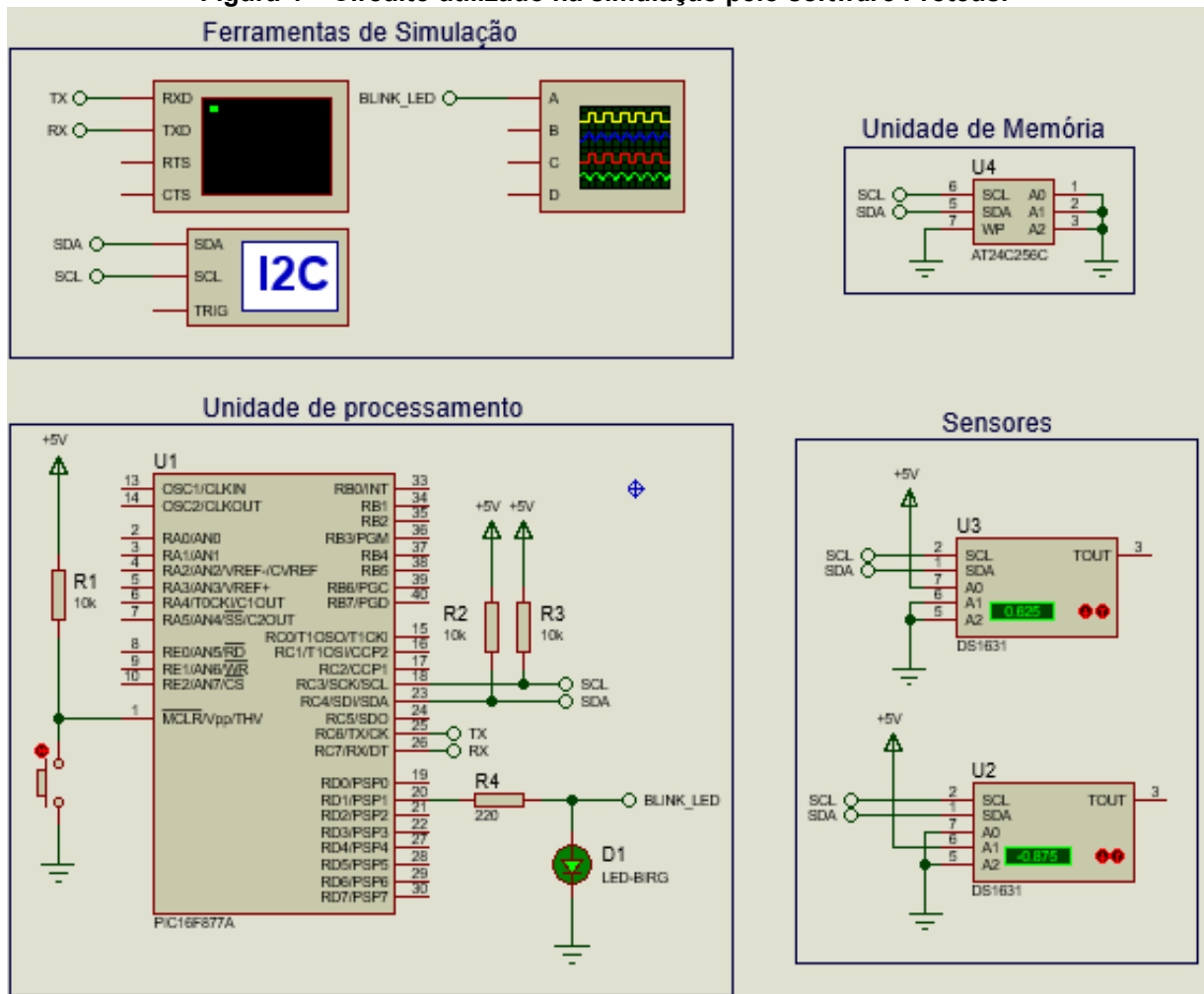
3.3 Simulação

No ramo da eletrônica, a simulação ajuda o projetista a entender o funcionamento do circuito que está sendo projetado. Por meio dela, é possível ter uma estimativa de níveis de tensão, corrente consumida, comportamento dos componentes, bem como observar o código desenvolvido, em funcionamento, sem a necessidade de se construir um *hardware* físico.

Esta etapa costuma anteceder o desenvolvimento de um protótipo. Isso ocorre devido ao fato de, por meio da simulação ser possível prever incoerências no *hardware*, para que, quando a etapa do protótipo tiver início, alguns erros sejam evitados. Em níveis mais elevados, é possível obter uma solução completa para um problema, podendo até tornar-se desnecessária a prototipação. No entanto, solução de alto nível de simulação exigem *softwares* complexos e que exigem máquinas dedicadas. Com isto, a simulação neste trabalho visa esclarecer o funcionamento prévio do sistema.

Desta forma, para a realização da simulação do projeto deste trabalho, a ferramenta VSM do *software* Proteus, foi utilizada para esta função. Com este programa, é possível realizar todo um projeto, desde a simulação, desenho de esquemático e *layout* da PCI. Neste trabalho, apenas a ferramenta VSM, responsável pela simulação, foi utilizada. Esta, por sua vez, é compatível com o microcontrolador escolhido para o projeto, o PIC16F877A.

Figura 4 – Circuito utilizado na simulação pelo software Proteus.



Fonte: Autoria própria (2022).

Com isso, foi possível testar e validar os conceitos de *hardware* estudados e desenvolvidos na seção Concepção do sistema. Além do mais, as primeiras configurações de PIC e também a comunicação com os demais componentes, memória e sensores, foi realizada, compreendida e testada por meio da simulação.

Esta etapa do projeto foi de suma importância para o seu desenvolvimento como um todo, pois foi possível validar a interação do PIC16F877A, realizando a contagem de tempo de 15 minutos, a comunicação via I2C com os sensores DS7505U+ e também com a memória AT24C256C, sendo possível simular a leitura dos dados e a gravação na EEPROM. Além disso, o Proteus ainda permite visualizar os comandos enviados por I2C. Este recurso da ferramenta ajudou muito no entendimento dos sinais presentes na comunicação por I2C.

É ainda válido destacar que, toda a programação do microcontrolador que opera o sistema foi desenvolvida em linguagem de programação C, e utilizado a *Integrated Development Environment* (IDE) – Ambiente de Desenvolvimento

Integrado – própria da Microchip, o MPLAB X. Como compilador, o XC8, também da Microchip, foi utilizado no sistema.

Na Figura 4, se encontra o setup montado no *software* Proteus para realizar a simulação. É possível notar que os sensores utilizados na simulação são de um modelo distinto do escolhido para o projeto. O sensor DS1631 é o modelo de sensor mais próximo com o DS7505, disponível na ferramenta. Com uma rápida análise no datasheet do componente da simulação, é possível perceber que este apresenta características muito semelhantes ao DS7505. A maior diferença entre os dois sensores, está na forma como se comunicam por I2C (MAXIM INTEGRATED, 2015b; MAXIM INTEGRATED, 2015c). Com isso, alguns comandos tiveram de ser desenvolvidos especialmente para a simulação. Apesar deste detalhe, as funções extras desenvolvidas foram úteis para uma melhor compreensão da comunicação I2C.

3.4 Prototipagem do sistema

Após a etapa de simulação validar a escolha dos componentes e, permitir a configuração inicial do sistema a fim de ver seu funcionamento em um ambiente virtual, o próximo passo é a prototipação.

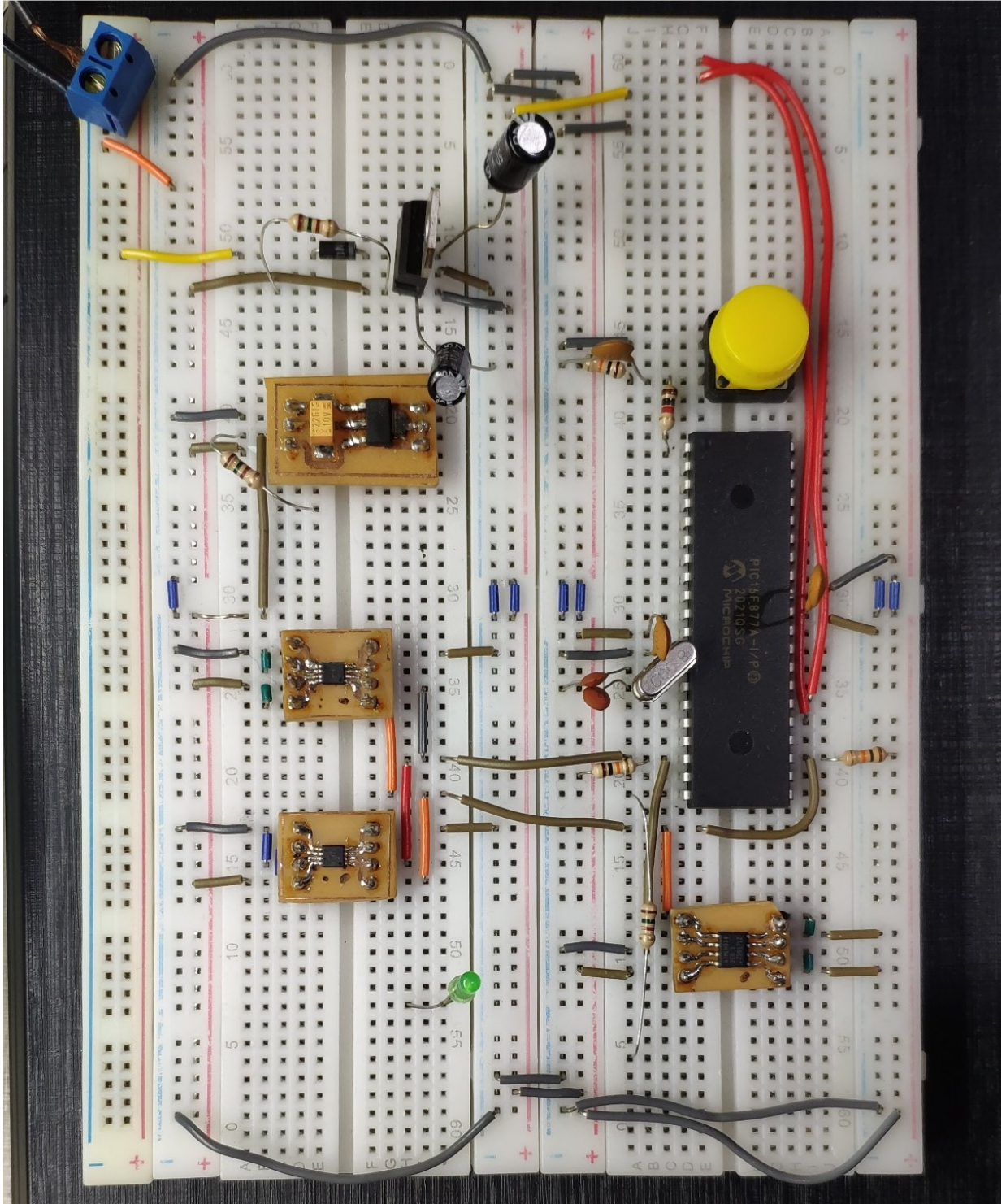
O protótipo é uma etapa importante no desenvolvimento de um projeto. Ele consiste em um modelo preliminar do projeto, sendo útil para testes, em questão de design e funcionalidades. Além disso, o protótipo ajuda a reduzir dúvidas e esclarecer funcionalidades importantes para o projeto (FLUXO CONSULTORIA, 2021).

Muito utilizado na eletrônica para a construção de protótipos para testar e validar funcionalidades, sem pensar no design, a protoboard é uma placa que possui furos e conexões internas permitindo a montagem de circuitos eletrônicos. A maior vantagem na utilização de uma protoboard, está no fato de os componentes não precisarem ser soldados na placa. Isto ocorre, pois, as conexões internas da placa ligam um furo ao outro. Desta forma, apenas inserindo os terminais dos componentes nos furos da protoboard, estes já se conectam entre si. Com isso, a montagem e desmontagem é muito simples, possibilitando testar e validar de forma simples, diversos circuitos e componentes eletrônicos (MULT COMERCIAL, 2020).

A maior desvantagem da protoboard, está no fato de ela não ser preparada para aguentar correntes elevadas em suas conexões e também, não ser possível conectar diretamente um componente SMD em seus furos. Como visto na seção 3.2.5, o consumo de corrente no circuito fica abaixo de 50 mA, o que é uma corrente baixa,

não sendo um problema para a protoboard. No entanto, os sensores DS7505U+, a memória EEPROM AT24C256C e o regulador de tensão AMS1117-3.3, bem como os capacitores de 22 μ F, foram escolhidos em encapsulamentos SMD.

Figura 5 – Circuito prototipado em protoboard.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para ser possível a prototipação completa do circuito, para os componentes SMD foram construídas 04 pequenas PCBs: 01 para a memória externa, 01 para o regulador de tensão e seu capacitor de filtro e outras 02, uma para cada sensor. Dessa forma, foi possível conectar todos os componentes na protoboard.

Além da validação de *hardware* a prototipagem se mostra efetiva para a comprovação de funcionamento de *software*. É por meio dela que é possível vislumbrar o primeiro funcionamento físico do sistema, fora de um ambiente virtual e sem as limitações da simulação. Este ponto é importante pois, por melhor que a ferramenta VSM, do *software* Proteus, seja, ainda existem limitações e alguns erros específicos que não somente são possíveis de encontrar, com a implementação física do dispositivo.

A Figura 5 é uma foto do protótipo desenvolvido do sistema. É possível notar que, além dos componentes da simulação, existem outros componentes externos necessários para o correto funcionamento do circuito. Além disso, é válido apontar que, para a gravação do código no PIC16F877A, foi utilizado o gravador PICKit 3, também da fabricante Microchip. O interessante deste dispositivo é que ele permite *In-Circuit Serial Programming* (ICSP) – Gravação Serial No-Circuito –, isto quer dizer que, não é preciso retirar o microcontrolador da protoboard para gravá-lo, apenas conectar os PICKit 3 corretamente no circuito e utilizar o comando da própria IDE para isto (MICROCHIP, 2013b). Além, o programador se conecta no computador via USB. O dispositivo possui um conector USB V3, o mesmo da interface de saída.

Outro detalhe importante é a presença de diversos capacitores cerâmicos no circuito. No protótipo foi colocado um capacitor de 100nF, entre os pinos de alimentação do microcontrolador. Este processo ajuda a reduzir possíveis ruídos que interfiram no correto funcionamento do circuito. Além disso, os capacitores do regulador de tensão L7805CV são de 47 μ F, tanto na entrada quanto na saída. Os valores são distintos dos especificados na seção 3.2.5, por simplicidade na hora da construção do protótipo.

Por fim, para realizar a função das baterias, de alimentar o sistema, foi utilizado uma fonte genérica de 12 V, apenas por facilidade de conexão na protoboard. Além disso, um *Light-Emitting Diode* (LED) – Diodo Emissor de Luz – conectado ao pino 20 do PIC16F877A realiza a função de demonstrar que o dispositivo está operando. Para este fim, na programação foi criada uma função que faz o LED piscar uma vez por segundo.

3.5 Aferição do sistema

Tão importante quanto ter o protótipo montado e funcionando, é assegurar que a leitura e interpretação, realizada pelos sensores e microcontrolador, estão sendo efetuadas corretamente. Apesar de o sensor de temperatura DS7505U+, já ser calibrado de fábrica (MAXIM INTEGRATED, 2015c), ainda é interessante realizar um teste de aferição do sistema, para verificar se a comunicação entre o PIC16F877A e o sensor de temperatura DS7505U+, está sendo realizada corretamente e, principalmente, se o microcontrolador está interpretando os dados corretamente.

Para ser possível definir que as medições estão de acordo com a realidade, foi realizada a aferição através do processo de comparação com um padrão de referência. O dispositivo padrão utilizado foi o termômetro digital de 4 canais MT-1044, da Minipa. Este dispositivo consiste em um medidor de temperatura portátil de 4 canais, com um grande *Liquid Crystal Display* (LCD) – Tela de Cristal Líquido – que permite tanto a visualização dos dados, como também a gravação em um cartão de memória, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (MINIPA, c2016).

De acordo com Sereno e Sheremetieff Jr., (2009), para a verificação de um instrumento de medição pelo método de comparação, ocorre por

Mede-se um mesmo objeto, que pode ser um produto ou um padrão, comparando-se os resultados encontrados e determinando-se a diferença. [...] É importante [...] a realização de pelo menos 5 leituras com cada instrumento para que se possa analisar a média entre elas, bem como o comportamento da dispersão entre os resultados (SERENO; SHEREMETIEFF, 2009, p.3).

Desta forma, para o teste, foram realizadas medições com o MT-1044 e também com o dispositivo prototipado, comparado seus resultados e adequando o *software* com os valores da aferição.

3.6 Confecção da PCI

Existem diversas formas de se fazer uma PCI, desde técnicas simples e de baixo custo, até métodos complexos e que envolvem mais recursos e ferramentas. Também é possível utilizar serviços de empresas especializadas na confecção de PCIs, tanto para protótipo quanto para uso profissional. Para o intuito do projeto, a placa foi desenvolvida com a técnica de transferência térmica.

O método de transferência térmica para a confecção de placas de circuito impresso, consiste em imprimir o *layout* desenvolvido para a PCI, e transferi-lo para

uma placa de cobre, utilizando o calor. Primeiramente, é necessário imprimir camada que contém as trilhas do circuito em um papel *Glossy*, ou fotográfico, com uma impressora laser (MARTINS, 2011).

Na sequência, corta-se a placa de cobre, que pode ser fenolite ou fibra de vidro, no tamanho do *layout* desenvolvido. Após, posiciona-se o papel com as trilhas sobre a placa de cobre. Utiliza-se, geralmente, um ferro de passar roupas para transferir o desenho contido na folha, para a placa de cobre. Por fim, retira-se o papel com cuidado da placa. Caso ocorra de alguma trilha falhar na transferência, é possível utilizar uma caneta permanente para realizar os retoques (MARTINS, 2011).

Alguns detalhes são importantes ao se realizar o método. De início, é importante que a impressão seja feita no lado brilhoso do papel, pois este não absorve totalmente o toner da impressora, facilitando a transferência para a placa. Além disso, é importante limpar a camada de cobre da placa, após cortada, e antes de posicionar o papel. Isto é necessário para retirar sujeiras e impurezas da camada de cobre, melhorando a transferência e evitando corrosão. Comumente utiliza-se palha de aço para esta função.

Por fim, ao utilizar o ferro de passar roupas para transferir o *layout* do papel para a placa, deve-se passar o ferro de forma suave sobre o papel, de modo a aquecê-la uniformemente. Em especial, as bordas da placa costumam ser a região de maior quantidade de falhas, então é interessante ter uma atenção especial para isto. Geralmente, entre 2 e 5 minutos são o suficiente para transferir de forma adequada o desenho para a placa. Ao retirar o papel, é comum a placa estar quente, então é preciso atenção e cuidado redobrados (MARTINS, 2011).

Uma vez que a placa de cobre já esteja com as trilhas, utiliza-se Percloroeto de Ferro para correr o cobre das regiões onde não possui tinta. Para isto, o composto deve ser colocado em um recipiente de vidro, ou plástico, e a placa de cobre inserida no mesmo. Com uma leve agitação o processo de corrosão ocorre mais rápido. Por fim, após cerca de 10 a 15 minutos, pode-se retirar a placa do Percloroeto, lavar com detergente e palha de aço. É importante o uso de EPI (Equipamento de Proteção Individual) adequado, uma vez que o Percloroeto é um composto corrosivo (IMPLASTEC, c2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez que todo sistema foi testado em protótipo e simulação, é possível comparar e analisar os resultados obtidos em simulação, com a calibragem. Neste ponto, finalmente, é possível projetar um esquema definitivo e, também, desenvolver a placa de circuito impresso para o sistema.

Dessa forma, nesta seção são apresentados: o resultado da simulação, o resultado da calibragem, o esquema elétrico definitivo, *layout* da PCI, a confecção da placa de circuito impresso e, por fim, os testes finais na placa finalizada.

4.1 Resultado da simulação

Com o circuito simulado no *software* Proteus e com o uso da ferramenta VSM, como abordado em Simulação, foi possível obter resultados que validam, principalmente, o funcionamento de *software* do sistema.

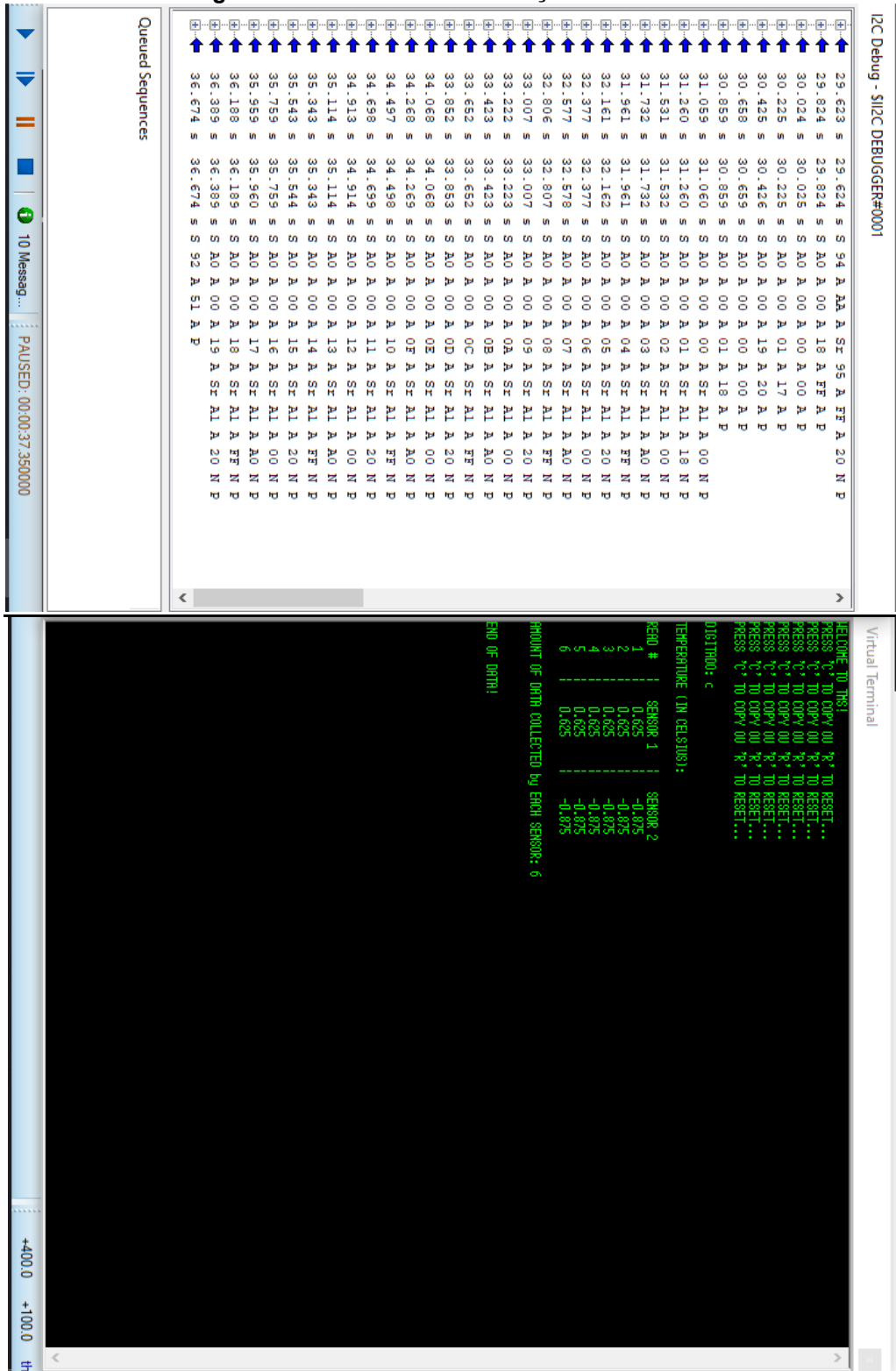
Observando a Figura 6 – Resultado da simulação do sistema., existem alguns pontos importantes e válidos de análise. O primeiro deles, é a própria saída do sistema. O componente Monitor Serial da ferramenta VSM, do *software* Proteus, permite simular uma saída serial, apresentando os dados enviados do microcontrolador via UART. Esta apresenta os dados em formato que se assemelha a uma tabela. Este formato de apresentação dos dados foi pensado com o intuito de facilitar a exportação dos dados em uma ferramenta de análise adequada. Desta forma, torna-se mais fácil copiar os dados e cola-los, já em forma de tabela.

Outro ponto de destaque são os valores lidos pelos sensores. Os valores podem ser escolhidos no próprio Proteus, sendo simples variar entre os mais diversos valores. Os valores mostrados na Figura 4, no próprio sensor, e presentes na Figura 6, que foram lidos pelo microcontrolador e apresentados na interface de saída, foram escolhidos com o intuito de validar a leitura de temperaturas negativas e também, menores que 1°C. Isto se deve ao fato de os valores menores que 1°C conterem somente parte fracionária da temperatura.

Desta forma, de acordo com o *datasheet* do componente, apenas o segundo *byte* enviado pelo sensor contém informações, o MSB contém apenas zeros. Já o valor negativo de temperatura, foi escolhido para verificar o tratamento do código com estes valores. O *datasheet* também informa que estes valores negativos são enviados em complemento de 2, uma das formas de se representar valores negativos em

linguagem de máquina. Desta forma, o tratamento destes valores na programação também é específico.

Figura 6 – Resultado da simulação do sistema.



Fonte: Autoria própria (2022).

É interessante notar também, o componente I2C *Debugger*. As informações apresentadas nesta ferramenta indicam os sinais enviados via protocolo I2C. Nela, a letra 'S' representa o sinal de *Start* da comunicação no barramento; a letra 'A' o sinal de *Acknowledge*, representa que o dispositivo recebeu o sinal enviado pelo microcontrolador e o reconhece como sinal válido; o 'Sr' representa o *Repeated Start*, e a letra 'P', o sinal de *Stop*. Além disso, a ferramenta também mostra quanto tempo os comandos levaram para serem enviados. É possível perceber que, o intervalo entre uma leitura e outra é bem curto. Isto corre pois, na simulação, para simplificar os testes, o intervalo de tempo entre uma leitura e outro foi reduzido para 04 segundos.

Desta forma, o I2C *Debugger* se mostrou de imensa utilidade para a simulação, pois permite uma visualização de detalhes do funcionamento, que não são possíveis, ou são de difícil aquisição, dentro do próprio *software*.

Todos os detalhes que podem ser observados na Figura 6, são resultados gerados pela simulação realizada no *software* Proteus. Desta forma, é possível entender a importância, e benefícios, de se utilizar uma ferramenta de simulação durante o desenvolvimento de um projeto.

4.2 Resultado da aferição

O processo de calibragem, descrito na subseção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, se mostra importante para um dispositivo de coleta de dados, mesmo utilizando um sensor que já é calibrado de fábrica (MAXIM INTEGRATED, 2015c). Dessa forma, pelo método descrito na mesma seção, os resultados obtidos pela aferição realizada são mostrados na Tabela 2. É interessante notar que os valores medidos pelo sistema desenvolvido e também com o termômetro digital MT-1044, possuem grande semelhança.

Tabela 2 – Resultado da aferição.

SISTEMA DESEVOLVIDO		MT-1044	
Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)
25,000	25,000	24,8	24,7
26,000	26,000	26,6	26,5
27,000	27,000	26,7	26,6
28,000	28,000	28,3	28,2
29,000	29,000	29,9	29,3
30,000	30,000	29,9	29,8

Fonte: Autoria própria (2022).

Apesar de uma pequena variação entre as medidas dos aparelhos, o que é esperado, é possível perceber que as temperaturas condizem.

Isso confirma que o sensor utilizado no projeto está funcionando corretamente, de acordo com as especificações do fabricante, e também que o microcontrolador interpreta os dados de forma correta, validando a programação desenvolvida.

4.3 Esquema elétrico definitivo

Após uma cuidadosa concepção do sistema, um detalhado estudo dos componentes, do sistema ter sido simulado, prototipado e calibrado, foi possível desenvolver uma versão definitiva do esquema elétrico do sistema.

Para esta etapa do desenvolvimento, o *software* de Eagle foi utilizado. Este programa é da desenvolvedora AutoDesk e, é especializado no desenvolvimento de diagramas esquemáticos e desenhos de *layouts* de placas de circuito impresso. Além disso, a criação de bibliotecas de componentes é fácil de se utilizar, permitindo a criação do desenho do componente no esquemático, seu *footprint* na PCI e também seu modelo 3D. Desta forma, o *software* permite a criação completa de todas as etapas do desenvolvimento de uma PCI.

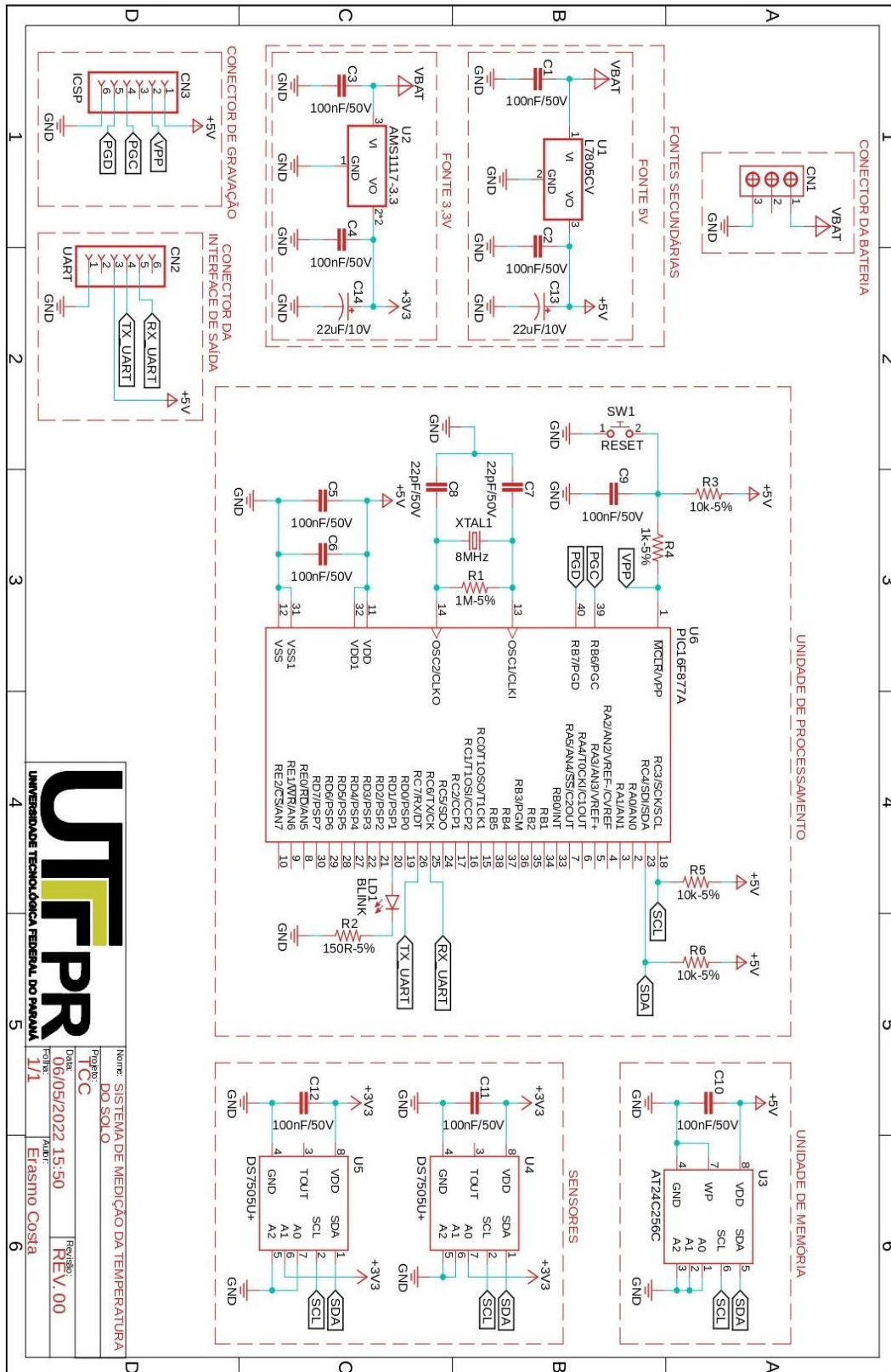
A Figura 7 apresenta o diagrama esquemático completo, desenvolvido com o uso do Eagle. Para uma melhor compreensão, o esquemático está dividido em blocos, seguindo os diagramas de blocos apresentados na Figura 2 e na Figura 3.

Existem diversos pontos interessantes e válidos de destaque presentes na Figura 7. Primeiramente, os capacitores de 100 nF (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C10, C11, C12) presentes entre os pinos de alimentação de todos os componentes (conhecidos com capacitores de desacoplamento), possuem a função de, da mesma forma que nos reguladores de tensão, filtrar possíveis ruídos que possam surgir nas trilhas de alimentação. Estes ruídos tendem a atrapalhar o funcionamento de componentes mais sensíveis, como microcontroladores e sensores. Desta forma, o uso destes capacitores, além de serem importantes, também é uma boa prática na eletrônica.

Outro ponto de análise é o circuito de *reset* do sistema. O botão de toque 'SW1', quando pressionado, reinicia o sistema. Todo o circuito ao seu redor (R3, R4 e C9), foram dimensionados seguindo recomendações do fabricante. Da mesma forma os capacitores e resistor do circuito oscilador (C7, C8 e R1) (MICRCHIP, 2013a). O valor do cristal oscilador (8 Mhz), foi escolhido dentro do limite de operação do

PIC16F877A, que no máximo é 20Mhz (MICRCHIP, 2013a), sendo um valor comercial facilmente encontrado.

Figura 7 – Esquema elétrico definitivo desenvolvido no software Eagle.



Nome: SISTEMA DE MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO		Projeto: TCC
Date: 06/05/2022 15:50	Auto: ERASMO COSTA	Revisão: REV.00
Folha: 1/1		

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resistores 'R5' e 'R6', possuem a função de *pull-up*. Isto implica que estes componentes são responsáveis por manter as linhas *Serial Data* (SDA) – Dados Seriais – e *Serial Clock* (SCL), em nível lógico alto, enquanto estas não estiverem ativas. O uso destes resistores também são recomendações do fabricante (MICROCHIP, 2013a). Comumente, o valor de 10 k Ω é o mais utilizado na eletrônica, sendo um valor padrão. Porém, o valor deste componente depende do nível de tensão, variando de 4,7 k Ω a 100 k Ω , para executar esta função.

Mais um detalhe relevante, são os endereços dos componentes que se comunicam pela interface I2C. Tanto os sensores DS7505U+, quanto a memória EEPROM AT24C256C, possuem 03 pinos (A0, A1 e A2) que servem para endereçar o componente no barramento I2C. O endereço escolhido para a memória foi 0 (0b000), enquanto para os sensores foram, 1 (0b001) e 2 (0b010). Estes poderiam variar de 0 a 7 e, foram de forma a se tornarem convenientes, tanto na programação, quanto no desenho da PCI.

O LED 'LD1', da mesma forma da simulação e do protótipo, possui a função de sinalizar que o sistema está operando, piscando a cada 1 segundo. Pensando em relação à bateria, na programação, o valor que antes era de 1 segundo, passou a ser apenas ao iniciar o sistema e quando uma leitura é realizada, piscando uma vez a cada 15 minutos.

Por fim, os conectores de gravação e também da interface de saída, são do modelo barra de pinos fêmea, de 06 vias, enquanto o terminal utilizado para as baterias é um borne de 3 vias.

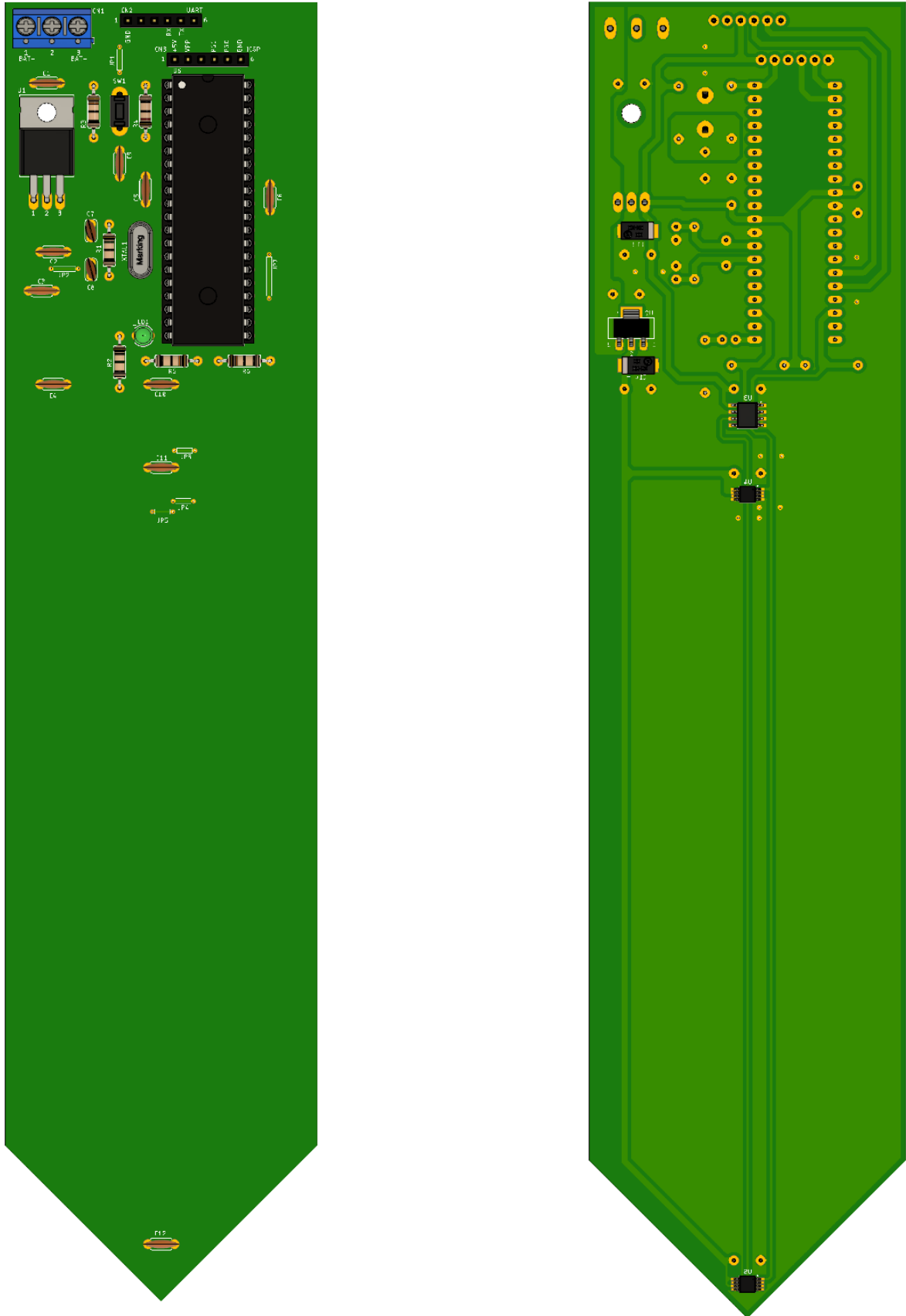
Desta forma, com o diagrama esquemático completo definido e todos os componentes dimensionados, é possível desenhar as PCI do sistema.

4.4 Layout da placa de circuito impresso

Uma vez que o esquema elétrico está em sua versão definitiva, é possível realizar *layout* da placa de circuito impresso. Como citado na subseção 4.3, para o desenvolvimento da PCI, o *software* Eagle foi utilizado.

O desenho das trilhas de uma placa eletrônica, pode ser um trabalho monótono e complexo, porém essencial. Para o desenvolvimento da placa do sistema, o primeiro passo foi posicionar os componentes. Uma vez que a placa possui algumas restrições em relação a distância de alguns componentes, estes são, os sensores, estas limitações servem de guia inicial para o *layout*. Desta forma, o sensor

Figura 8 – a) Face superior da PCI projetada. b) Face inferior da PCI projetada.



Fonte: Autoria própria (2022).

'U5' foi fixado como o sensor 15 cm abaixo do nível do solo, enquanto 'U4', o responsável por medir a temperatura no nível do solo, como indicado na Figura 1. Assim, estes foram os dois primeiros componentes com posições definidas.

Na sequência, os demais componentes foram dispostos 2 cm acima do sensor mais elevado, seguindo algumas condições simples. Estas foram: circuito oscilador e reset, serem posicionados o mais próximo possível ao microcontrolador; conectores posicionados em posições convenientes à aplicação, uma vez que necessitam de interação com o usuário e, o conector de gravações, o mais próximo dos pinos de gravação do PIC16F877A; capacitores de 100 nF, posicionados próximos a seus respectivos componentes, e próximos aos pinos de alimentação destes e; PCI de apenas uma camada (camada simples), por facilidade de confeccionar a placa por métodos artesanais e, quando necessários, utilizar *jumpers*.

Desta forma, com estas observações, o *layout* da PCI do sistema é apresentado na Figura 8a e Figura 8b. A vista em 3D da placa é gerada pelo próprio Eagle, e editável pelo *software* Fusion 360, também da AutoDesk.

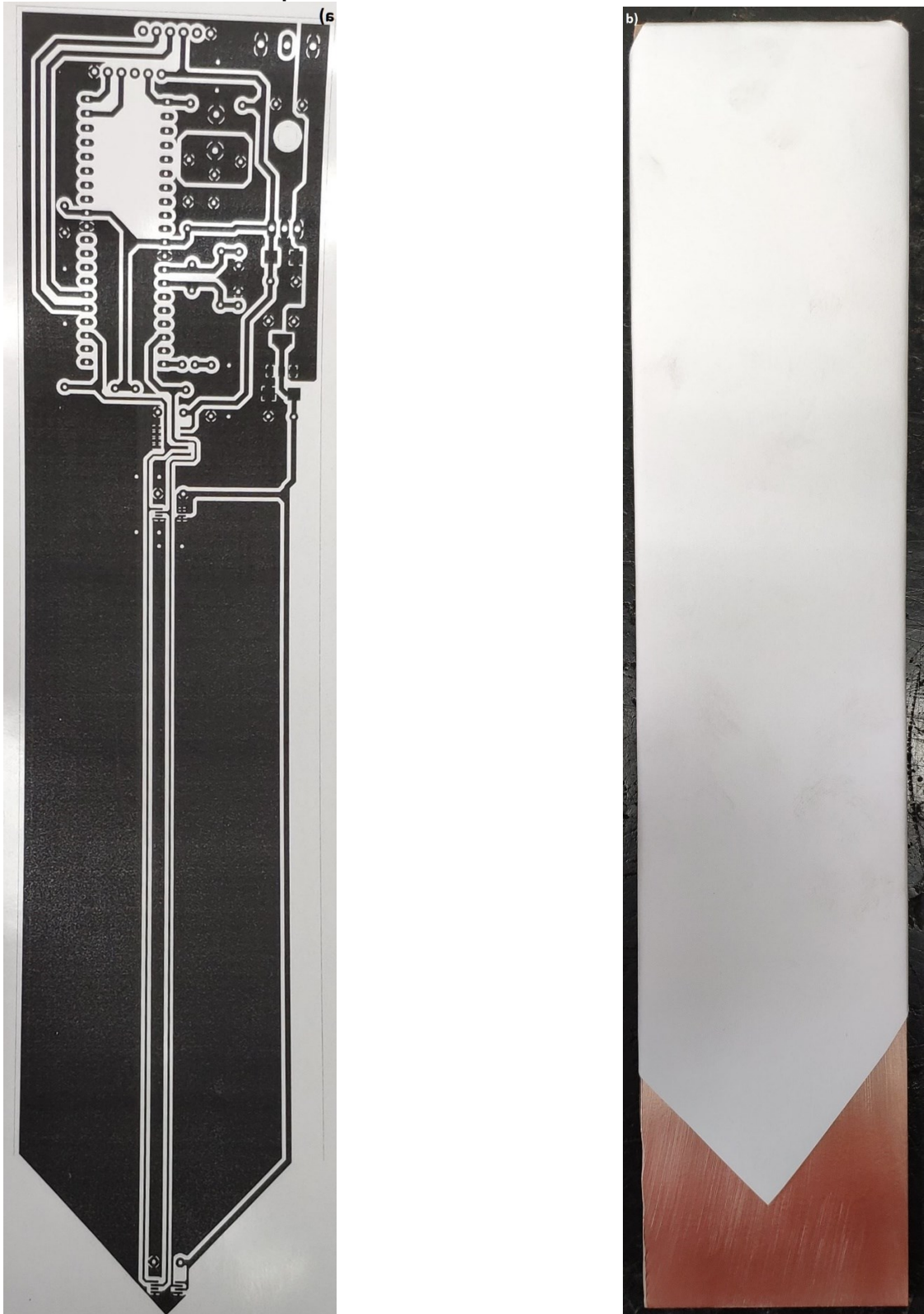
É interessante perceber que a placa se mantém bem compacta, apesar da distância entre os sensores. Desta forma, apresenta uma maior densidade de componentes da região superior, uma vez que esta parte se mantém fora do solo. Além disso, seu formato seguiu a mesma ideia utilizada por Wild *et al.* (2019), que objetiva facilitar sua inserção no solo, com formato favorável para tal aplicação. Por fim, é interessante perceber que, apesar de ser de camada simples, há componentes soldados em ambos os lados da PCI, onde os componentes SMD estão todos na face inferior. Além disso, foram necessários 05 *jumpers* para conectar o sinal de GND em todos os componentes do circuito. E também, uma malha de terra engloba toda a PCI.

4.5 Confeção da placa de circuito impresso

Uma vez que todos os componentes são posicionados e todas as trilhas desenhadas, o *layout* da PCI está completo e, já é possível confeccionar a placa. Com o método descrito na subseção 3.6, o *layout* desenvolvido no *software* Eagle, apresentado em 4.4, a PCI foi fabricada.

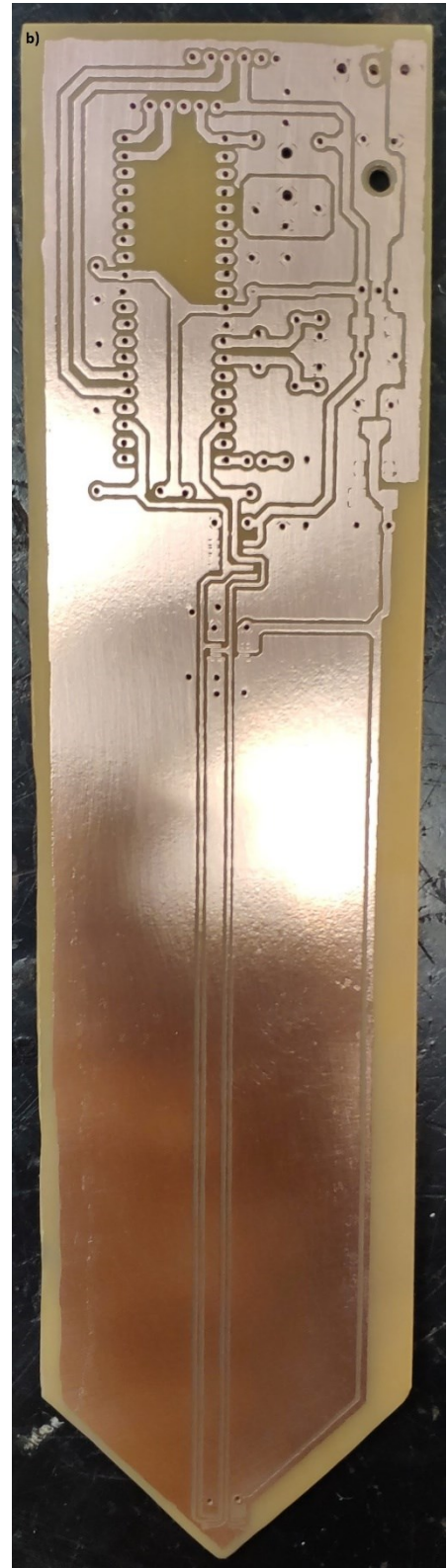
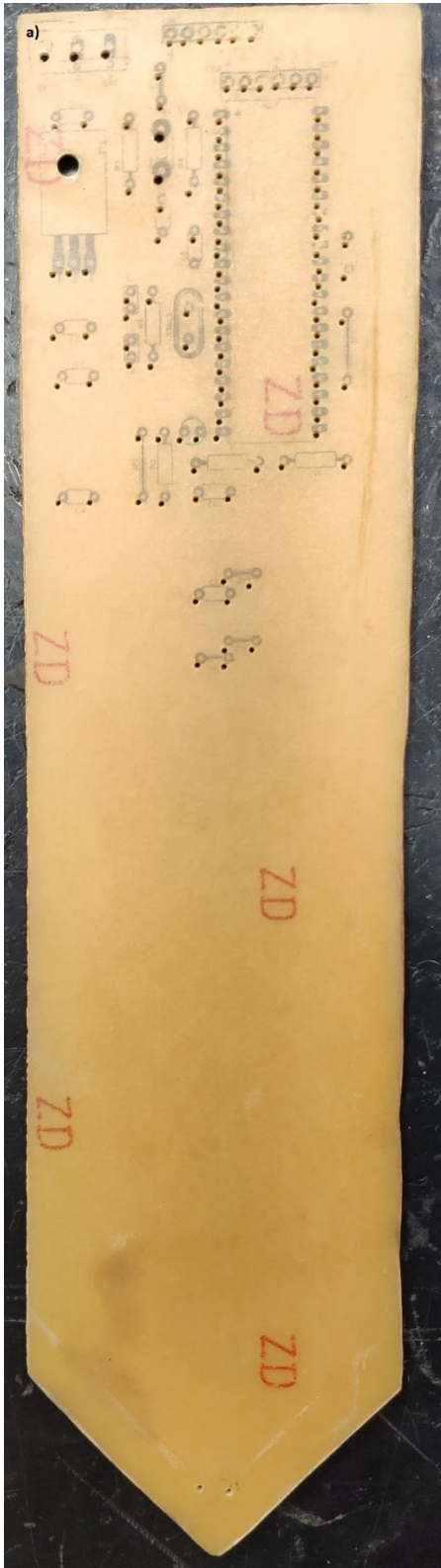
A Figura 9a e Figura 9b mostram etapas da transferência térmica realizada na confecção da PCI do sistema. A Figura 10a e Figura 10b ilustram o resultado da corrosão da placa e a Figura 11a e Figura 11b, apresentam a placa de circuito impresso finalizada e com

Figura 9 – a) Impressão das trilhas da PCI impressas em papel fotográfico. b) Parte do processo de transferência térmica.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 10 – a) Face superior da placa corroída. b) Vista inferior da placa corroída.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 11 – a) Face superior da placa finalizada. b) Vista inferior da placa finalizada.



Fonte: Autoria própria (2022).

todos os componentes soldados. Após a placa ser corroída, e antes da soldagem dos componentes, duas camadas de verniz foram aplicadas em ambos os lados da PCI, com o intuito de proteger a placa de oxidação. O verniz também é o responsável por gerar o aspecto brilhoso da PCI que pode ser visto nas Figura 11a e Figura 11b.

4.6 Testes finais

Finalmente, com a PCI feita de forma artesanal e a programação funcionando adequadamente, após todas as etapas de desenvolvimento, é possível realizar os testes finais em laboratório, no sistema.

Além do próprio funcionamento do sistema, alguns sinais são interessantes de serem observados e analisados. O primeiro deles é a tensão das baterias, uma vez que quando carregadas as baterias de lítio apresentam carga de 4,2V, a tensão de entrada do sistema deve ser acima dos 11,1V previstos em Baterias e fontes secundárias. As tensões de saída dos reguladores também são valores de interesse, para comprovar que o dimensionamento dos reguladores e seus capacitores de filtro, também descritos em Baterias e fontes secundárias, estão corretos. Além disso, a corrente consumida pelo sistema é um parâmetro válido de análise. A Tabela 3 contém os dados referentes a tensão de entrada do sistema, tensões de saída dos reguladores e corrente consumida pelo sistema.

É interessante perceber que, como descrito em detalhes na subseção 3.2.5, com o dimensionamento efetuado para os componentes, a corrente de consumo esperada é de 53 mA. No entanto, a corrente se mostra bem abaixo do esperado e previsto na Tabela 1.

A Tabela 3 mostra os valores de tensões e corrente encontrados no sistema, após a montagem completa da placa. Em primeiro lugar, a corrente consumida na apresentada Tabela 3 se refere a corrente no momento da leitura dos sensores de temperatura. Como o microcontrolador não utiliza de todos os periféricos, a corrente consumida pelo PIC16F877A, é ainda menor do que o apresentado na Tabela 1. Além disso, pode-se analisar que a tensão dos reguladores é precisa e estável. Desta forma, o sistema se mostrou ainda mais eficiente que o previsto.

Figura 12a, 12b, e 12c, mostram sinais enviados do computador ao microcontrolador, via módulo UART, após a interpretação e adequação de níveis de tensão realizados pelo módulo FT232R. É interessante perceber que pequenas mudanças em alguns pulsos representam uma letra diferente e possuem interação diferente com o sistema.

Na mensagem que o sistema envia a cada 15 minutos, juntamente quando o LED pisca, é possível identificar os comandos aceitos pelo sistema. Estes são os dados recebidos via UART, e identificados nas Figura 12a, 12b, e 12c. O comando 'C' (*copy*), retorna os dados coletados pelos sensores; O comando 'R' (*reset*), apresenta uma mensagem pedindo confirmação de *reset* sistema, e avisa o usuário que todos os dados serão perdidos. Nesta etapa, o usuário pode digitar 'Y' e para confirmar o *reset* e apagar todos os dados, ou 'N' para cancelar o *reset*, fazendo com que o sistema volte para sua operação normal.

Por fim, a Figura 13, apresenta as saídas do sistema. É possível analisar a apresentação dos dados, bem como a mensagem inicial do sistema, a mensagem de reset do sistema e, por fim mostra o circuito sendo resetado.

Desta forma, é possível identificar que o sistema apresenta uma interface de saída simples, porém com todas as funcionalidades necessárias para o correto funcionamento do projeto. Além disso, os dados são apresentados em formato semelhante com uma tabela, facilitando a exportação dos dados. Por fim, os sensores apresentam leitura precisa e confiável.

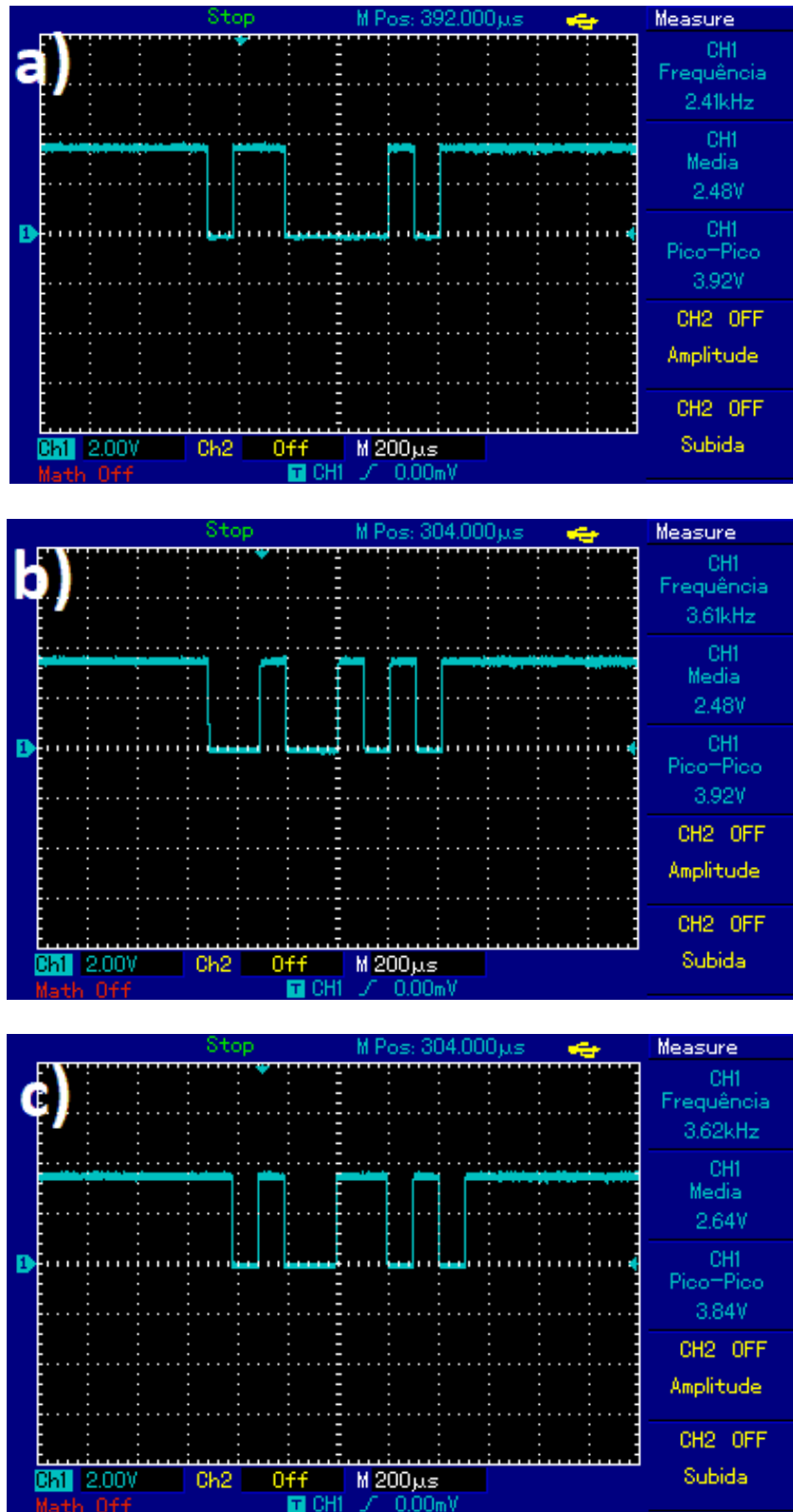
Para a comunicação com o computador, utiliza-se o programa Putty. Este consegue, além de outras funções realizar a comunicação serial com dispositivos conectados em alguma porta USB do computador. Além disso, o Putty aceita os comandos do teclado do *notebook* e os envia de forma serial.

Tabela 3 – Tensões e consumo do sistema.

Tensão de Entrada	Tensão de saída L7805CV	Tensão de saída AMS1117-3.3	Corrente consumida
12,42 V	5,02 V	3,32 V	16,5 mA

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 12 – Sinais analisados com osciloscópio. a) Comando 'C', para copiar os dados. b) Comando 'R', para resetar o sistema. c) Comando 'Y', para confirmar o reset.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 13 – Resultado da saída do sistema.

```
PUTTY (inactive)
WELCOME TO TMS!
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...
PRESS 'C' TO COPY OU 'R' TO RESET...

DIGITADO: c

TEMPERATURE (IN CELSIUS):

READ # | SENSOR 1 | SENSOR 2
  1 | 23.500 | 23.625
  2 | 23.500 | 23.625
  3 | 23.500 | 23.625
  4 | 23.500 | 23.625
  5 | 23.500 | 23.625
  6 | 23.500 | 23.625
  7 | 23.500 | 23.500

AMOUNT OF DATA COLLECTED by EACH SENSOR: 7

END OF DATA!

DIGITADO: r

ARE YOU SURE YOU WANT TO RESET?
ALL DATA WILL BE ERASED (THERE IS NO WAY TO RETURN)

PRESS 'Y' TO CONFIRM OR 'N' TO CANCEL...

DIGITADO: y

RESETTING TMS. PLEASE WAIT...
.....
TMS RESETE!
```

Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista o exposto neste trabalho, é possível concluir que, o desenvolvimento de um circuito eletrônico não é uma tarefa simples que, além de precisar de várias etapas até ser concluído, existem diversas considerações que devem ser feitas e decisões que devem ser tomadas. O mais importante, antes que cada etapa seja realizada, é ter uma concepção clara do que deve ser o sistema. Isto é de extrema relevância pois, é a partir deste entendimento que todas as escolhas, que definem o sistema, devem ser tomadas. Desta forma, a etapa inicial de definir o que será projetado, é um ponto crítico do desenvolvimento. Além do mais, os estágios da elaboração do projeto são, em sua maioria, sequenciais. Esse fato faz com que o processo seja mais complicado, demandando um maior tempo do projetista.

Apesar disto, existem diversas ferramentas que podem auxiliar na construção do projeto eletrônico. Além de instrumentos de uso comum de um engenheiro em eletrônica, como multímetro, osciloscópio e fontes de bancada, programas de computador dedicados ao desenvolvimento eletrônico são diferenciais na formação do projeto. No caso deste trabalho, tanto o Proteus, quanto o Eagle foram determinantes para se obter os resultados favoráveis. O primeiro dos *softwares*, utilizado para simulação, tornou possível uma visão prévia do sistema, antes de mesmo de se adquirir os componentes estudados para o sistema. Esta etapa determinou e validou grande parte dos conceitos pensados anteriormente. Já o Eagle foi primordial para o desenvolvimento de uma PCI robusta e funcional para comportar todo o sistema projetado.

Além dos pontos citados, a construção de um protótipo foi de grande valia para se ter o primeiro contato com os componentes escolhidos, com o mínimo de trabalho, sendo necessários apenas pequenas PCIs auxiliares e poucos pontos de solda. Por fim, a aferição é um ponto importante do desenvolvimento, servindo para atestar que, tudo o que vem sendo elaborado, esteja funcionando de acordo com a realidade. Além do mais, a montagem final da placa, desde o projeto no Eagle, até a solda dos componentes, construiu uma placa de acordo com as especificações, que se mostrou mais eficiente na prática e que atende todos os requisitos e concepções iniciais.

Desta forma, além de agregar conhecimentos essenciais no mercado de trabalho no ramo da eletrônica, todo o desenvolvimento do projeto agrega ao escopo

do engenheiro como um todo. Além disso, o sistema desenvolvido pode ser utilizado para aplicações em campo, para se levantar dados de microclima, essenciais para análises precisas de dados climáticos.

Com isso, pode-se analisar que todos os objetivos específicos propostos em 1.1.2, foram atingidos, uma vez que, como pode ser evidenciado no decorrer do trabalho, foram analisados os sensores de temperatura disponíveis no mercado, definido o elemento de memória, dimensionado o *pack* de baterias. O sensor de temperatura, DS7505U+, memória EEPROM AT24C256C e as baterias SD18650, são a realização dos objetivos definidos.

Indo além, os dados apresentados na subseção 4.1, atingem os objetivos esperados pela simulação. O protótipo apresentado em 3.4 valida a ideia da montagem do protótipo, que também é evidenciado em 4.3 com o esquema definitivo. A aferição do sistema mostrada em 3.5 e 4.2 comprovam que os sensores escolhidos funcionam e acordo com o esperado. Por fim, as subseções 4.4, 4.5, 4.6 bem como a 3.6, apresentam os objetivos finais do desenvolvimento do esquemático definitivo, a confecção da PCI e sua montagem e também os testes finais. Desta forma, é possível entender que todos os objetivos específicos propostos foram atingidos e, estes concluem também, o objetivo geral do desenvolvimento do sistema para monitoramento da temperatura do solo para obtenção de dados de microclima.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Na sequência do desenvolvimento deste trabalho, alguns aspectos interessantes são válidos de uma abordagem mais detalhada. Para futuras aplicações e desenvolvimentos, se mostra interessante o uso de reguladores de tensão chaveados. Apesar do uso de reguladores lineares serem justificados neste projeto, o uso de componentes chaveados pode se mostrar ainda mais eficiente. Em um projeto que um *hardware* compacto não seja um requisito, o uso de reguladores chaveados se mostram ainda mais interessante.

Outro ponto de uma análise futura, está no uso de uma tecnologia mais avançada para o armazenamento de dados. Mesmo a memória EEPROM se encaixando perfeitamente no projeto, caso seja do interesse do projetista, também é possível elaborar um sistema em que, os dados, assim que coletados sejam enviados para um servidor em nuvem, desta forma, não sendo necessário que o usuário vá até o local onde o sistema esteja operando para se ter acesso aos dados.

Por fim, no próprio sistema desenvolvido podem ser adicionados escudos protetores de raios solares, como o sugerido na Figura 1, e mais uma camada de reforço, além do verniz já aplicado, para se realizar testes em campo, inserindo o dispositivo no solo e aplicando o sistema no meio em que foi proposto para operar.

REFERÊNCIAS

ADAPTACLIMA. **Biodiversidade e Ecossistemas**: no Contexto da Mudança do Clima, 2018. Disponível em: <http://adaptaclima.mma.gov.br/biodiversidade-e-ecossistemas-no-contexto-da-mudanca-do-clima#b>. Acesso em: 11 jul. 2021.

ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS. **AMS1117**: 1A Low Dropout Voltage Regulator, Livermore: ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS, 2007. Disponível em: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021.

ALVES, P. Sensor de temperatura, tipos e características! **Manual da Eletrônica**, Belo Horizonte, c2022. Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/sensor-de-temperatura-tipos-caracteristicas/>. Acesso em: 07 maio 2022.

ASHCROFT, M. B.; GOLAN, J. Fine-resolution (25 m) topoclimatic grids of nearsurface (5 cm) extreme temperatures and humidities across various habitats in a large (200 × 300 km) and diverse region. **Royal Meteorological Society**, Reading, vol. 32, p. 2134-2148, 2011.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; de GROOT, R.; FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, Londres, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

BANDERALI, M. Ferramenta Gerenciais: a importância do monitoramento da umidade do solo na agricultura. **Jornal Dia de Campo**: informação que produz, c2022. Disponível em: <http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21142&secao=Ferramentas%20Gerenciais#:~:text=Eles%20auxiliam%20o%20agricultor%20a,aumentando%20a%20efici%C3%A2ncia%20da%20irriga%C3%A7%C3%A3o.&text=N%C3%A3o%20h%C3%A1%20d%C3%BAvidas%20de%20que,longo%20dos%20meses%20na%20regi%C3%A3o>. Acesso em: 07 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2000. 30 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção Sobre Diversidade Biológica**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/convencao-sobre-diversidade-biologica>. Acesso em: 11 jul. 2021.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Glossário de Termos Técnicos Ambientais Rodoviários**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

BRAGA, N. C. Comunicação serial usando o protocolo RS232. **Instituto Newton C. Braga**, [S.l.], 2003. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/12095-comunicacao-serial-usando-o-protocolo-rs232-tel213>. Acesso em 07 maio 2022.

CAMPBELL-LENDRUM D.; MANGA, L.; BAGAYOKO, M.; SOMMERFELD, J. Climate change and vector-borne diseases: what are the implications for public health research and policy? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Londres, vol. 370, p. 1-8, 2015. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2013.0552>. Acesso em 12 jul. 2021.

CARDOSO, M. O que é um microcontrolador. **Capítulo Estudantil IEEE RAS UFGC**, Campina Grande, 23 set. 2020. Disponível em: <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador>. Acesso em 07 maio 2022.

COELHO, C. M. T. Mudanças climáticas e patrimônio cultural: elementos para a construção de cenários para a cidade do Rio de Janeiro. **PROARQ**, ano 1, n. 22, Rio de Janeiro, p. 79-90, 2014.

CRUCIAL. **Qual é a diferença entre RAM e ROM?** Idaho: CRUCIAL, 2018. Disponível em: <https://br.crucial.com/articles/about-memory/what-is-the-difference-between-ram-and-rom>. Acesso em: 07 maio 2022.

DAILY, G. C. **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington: Island Press, 1997.

DIEHL, A. A. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ELETRONICS FOR YOU. **What is the Difference Between Flash Memory and EEPROM?** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/eprom-difference-flash-memory>. Acesso em: 08 maio 2022.

FINEP. **Glossário: Termos e Conceitos**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/component/content/article?id=4849:glossario>. Acesso em: 12 ago. 2021

FLUXO CONSULTORIA. **O que é um protótipo, para que serve e pode ajudar seu negócio a desenvolver melhores produtos**. Cidade Universitária, RJ: FLUXO CONSULTORIA, 2021. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/o-que-e-um-prototipo/>. Acesso em: 08 maio 2022.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRANK, W. D.; SYPHARD, A.; FLINT, L.; HANNAH, L. Modeling plant species distributions under future climates: How fine scale do climate projections need to be? **Global Change Biology**, New York, 2012. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/75k42636>. Acesso em: 14 jul. 2021.

FRENNE, P.; VERHEYEN, K. Weather stations lack forest data. **Science**, New York, vol. 351, p. 234–234, 2016.

FTDI CHIP. **FT232R**: USB UART IC. Datasheet, Glasgow: FTDI CHIP, 2020.
Disponível em: https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/DS_FT232R.pdf.
Acesso em: 07 maio 2022.

GEIGER, R. **The Climate Near the Ground**. Cambridge: The Harvard University Printing Office, 1950.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGO, 2009. 120 p. Apostila. Disponível em:
<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2021.

GIANNINI, T. C.; COSTA, W. F.; CORDEIRO, G. D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; BIESMEIJER, J.; GARIBALDI, L. A. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **Plos One**, San Francisco, 2017. Disponível em:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0182274>. Acesso em: 12 jul. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GREISER, C.; MEINER, E.; LUOTO, M.; EHRLÉN, J.; HYLANDER, K. Monthly microclimate models in a managed boreal forest landscape. **Elsevier**, Amsterdam, vol. 250, p. 147-158, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.252>. Acesso em: 21 jul. 2021.

HADDAD C.F.B.; TOLEDO, L. F.; PRADO, C. P. A.; LOEBMAN, D.; GASPARINI, J. L.; SAZIMA, I. **Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia**. São Paulo: Anolis Books, 2013.

HE, K. S.; BRADLEY, B. A.; CORD, A. F.; ROCCHINI, D.; TUANMU, M.; SCHMIDTLEIN, S.; TURNER, W.; WEGMANN, M.; PETTORELLI, N. Will remote sensing shape the next generation of species distribution models? **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, Londres, vol. 1, p. 4-18, 2015. Disponível em:
<https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rse2.7>. Acesso em: 21 jul. 2021.

HEGLAND, S. T.; NIELSON, A.; LÁZARO, A.; BJERKNES, A. L.; TOTLAND, O.; How does climate warming affect plant pollinator interactions? **Ecology Letters** Montpellier, ano 12, p.184-195, 2009.

IEEE. - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **The IEEE Standard dictionary of electrical and electronics terms**. IEEE Std. 100-1996. 6. ed. New York, dez. 1996

IMPLASTEC. **Percloroeto de Ferro**. Produto, Votorantim: IMPLASTEC, 2020c. Disponível em: <https://implastec.com.br/loja/percloroeto-de-ferro/>. Acesso em: 11 maio 2022.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia - Versão Brasileira do "Vocabulary of basic and general terms in metrology"** publicado em 1993 pela ISO/IEC/OIML/BIPM. Rio de Janeiro: INMETRO, mar. 1995.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 32 p.

KERLINGER, F. N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual.** São Paulo: EPU/EDUSP, 1980.

LEMBRECHTS, J. J., *et al.* **Mismatches between soil and air temperature.** Berlin, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350245318_Mismatches_between_soil_and_air_temperature. Acesso em: 21 jul. 2021.

MALVINO, A.; BATES D.J. **Eletrônica.** 8. ed. v. 2. Porto Alegre: AMGH, 2016

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnica de pesquisa.** 7 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MARTINS, R. **PCB Fabrication through Thermal Transfer.** RobsonMartins, 2011. Disponível em: <https://www.robsonmartins.com/content/eletr/projects/transfterm/>. Acesso em: 11 maio 2022.

MAXIM INTEGRATED. **DS1307:** 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock. Datasheet, Sao Jose: MAXIM INTEGRATED, 2015a. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.

MAXIM INTEGRATED. **DS1631/DS1631A/DS1731:** High-Precision Digital Thermometer and Thermostat. Datasheet, Sao Jose: MAXIM INTEGRATED, 2015b. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1631-DS1731.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.

MAXIM INTEGRATED. **DS18B20:** Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Datasheet, Sao Jose: MAXIM INTEGRATED, 2019. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> Acesso em: 07 maio 2022.

MAXIM INTEGRATED. **DS7505:** Digital Thermometer and Thermostat. Datasheet, Sao Jose: MAXIM INTEGRATED, 2015c. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS7505.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

MAXIM INTEGRATED. **Not Recommended for New Designs**. Sao Jose: MAXIM INTEGRATED, 2020. Disponível em: <https://www.maximintegrated.com/en/products/nla/index.mvp#:~:text=A%20product%20that%20is%20NRND,for%20the%20part%20is%20decreasing>. Acesso em: 07 maio 2022.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.

MICROCHIP. **AT24C128C/AT24C256C**: I²C Automotive Temperature Serial EEPROM 128-Kbit (16,384 x 8), 256-Kbit (32,768 x 8). Datasheet, Chandler: MICROCHIP, 2020. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/AT24C128C-AT24C256C-Data-Sheet-DS20006270B.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.

MICROCHIP. **ATmega328P**. Tabela de Documento, Chandler: MICROCHIP, c2022a. Disponível em: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P#document-table>. Acesso em: 07 maio 2005.

MICROCHIP. **PIC16F877A**. Tabela de Documento, Chandler: MICROCHIP, c2022b. Disponível em: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F877A>. Acesso em: 07 maio 2005.

MICROCHIP. **PIC16F87XA**: 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers. Datasheet, Chandler: MICROCHIP, 2013a. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582C.pdf>. Acesso em: 07 maio 2005.

MICROCHIP, **PICKit 3**: In-Circuit Debugger/Programmer. Guia do Usuário, Chandler: MICROCHIP, 2013b. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemtest/OTH/ProductDocuments/UserGuides/52116A.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.

MILLS, J. N.; GAGE, K. L.; KHAN, A. S. Potential Influence of Climate Change on Vector-Borne and Zoonotic Diseases: A Review and Proposed Research Plan. **Environmental Health Perspectives**, Durham, vol. 118, n. 11, p. 1507-1514, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.0901389>. Acesso em: 12 jul. 2021.

MINAYO, M. C. S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. **Pesquisa Social – Teoria, método e criatividade**. 32 ed. Petrópolis: Vozes, 2012.

MINIPA. **Termômetro digital de 4 canais modelo: MT-1044**. Proposta Técnica, São Paulo, c2016. Disponível em: http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/MT-1044-1301-BR.pdf. Acesso em: 08 maio 2022.

MULT COMERCIAL. **Saiba o que é protoboard e qual sua utilidade**. São Paulo: MULT COMERCIAL, 2020. Disponível em: <https://blog.multcomercial.com.br/saiba-o-que-e-protoboard-e-qual-sua-utilidade>. Acesso em: 05 maio 2022.

OLIVEIRA, K. Microcontroladores: o que considerar na hora de escolher? **VSoft**, São Paulo, c2022. Disponível em: <https://vsoft.com.br/post/escolher-microcontroladores>. Acesso em: 07 maio 2022.

ONU - United Nations. **United Nations Framework Convention on Climate Change**, New York: UN, 1992. 33 p.

POTTER, K. A., ARTHUR, W. H.; PINCEBOURDE, S. Microclimatic challenges in global change biology. **Global Change Biology**, New York, vol. 19, p. 2932–2939, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12257>. Acesso em: 14 jul. 2021.

PÖTTKER, G. S.; ANDRADE, A. R.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; Detecção e quantificação da importância do uso da terra no microclima urbano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba, **Anais** [...]. p.807-813. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.18.07/doc/p0375.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SAFT. **LS 14500** – Primary Li-SOCl₂ Battery. Datasheet, 2021. Disponível em: https://www.saftbatteries.com/download_file/6X7JMGA3Fm6HdmtEv%252B2gtlbZ1bRRVHkjS11M6md92GD2EF7vU%252F3Oybbz3WOIG%252BxR8srpA5iCdJ%252FV3IQzTVHQyiTucngZKEg9KkYCLkowAvgaG1huqyXUIQvO1qUkZjGCfaa8Bj8zATp1fXJiJXWOMWYomKIKGI%252B2HKVzqrqCHgXSgMPQ%253D%253D/LS14500.pdf. Acesso em: 07 maio 2022.

SANTOS, A. R. **Metodologia científica**: a construção do conhecimento. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.

SERENO, H.R.S.; SHEREMETIEFF Jr., A. **Guia para elaboração de um plano de manutenção da confiabilidade metrológica de instrumentos de medição**.

Petrópolis, 2009. Disponível em:

http://repositorio.bom.org.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1679/2009_SerenoSheremetieff%20Jr.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 maio 2022.

SPRATT, C.; WALKER, R.; ROBINSON, B. **Mixed research methods**. Practitioner Research and Evaluation Skills Training in Open and Distance Learning.

Commonwealth of Learning, 2004. Disponível em:

<http://oasis.col.org/handle/11599/88>. Acesso em: 03 ago. 2021.

STMICROELECTRONICS. **L78**: Positive voltage regulator ICs. Geneva:

STMICROELECTRONICS, 2018. Disponível em:

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.

TECMUNDO. **4 tipos de baterias diferentes utilizadas em eletrônicos**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/bateria/88197-4-tipos-baterias-diferentes-utilizadas-eletronicos-video.htm>. Acesso em: 08 maio 2022.

TERANDO, A. J.; YOUNGSTEADT, E.; MEINEKE, E. K.; PRADO, S. G. Ad hoc instrumentation methods in ecological studies produce highly biased temperature measurements. **Ecology and Evolution**, New York, ano 7, p. 9890-9904, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.3499>. Acesso em: 14 jul. 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35**: Precision Centigrade Temperature Sensors. Datasheet, Dallas: TEXAS INSTRUMENTS, 2017. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM75x**: Digital Temperature Sensor and Thermal Watchdog With Two-Wire Interface. Datasheet, Dallas: TEXAS INSTRUMENTS, 2015. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm75b.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.

TIDD, J.; BESSANT, J. **Gestão da inovação**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez & Autores Associados, 1988.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2020.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VASCONCELOS T. S. Tracking climatically suitable areas for an endemic Cerrado snake under climate change. **Natureza & Conservação**, ano 12, p. 47-52, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/natcon.2014.009>. Acesso em 12 jul. 2021.

WILD, J.; KOPECKÝA, M.; MACEKA, M.; ŠANDAC, M.; JANKOVEC, J.; HAASED, T. Agricultural and Forest Meteorology. **Elsevier**, Amsterdam, vol. 268, p. 40-47, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.018>. Acesso em: 14 jul. 2021.

WOLLINGER, L. **Baterias de Lítio-Íon: Um guia completo**. Embarcados, Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/baterias-de-litio-ion-um-guia-completo/>. Acesso em: 04 ago. 2021.