

**Giovana Rocha dos Santos**

**Isadora Alves dos Santos**

**Vinicius Pavanello Secafim**

**Em áreas remotas, IoT sem eletricidade?  
HigroEnergy, a solução na sua cidade!**

CAMPINAS  
2024

**IFSP - INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO - CÂMPUS CAMPINAS**

**CURSO MÉDIO INTEGRADO AO TÉCNICO EM ELETRÔNICA**

# **Em áreas remotas, IoT sem eletricidade? HigroEnergy, a solução na sua cidade!**

Trabalho de Iniciação Científica apresentado  
ao Instituto Federal de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. eng. Edson Anício Duarte  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Galembeck

CAMPINAS  
2024

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema gerador de células higroelétricas para alimentar dispositivos IoT com tensões de 3,3V ou 5V. A aplicação escolhida é um sistema de alerta para localização de usuários que percorrem trilhas em matas ou florestas desprovidas de eletricidade convencional para chamadas de SOS. Este projeto utiliza sensores, microcontroladores, células de higroeletricidade e conversores Boost para energizar um sistema IoT em áreas não eletrificadas. Diversas aplicações podem se beneficiar dessa forma inovadora e sustentável de energia, como no caso deste projeto, que visa o monitoramento de trilhas em florestas e matas. O resultado esperado é um sistema capaz de colher energia suficiente para alimentar dispositivos IoT, suprimindo as necessidades energéticas de componentes comerciais de IoT. Todo o equipamento foi desenvolvido em um ambiente maker.

**Palavras-Chave:** Geração de Energia; Higroeletricidade; IoT; Sustentabilidade; Monitoramento Ambiental.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to develop a system generating hygroelectric cells to power IoT devices with voltages of 3.3V or 5V. The chosen application is an alert system to locate users who walk along trails in woods or forests without conventional electricity for SOS calls. This project uses sensors, microcontrollers, hygroelectric cells and Boost converters to power an IoT system in non-electrified areas. Several applications can benefit from this innovative and sustainable form of energy, as in the case of this project, which aims to monitor trails in forests and woods. The expected result is a system capable of harvesting enough energy to power IoT devices, meeting the energy needs of commercial IoT components. All equipment was developed in a maker environment.

**Keywords:** Energy Generation; Hydroelectricity; IoT; Sustainability; Environmental Monitoring

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquemático de uma célula Higroelétrica -----	17
<b>Figura 2:</b> Desenho do arranjo de três células Higroelétricas -----	17
<b>Figura 4:</b> Sistema de medição de tensão-----	19
<b>Figura 5:</b> Representação simplificada de um conversor CC-CC -----	20
<b>Figura 6:</b> Diagrama elétrico do conversor Buck-----	20
<b>Figura 7:</b> Diagrama elétrico do conversor Boost-----	21
<b>Figura 9:</b> Organograma -----	25
<b>Figura 10:</b> Cronograma -----	26
<b>Figura 11:</b> Diagrama de Blocos -----	26
<b>Figura 12:</b> Ambiente de programação-----	28
<b>Figura 13:</b> Esquema elétrico -----	28
<b>Figura 14:</b> Dados armazenados -----	29
<b>Figura 15:</b> Teste com placa submersa -----	30
<b>Figura 16:</b> Célula higroelétrica sem contato com água: 0.00V-----	31
<b>Figura 17:</b> Célula higroelétrica com contato direto com água: 0.81V -----	32
<b>Figura 18:</b> Otimização: Nova configuração para 1.00 V -----	33
<b>Figura 19:</b> Placa conversora em funcionamento com fonte de bancada -----	33
<b>Figura 20:</b> Circuito responsável pela coleta de dados-----	34
<b>Figura 21:</b> Modelo de totem ilustrativo -----	34
<b>Figura 22:</b> Design final de configuração -----	35
<b>Figura 23:</b> IoT energizado -----	36
<b>Figura 24:</b> Configuração final da célula -----	36
<b>Figura 25:</b> Conjunto com 35 células -----	37
<b>Figura 26:</b> Sistema de geração de energia -----	38
<b>Figura 27:</b> Montagem do sistema-----	38
<b>Figura 28:</b> Impressão 3D concluída-----	39
<b>Figura 29:</b> Plataforma ThinkSpeak -----	40
<b>Figura 30:</b> Receptor de chamados -----	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tabela de consumo de tensão e corrente de sensores IoT -----	23
<b>Tabela 2:</b> Tabela de consumo de tensão e corrente de IoT -----	23
<b>Tabela 3:</b> Lista de Materiais - Protótipo para Monitoramento-----	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABCCMM</b>	Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Manga Larga Marchador
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>SENAI</b>	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta$ : Delta

®: Marca registrada

§: Parágrafo

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Escopo (o “QUÊ”)	11
1.2 Justificativa (o “PORQUÊ”)	12
1.3 Problema	13
1.4 Hipótese	14
1.5 Objetivos (o “PARA QUE”)	15
1.5.1 <i>Objetivos específicos</i>	15
1.6 <i>Fundamentação Teórica</i>	15
1.6.1 <i>Internet das Coisas (IoT)</i>	16
1.6.2 <i>Células Higroelétricas</i>	16
1.6.3 <i>Conversores CC-CC</i>	19
1.6.4 <i>Dispositivo IoT</i>	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 ORGANOGRAMA	25
2.2 CRONOGRAMA	26
2.3 DIAGRAMA DE BLOCOS	26
2.4 LISTA DE MATERIAIS	27
2.5 PROGRAMAÇÃO	27
2.6 HARDWARE	28
2.7 SISTEMA DE MONITORAMENTO	28
3 RESULTADOS	30
3.1 Próximos Passos	41
4 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	43

## 1 INTRODUÇÃO

Você já ouviu falar em Energy Harvesting? Esse termo é usado pela literatura e se refere a uma tecnologia que aproveita as fontes de energia do ambiente, como os gradientes de temperatura, a energia cinética e a luz, capazes de fornecer energia suficiente para alimentar dispositivos eletrônicos (Galembeck, 2022). Isso é especialmente útil em situações onde o acesso ou a troca frequente de baterias é difícil.

A higroeletricidade, como alternativa inovadora, baseia-se na energia do ambiente mediada pela umidade do ar, apresentando vantagens sobre outras tecnologias devido à onipresença da umidade atmosférica em nosso planeta (Lermen, 2022). Essa tecnologia destaca-se em comparação à energia solar convencional, pois gera eletricidade de forma contínua, independente da luz solar diurna ou da sazonalidade dos ventos. Alinhada aos objetivos da ODS 7, que promove energia limpa e sustentável, essa abordagem diversifica as fontes energéticas, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, é importante notar que a energia gerada possui níveis de potência muito baixos, na ordem de miliWatts e microWatts, requerendo dispositivos eletrônicos para captá-la e adequá-la a níveis utilizáveis.

Os conversores DC-DC (ou CC-CC, DC-Direct Current / CC-Corrente Contínua) assumem um papel crucial, pois são necessários para realizar uma adaptação sobre a tensão e corrente produzida pelas células. Até o momento, as células não geram níveis compatíveis com as necessidades de aplicações comerciais que serão discutidas posteriormente. Os conversores do tipo "boost" são os dispositivos eletrônicos que operam com o fornecimento de uma tensão de saída maior do que a aplicada na entrada. Um conversor DC-DC é um circuito eletrônico que converte uma tensão ou corrente contínua que tem uma determinada amplitude, em outra tensão ou corrente contínua com outra amplitude diferente e será responsável por gerar uma tensão e corrente contínua (Guse, 2022; De Stasi, 2015).

Para a aplicação em da higroeletricidade a tensão de entrada é menor e a da saída deve atingir os níveis comerciais para os dispositivos eletrônicos, que neste trabalho serão utilizados os dispositivos de IoT (Internet das Coisas).

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que se baseia na interconexão de dispositivos eletrônicos comuns, permitindo que eles recebam e enviem dados através

da internet. Também conhecida como Internet de objetos, é a interconexão em rede do cotidiano de objetos, esta tecnologia transforma objetos do dia a dia em entidades inteligentes e conectadas, capazes de coletar, processar e transmitir informações, facilitando a automação e a otimização de inúmeras atividades cotidianas e industriais (Facchini et al, 2017).

Essas tecnologias de dispositivos IoT permitem que capturem e utilizem energia do ambiente, reduzindo a dependência de baterias ou de fontes de energia convencionais que têm uma vida útil limitada. Os dispositivos IoT podem operar de forma autônoma e sustentável, mesmo em locais remotos ou de difícil acesso. Isso amplia significativamente o potencial de aplicação do IoT em diversos setores, reduzindo os custos operacionais e a necessidade de manutenção frequente (Garg, Neha & Ritu, Garg, 2017).

Assim, este trabalho é o desenvolvimento de um sistema eletrônico que converte a energia harvesting em níveis úteis para dispositivos IoT, uma proposta de aplicação que esta tecnologia pode ajudar é um equipamento que evitará com que pessoas fiquem por um longo período perdidas em uma mata desconhecida. Com a criação de um dispositivo para monitoramento IoT em trilhas utilizando a higroeletricidade como fonte de produção de energia limpa, inserindo estações de ajuda no trajeto de trilhas, assim auxiliando pessoas em casos de emergência. A energia é capturada através da umidade do ar, algo muito presente em matas brasileiras, e com isso em vista, essa tecnologia se torna ainda mais útil, principalmente em nosso país por conter uma quantidade significativa de umidade presente nas matas.

A partir da validação desta aplicação será proposto uma relação de abrangência de uso para este desenvolvimento.

### **1.1 Escopo (o “QUÊ”)**

Desenvolver um equipamento que converta a energia de um conjunto de higrocélulas para uma tensão útil de 3,3V ou 5V para alimentar um microcontrolador.

A proposta é que este equipamento seja instalado em um local onde não tenha acesso à energia elétrica e forneça dados de temperatura e umidade do ar.

## 1.2 Justificativa (o “PORQUÊ”)

A tecnologia conhecida como "colheita de energia" (Energy Harvesting) ainda é pouco estudada em nosso país. Esta tecnologia explora a energia disponível ao nosso redor no ambiente, como a energia solar, eólica e térmica. Além disso, é possível coletar energia a partir do movimento das vibrações em estradas e até mesmo no movimento humano. Ela pode ser utilizada para abastecer dispositivos de baixo consumo, um exemplo é energizar dispositivos IoT (Internet das Coisas). O potencial desta tecnologia é garantir a autonomia completa dos dispositivos eletrônicos, eliminando a necessidade de recarga.

Uma aplicação pode ser observado no 1º semestre 2017 com aumento significativo no número de ocorrências de desaparecimento de pessoas que saem para fazer trilhas e caminhadas em regiões de montanhas, parques e cachoeiras (matas fechadas) em Minas Gerais. Em comparação com o período homólogo, houve um incremento de 55 pessoas nesses incidentes. Segundo um tenente do Corpo de Bombeiros, a procura por essas atividades cresceu (Nascimento, 2017).

Diante desse cenário, uma proposta de aplicação para o desenvolvimento da tecnologia de colheita de energia é o monitoramento de trilhas para prevenir o desaparecimento de pessoas que se perdem e ficam sem contato por um longo período. Uma das principais dificuldades é manter a eletrificação nessas áreas devido ao custo elevado de implantação. Assim, o sistema de higroneletricidade, associado a dispositivos IoT, surge como uma solução viável para este problema.

Os dispositivos IoT estão assumindo um papel cada vez mais importante em diversos setores, incluindo a agricultura. De acordo com a IDC (International Data Corporation), é previsto que o mercado de IoT alcance a marca de 1,1 bilhão de remessas até 2027, evidenciando o crescimento e a relevância dessa tecnologia (Terra, 2023).

Portanto, a realização deste projeto é fundamental para o avanço na utilização eficiente da energia disponível no ambiente e para a criação de novas soluções.

### 1.3 Problema

Esta tecnologia de higroeletricidade pode ser utilizada para desenvolver dispositivos IoT autônomos em trilhas, para auxiliar na localização e resgate de pessoas perdidas em áreas de mata;

O problema investigado refere-se ao desenvolvimento de um sistema eletrônico baseado em higroeletricidade para energizar dispositivos IoT em trilhas. Este sistema visa ajudar a prevenir e resolver situações de pessoas que se perdem em matas, utilizando a umidade atmosférica como fonte de energia. Um proposta de aplicação dessa tecnologia é a utilização em trilhas no Brasil, um país com alta umidade em suas matas, e será realizada no contexto das trilhas e áreas de mata dessas regiões, principalmente em locais de não existe eletrificação.

A higroeletricidade utiliza a umidade do ar para gerar eletricidade, onde o desafio é ter potência suficiente para alimentar dispositivos IoT. Esses dispositivos, uma vez energizados, podem funcionar de maneira autônoma para monitorar trilhas e ajudar na localização de pessoas perdidas.

A vantagem desta tecnologia da Higroeletricidade é a disponibilidade constante de umidade em matas brasileiras e a necessidade de sistemas autônomos de monitoramento devido à dificuldade de manutenção de equipamentos em áreas remotas.

O problema está delimitado à aplicação da tecnologia de higroeletricidade em dispositivos IoT para monitoramento de trilhas no Brasil. Somada ao desenvolvimento da melhor configuração de ligação, geometria e combinação dos materiais utilizados nas células.

Este estudo envolve a criação e validação de um dispositivo que utiliza energia colhida da umidade do ar para operar dispositivos IoT.

A implementação de estações de ajuda ao longo de trilhas para auxiliar pessoas em situações de emergência.

Esta aplicação busca apresentar a tecnologia de higroeletricidade como solução para resolver este problema específico, neste caso, a assistência a pessoas

perdas em matas e quais são as condições para que essa tecnologia seja eficaz. Outras aplicações são também objeto de estudo futuro.

A higroeletricidade, uma tecnologia inovadora, se destaca pela capacidade de gerar eletricidade a partir da umidade do ar, oferecendo uma alternativa viável às fontes tradicionais de energia. Essa tecnologia é relevante, pois proporciona uma fonte de energia contínua e sustentável, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, que promovem a energia limpa e sustentável (Lermen, 2022). A energia gerada por essa tecnologia é de baixa potência (miliWatts e microWatts), mas é adequada para dispositivos IoT, que podem operar de forma autônoma e sustentável, mesmo em locais remotos e de difícil acesso (Garg, Neha & Ritu, Garg, 2017).

A validação desta aplicação permitirá avaliar a eficácia da tecnologia de higroeletricidade em contextos reais e propor uma abrangência de uso para melhorar a segurança em trilhas e áreas de mata, contribuindo para a redução dos custos operacionais e a necessidade de manutenção frequente de dispositivos eletrônicos em ambientes naturais.

#### **1.4 Hipótese**

1 - É possível utilizar a energia gerada através da umidade (energy harvesting) em equipamentos eletrônicos comerciais?

A energia gerada pela umidade atmosférica é suficiente para operar equipamentos eletrônicos comerciais de baixo consumo energético, como dispositivos IoT, quando convertida e ajustada adequadamente aos níveis de corrente e tensão operacionais.

2 - Os níveis de tensão gerados pelas células higroelétricas são passíveis de serem adequados a níveis comerciais?

Os níveis de tensão produzidos pelas células higroelétricas podem ser adequados para aplicações comerciais após serem amplificados e regulados para atender aos requisitos de tensão dos dispositivos eletrônicos.

3 - Quais aplicações de IoT podem ser implementadas com esse sistema?

O sistema baseado em higroeletricidade pode ser utilizado para implementar diversas aplicações de IoT, incluindo monitoramento ambiental, sistemas de rastreamento em áreas remotas e dispositivos de segurança em trilhas e matas.

## **1.5 Objetivos (o “PARA QUE”)**

Desenvolver um sistema de higrocélulas que utiliza a tecnologia de energia harvesting para gerar tensão suficiente para energizar dispositivos IoT, com o propósito de realizar monitoramento em áreas sem eletrificação.

### *1.5.1 Objetivos específicos*

- a) Projetar a melhor configuração de uma célula higroelétrica com base na sua geometria e materiais;
- b) Desenvolver um equipamento conversor DC-DC tipo boost para elevação da tensão;
- c) Projetar um encapsulamento do projeto em 3D utilizando software de modelamento mecânico e;
- d) Realizar a validação em bancada do protótipo.

## **1.6 Fundamentação Teórica**

Neste tópico, será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre os principais componentes deste projeto, a saber:

- a) Células higroelétricas;
- b) Conversores DC-DC;
- c) Internet das Coisas (IoT).

### *1.6.1 Internet das Coisas (IoT)*

A Internet das Coisas (IoT) é um conjunto de tecnologias e protocolos que permite que objetos digitais se conectem à rede de comunicação e sejam controlados por ela. Esses "objetos" são dispositivos que possuem recursos de computação, comunicação e controle. Em outras palavras, a IoT possibilita que objetos físicos, como sensores, atuadores e microcontroladores, se comuniquem entre si e com sistemas de controle por meio da internet (Avelar, 2023).

### *1.6.2 Células Higroelétricas*

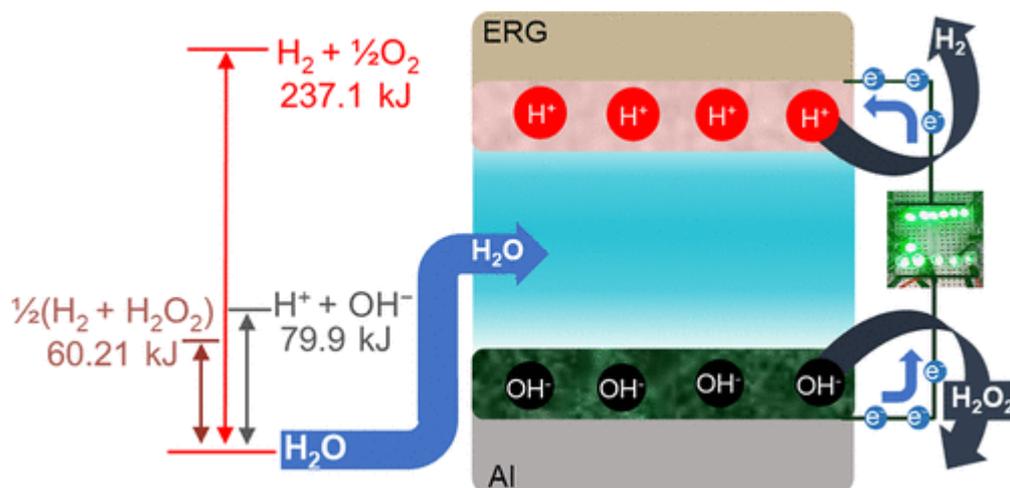
As células higroelétricas utilizadas neste desenvolvimento foram descobertas por pesquisadores da Unicamp em 2009. Elas são reatores químicos que utilizam apenas água para produzir eletricidade, hidrogênio e peróxido de hidrogênio simultaneamente, operando em condições de temperatura e pressão ambiente (Inomat, 2023).

De acordo com Galembeck et al. (2024), foi verificado que o acúmulo de cargas elétricas ocorre conforme os materiais e arranjos dos metais expostos à umidade atmosférica. Quando adequadamente combinados, é possível "coletar" esse potencial elétrico e obter uma energia útil para algum fim. A análise termodinâmica revela que a desidrogenação da água é uma reação não espontânea em condições padrão.

O fenômeno e o desempenho desses geradores higroelétricos têm sido estudados, e esses arranjos serão o foco deste trabalho. O design básico de três células higroelétricas foi desenvolvido utilizando o software Fusion 360° Education.

A figura 1 mostra um esquema de como ocorre a reação química e a consequente geração de cargas elétricas.

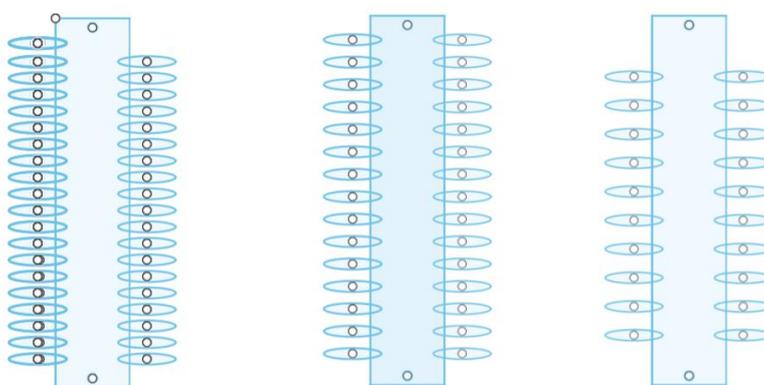
**Figura 1:** Esquemático de uma célula Higroelétrica



Fonte: Galembeck et al. (2024)

O fenômeno e o desempenho destes geradores higroelétricos vêm sendo estudados e estes arranjos serão objeto deste trabalho. A figura 2 mostra o desenho design básicos de três células higroelétricas desenvolvidas no software Fusion 360° Education, para todas as versões, a distância entre os círculos de corte é especificada como 2mm, 3mm e 5mm, respectivamente, com uma largura fixa de 20mm e altura padrão de 10cm.

**Figura 2:** Desenho do arranjo de três células Higroelétricas



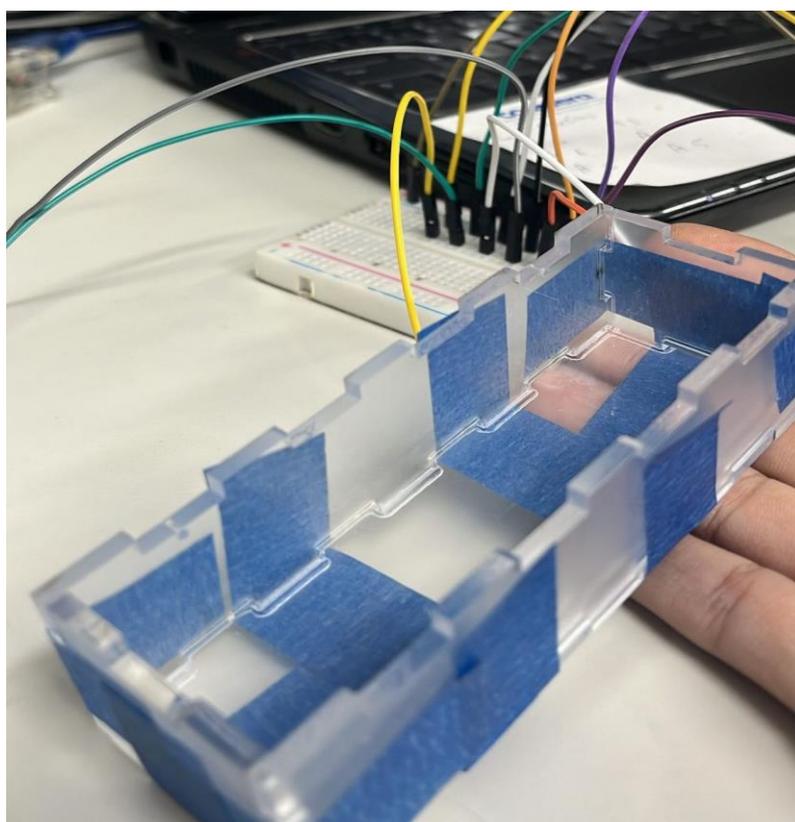
Fonte: Próprios autores

Na montagem da célula, são fios de aço inoxidável (inox) e alumínio, criteriosamente selecionados por suas propriedades elétricas e durabilidade. Estes fios são fixados sobre um substrato de acrílico com espessura de 3mm, garantindo

estabilidade estrutural à célula. No contexto do sistema, o aço inoxidável assume uma polaridade positiva, enquanto o alumínio é eletricamente negativo. As atividades experimentais são realizadas no laboratório do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Para a acomodação das células, foi desenvolvida uma base em acrílico conforme demonstrado na figura 3.

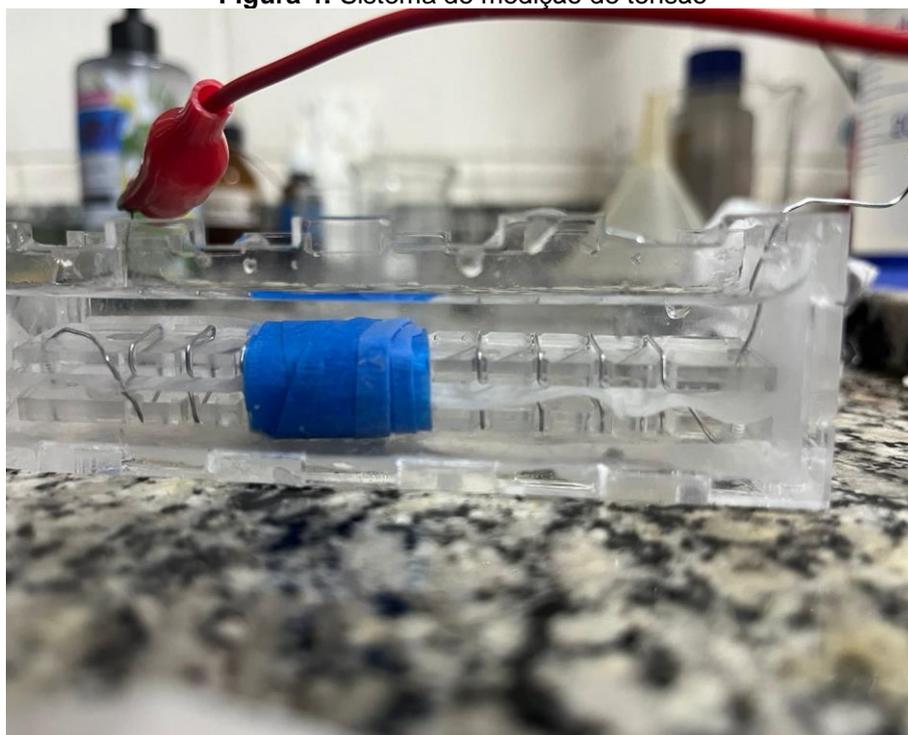
**Figura 3:** Recipientes de acrílico para testes



Fonte: Próprios autores

Esses compartimentos, nos quais foi aplicado silicone para a vedação, foram cuidadosamente projetados com uma largura de 40mm e um comprimento de 11cm, proporcionando um espaço adequado para acessar as placas e facilitar na conexão dos fios e submergir completamente o conjunto em água.

A figura 4 registra o instante em que a placa foi submersa, marcando o início dos testes e configurações em sua configuração. Durante essa fase, foi estudada a disposição ideal, buscando a harmonia entre cada componente para alcançar o melhor desempenho possível.

**Figura 4:** Sistema de medição de tensão

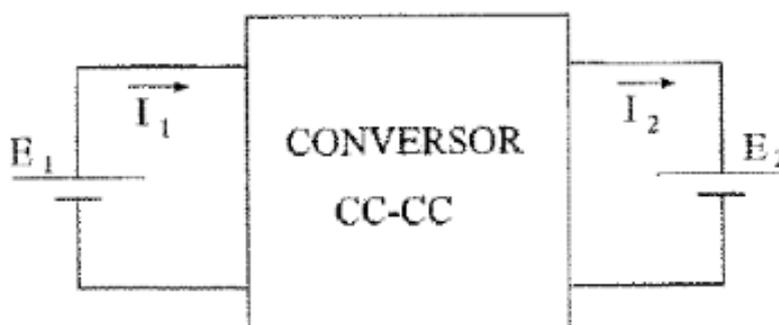
Fonte: Próprios autores

É crucial direcionar esforços para explorar a higroeletricidade como uma alternativa promissora e sustentável na matriz energética global. Esta abordagem inovadora oferece a oportunidade de aproveitar um recurso natural abundantemente disponível, "A higroeletricidade é uma proposta como um meio de produção de energia elétrica a partir do ar, absorvendo moléculas de água gasosas ou vaporosas, que são onipresentes na atmosfera." (Huang et al., 2018).

### 1.6.3 Conversores CC-CC

Os conversores CC-CC (Buck e Boost) são denominados na literatura como conversores diretos, pois a transferência de potência da entrada para a saída se processa diretamente, sem a passagem por elementos intermediários acumuladores de energia (Martins, 2006). Os conversores boost são chamados elevadores de tensão (step up), pois conseguem aumentar o nível da tensão de entrada através do armazenamento de energia no indutor colocado em série com a entrada. O conversor buck é chamado abaixador de tensão (step down), pois sua saída tem uma fração da tensão de sua entrada.

**Figura 5:** Representação simplificada de um conversor CC-CC



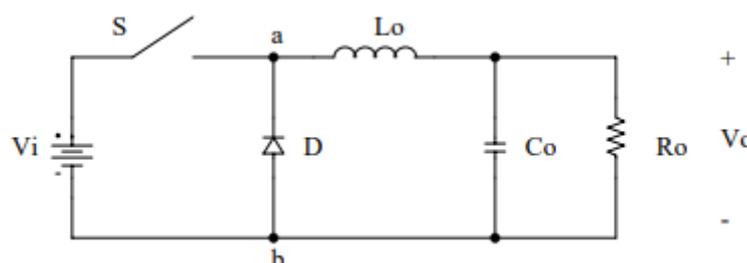
Fonte: ALLDATASHEET (2008)

Os conversores CC-CC, podem ser conceituados como um sistema, formado por semicondutores de potência operando como interruptores e por elementos passivos, normalmente indutores e capacitores, cuja função é controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída.

Estes conversores podem ser do tipo isolado ou não isolado. Nos conversores do tipo isolado utilizam-se indutores acoplados, são exemplos dessas topologias os conversores flyback, forward, push-pull etc. Já os conversores não isolados são formados por estruturas que não utilizam isolamento galvânica, algumas topologias desse tipo são: buck, boost, buck-boost, Ćuk, SEPIC e Zeta (Oliveira, 2021).

O conversor Buck é um conversor abaixador de tensão, é caracterizado por ter entrada em tensão e saída em corrente. Na Figura 6, mostra-se o diagrama elétrico do conversor Buck. Suas principais qualidades são: pode apenas diminuir a tensão na saída; a corrente de saída tem boa qualidade; a corrente na entrada é descontínua.

**Figura 6:** Diagrama elétrico do conversor Buck



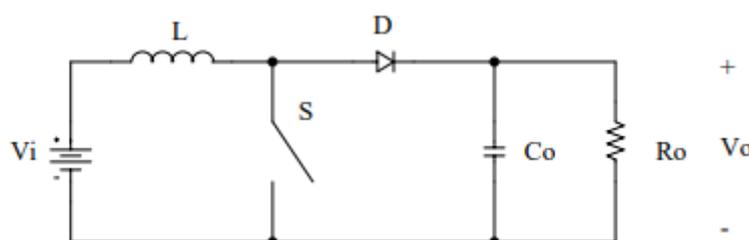
Fonte: ANTÔNIO PETRY, C. Introdução aos Conversores CC-CC.

Primeira Etapa (0, DTs): S está conduzindo. A corrente circula por  $L_o$  e pela saída. Nesta etapa  $V_i$  fornece energia para a saída e para a magnetização do indutor  $L_o$ .

Segunda Etapa (DTs, (1-D)Ts): S está bloqueado. No instante de abertura de S o diodo D entra em condução. A energia do indutor é transferida para a carga, isto é, o indutor é desmagnetizado (Petry, 2001).

O conversor Boost é um conversor elevador de tensão, caracterizado por ter entrada em corrente e saída em tensão e suas principais qualidades são: pode apenas aumentar a tensão na saída; a corrente de saída é descontínua; a corrente na entrada tem boa qualidade. Como pode ser visto na figura 7 o diagrama elétrico do conversor Boost.

**Figura 7:** Diagrama elétrico do conversor Boost



Fonte: ANTÔNIO PETRY, C. Introdução aos Conversores CC-CC.

Primeira Etapa (0, DTs): S está conduzindo. O indutor L é magnetizado. A fonte  $V_i$  fornece energia ao indutor.

Segunda Etapa (DTs, (1-D)Ts): S está bloqueado. O diodo D entra em condução. A fonte  $V_i$  e o indutor L fornecem energia à saída. A tensão na carga aumenta (Petry, 2001).

Por conclusão, o conversor pode trabalhar em modo abaixador de tensão ou em modo elevador de tensão, apresenta ondulações de corrente reduzidas, resultando em níveis minimizados de interferência eletromagnética (electromagnetic interference – EMI).

#### 1.6.4 Dispositivo IoT

Os dispositivos IoT têm se tornado parte integrante de nossas vidas, facilitando uma infinidade de tarefas diárias. No centro desses dispositivos, estão os microcontroladores, que são componentes-chave em dispositivos IoT. Eles são mais simples e mais baratos de operar do que os microprocessadores (MPUs).

Dispositivos IoT são “objetos” da IoT. São construídos com componentes como microcontroladores, módulos de comunicação sem fio, sensores e atuadores. Eles possuem recursos de computação, comunicação e controle. É importante notar que dispositivos IoT são uma espécie de sistema embarcado (Avelar, 2023).

Microcontroladores contém um chip (circuito integrado), nele é possível compreender como um mini computador, pode ser definido com single-chip computer (computador em um único chip), outro nome conhecido é o MCU (Micro Controller Unit), incluindo uma CPU, memória e periféricos de entrada e saída, como memória de dados, interface de comunicação serial e etc.

Atualmente há uma variedade de microcontroladores disponíveis no mercado, tendo desde as placas mais populares Arduino até os modelos ESP que contém variações entre elas também, a escolha para o uso, vai depender do que a especificidade do projeto precisará, podendo variar devido a processamento, conexão, tamanho, energia, comunicação e assim por diante. As tensões de funcionamento operam normalmente em 3,3V ou 5V, os componentes escolhidos para a aplicação devem ser compatíveis com a mesma tensão de operação. Compreender o consumo de energia é essencial para mensurar a fonte de alimentação adequada, sobretudo na alimentação por bateria, onde maximizar a vida útil da bateria é crucial, já que podem consumir quantidades variáveis de energia, dependendo de seu estado operacional e das tarefas que executam. Dito isso, é possível notar a importância de uma fonte de energia limpa.

Os sensores IoT são dispositivos cruciais na Internet das Coisas (IoT), coletando dados do ambiente e transmitindo-os pela internet. Eles têm diversas aplicações, como monitoramento ambiental, de ativos e controle de processos. Existem vários tipos de sensores, como os de temperatura, umidade, pressão,

movimento e etc; cada um com suas próprias funções. Esses sensores são essenciais para a IoT, permitindo que objetos físicos coletam e transmitam dados, impulsionando inovações em áreas como cidades inteligentes, agricultura e indústria. À medida que a tecnologia IoT avança, os sensores continuarão a desempenhar um papel essencial em diversas aplicações (ROSALES, 2024).

Em resumo, ao criar um dispositivo IoT com microcontrolador, é essencial realizar uma análise cuidadosa dos requisitos de tensão e consumo de energia. Escolher os componentes certos e garantir sua compatibilidade garantirá não apenas o funcionamento adequado do dispositivo, mas também sua eficiência energética e confiabilidade a longo prazo.

Nas tabelas 1 e 2 é possível analisar os tipos de IoT e sensores com suas respectivas tensões e correntes necessárias para seus funcionamentos.

**Tabela 1:** Tabela de consumo de tensão e corrente de sensores IoT

Tipo de Sensor	Tensão Necessária	Corrente Necessária
Sensor de Temperatura e Umidade	3,3V a 5V	400mA
Sensor de Pressão	3,3V	2,7 $\mu$ A
Sensor de Movimento (PIR)	5V	0,5mA a 10mA

Fonte: Próprios autores

**Tabela 2:** Tabela de consumo de tensão e corrente de IoT

Dispositivo IoT	Tensão Necessária	Corrente Necessária
ESP 32	2,2V ~ 3,3V DC	Média de 80mA
ESP 8266	3,3V	Aprox. 300mA
Arduino Uno R3	5V	50mA
Raspberry Pi	5V	Mínimo 2A

Fonte: Próprios autores

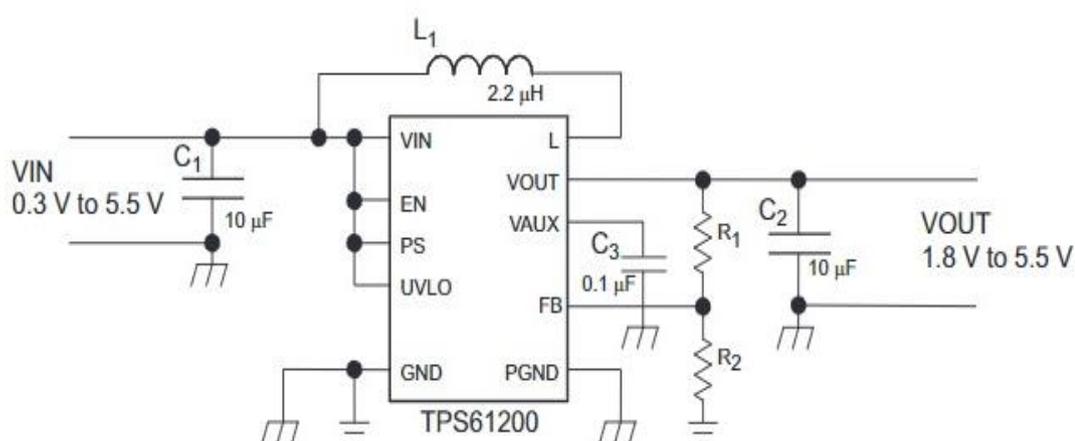
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema gerador de células higoelétricas para alimentar dispositivos IoT em níveis de tensão de 3,3V ou de 5V. A aplicação escolhida foi um sistema de alerta para localização de usuários que fazem trilhas em matas ou florestas que não possuem eletrificação disponível.

Para o projeto, a necessidade de elevar a tensão fornecida pelas células de higoeletricidade torna imprescindível o uso de conversores Boost, cuja eficiência é de 90%. Para atender às necessidades de conversão de tensão, serão utilizados dois tipos de chips conversores Boost: o TPS61202DRC e o TPS61201DRC. O TPS61202DRC será empregado para gerar uma tensão de saída de 5V, enquanto o TPS61201DRC fornecerá uma saída de 3,3V. Esses chips foram escolhidos devido à sua alta eficiência e capacidade de operar com uma tensão mínima de entrada de 0,9V e uma corrente média de aproximadamente 1350 mA.

A seleção entre os dois conversores será feita conforme as necessidades específicas dos microcontroladores e outros componentes do sistema. O esquema elétrico para a implementação do chip TPS61202DRC é apresentado na Figura 8, ilustrando a configuração necessária para alcançar a saída desejada de 5V (Texas Instruments, 2008).

**Figura 8:** Configuração TPS61202DRC para saída 5V



Fonte: alldatasheet (2007).

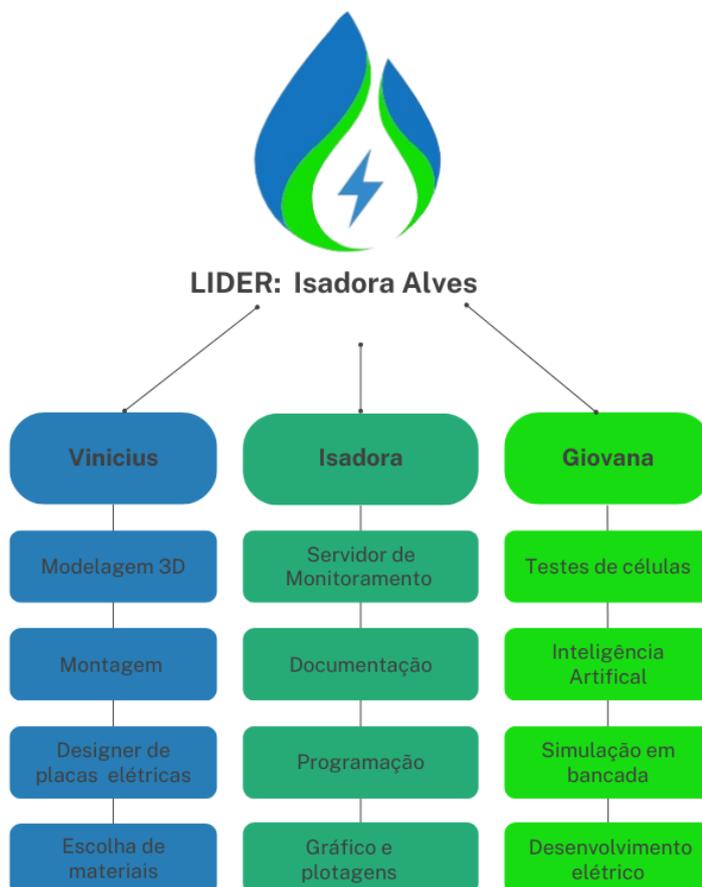
Para o desenvolvimento deste projeto foram desenvolvidos os seguintes itens:

- a) ORGANOGRAMA;
- b) CRONOGRAMA;
- c) DIAGRAMA DE BLOCOS;
- d) LISTA DE MATERIAIS;
- e) PROGRAMAÇÃO;
- f) HARDWARE e;
- g) PROJETO MECÂNICO.

## 2.1 Organograma

O Organograma apresentado na figura 9 mostra como o grupo foi organizado para desenvolver as atividades do projeto.

Figura 9: Organograma



Fonte: Próprios autores

## 2.2 Cronograma

No cronograma, mostrado na figura 10, apresenta as atividades desenvolvidas e os prazos para cada atividade.

**Figura 10:** Cronograma

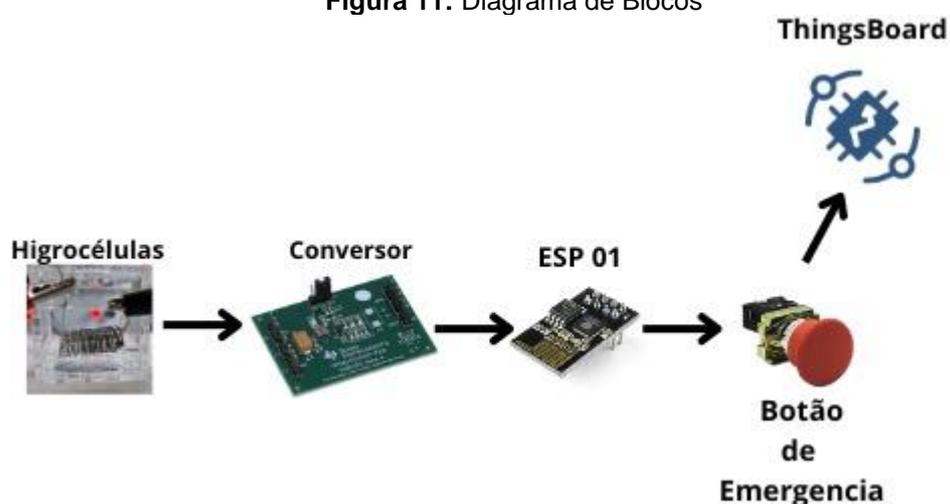
ETAPAS	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Aprofundamento no estudo das células			X	X	X	X	X	X				
Teste das placas anteriores e configuração de novos modelos				X	X	X	X	X				
Definição do cronograma e organograma					X							
Pesquisa Bibliográfica				X	X							
Lista de materiais e compra dos componentes					X	X						
Elaboração do circuito elétrico e programação do algoritmo						X	X					
Simulação do circuito em software de engenharia elétrica							X					
Montagem do protótipo em bancada, testes iniciais e validação							X	X				
Relatório Parcial					X	X	X	X				
Apresentação								X	X			
Relatório Final									X			
Participação em feiras									X	X	X	X

Fonte: Próprios autores

## 2.3 Diagrama de Blocos

O diagrama de blocos mostra como os componentes se interligam, demonstrado na figura 11.

**Figura 11:** Diagrama de Blocos



Fonte: Próprios autores

Ao analisar a figura 11, o protótipo opera da seguinte maneira: as placas de produção de energia, conhecidas como higrocélulas, estão conectadas a um conversor DC-DC. Esse conversor eleva a tensão gerada pelas células de higroeletricidade para um nível adequado para alimentar dispositivos IoT. Quando a tensão das células atinge um nível apropriado, o microcontrolador é alimentado, permitindo a realização de chamadas emergentes pelo botão. Com o microcontrolador operacional, é possível coletar os dados de tensão disponíveis e estabelecer comunicação com a plataforma ThingsBoard, permitindo o monitoramento da energia fornecida e acionamento do botão de emergência.

## 2.4 Lista de Materiais

A lista de materiais é mostrada na tabela 3, para mostrar que este protótipo para o monitoramento foi gasto cerca de R\$276,52 em materiais comerciais.

**Tabela 3: Lista de Materiais - Protótipo para Monitoramento**

Dispositivo de Monitoramento		Custo		
Qtd.	Material	Unitário	Total	Onde Comprar?
4	Conector Borne KRE 2 Vias	R\$ 1,33	R\$ 5,32	<a href="https://www.eletrogate.com/conector-borne-kre-2-vias">https://www.eletrogate.com/conector-borne-kre-2-vias</a>
1	Módulo WiFi ESP8266 - ESP-01	R\$ 12,00	R\$ 12,00	<a href="https://www.a2robotics.com.br/modulo-wifi-esp8266-esp-01">https://www.a2robotics.com.br/modulo-wifi-esp8266-esp-01</a>
2	Resistor 10K 1/4W	R\$ 0,11	R\$ 0,22	<a href="https://www.eletrogate.com/resistor-10k-1-4w-10-unidades">https://www.eletrogate.com/resistor-10k-1-4w-10-unidades</a>
1	Barra de Pino Fêmea	R\$ 1,80	R\$ 1,80	<a href="https://www.eletrogate.com/barra-de-pinos-femea-1-x40-180">https://www.eletrogate.com/barra-de-pinos-femea-1-x40-180</a>
		TOTAL:	R\$ 19,34	
Placa Conversora e Células		Custo		
Qtd.	Material	Unitário	Total	Onde Comprar?
3	Capacitor 10uF	R\$ 0,20	R\$ 0,60	<a href="https://www.eletrogate.com/capacitor-eletrolitico-10uf-x-16v">https://www.eletrogate.com/capacitor-eletrolitico-10uf-x-16v</a>
1	Indutor 2.2uH	R\$ 1,00	R\$ 1,00	<a href="https://www.acheicomponentes.com.br/indutor/indutor-2-2uh-pequeno-epoxy-axial-10">https://www.acheicomponentes.com.br/indutor/indutor-2-2uh-pequeno-epoxy-axial-10</a>
2	Capacitor 4.7uF	R\$ 0,20	R\$ 0,40	<a href="https://www.eletrogate.com/buscar?q=Capacitor+4.7uF">https://www.eletrogate.com/buscar?q=Capacitor+4.7uF</a>
1	TPS61202DRC CHIP	R\$ 9,32	R\$ 9,32	<a href="https://www.digikey.com.br/short/d5zwbdb0">https://www.digikey.com.br/short/d5zwbdb0</a>
4	Conector Borne KRE 2 Vias	R\$ 1,33	R\$ 5,32	<a href="https://www.eletrogate.com/conector-borne-kre-2-vias">https://www.eletrogate.com/conector-borne-kre-2-vias</a>
1	Resistor 100 Ohm	R\$ 0,11	R\$ 0,11	<a href="https://www.eletrogate.com/resistor-100r-1-4w-10-unidades">https://www.eletrogate.com/resistor-100r-1-4w-10-unidades</a>
		TOTAL:	R\$ 16,75	
Placas Higrocélulas		Custo		
Qtd.	Material	Unitário	Total	Onde Comprar?
1	Chapa de acrílico 3mm	R\$ 16,15	R\$ 16,15	<a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4413539828-chapa-placa-ps-colorido-tipo-acrilico-30cm-x-30cm-3mm">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4413539828-chapa-placa-ps-colorido-tipo-acrilico-30cm-x-30cm-3mm</a>
1	Fio de aço inox 212g	R\$ 15,87	R\$ 15,87	<a href="https://www.netalarmes.com.br/cerca-eletrica/acessorios/fios-para-cerca/fio-de-aluminio-para-cerca-eletrica-0-90-mm-carretel-500g">https://www.netalarmes.com.br/cerca-eletrica/acessorios/fios-para-cerca/fio-de-aluminio-para-cerca-eletrica-0-90-mm-carretel-500g</a>
1	Fio de alumínio 500g	R\$ 57,57	R\$ 57,57	<a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3718757284-folha-celofane-pp-25x32cm-c100-novapacking- JM">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3718757284-folha-celofane-pp-25x32cm-c100-novapacking- JM</a>
1	Folha Celofane	R\$ 19,50	R\$ 19,50	<a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3249549439-fita-de-magnesio-1-metro- JM#polycard_client=recommendations_vip-v2p&amp;re">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3249549439-fita-de-magnesio-1-metro- JM#polycard_client=recommendations_vip-v2p&amp;re</a>
1	Fita De Magnésio - 1 Metro	R\$ 44,90	R\$ 44,90	<a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3259076627-tinta-condutiva-reparador-de-circuitos-eletricos-5ml- JM?matt_tool=9230933">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3259076627-tinta-condutiva-reparador-de-circuitos-eletricos-5ml- JM?matt_tool=9230933</a>
1	Tinta condutiva (carbono)	R\$ 50,00	R\$ 50,00	<a href="https://www.mercadolivre.com.br/abracadeira-de-nylon-48x300mm-com-100-unidades-flex-lotus-cor-branco/p/MLB27587439?pdp_fil">https://www.mercadolivre.com.br/abracadeira-de-nylon-48x300mm-com-100-unidades-flex-lotus-cor-branco/p/MLB27587439?pdp_fil</a>
1	Abraçadeira de nylon	R\$ 20,86	R\$ 20,86	
		TOTAL:	R\$ 224,85	
Botão emergência		Custo		
1	Botão emergência	R\$ 15,58	R\$ 15,58	<a href="https://www.mercadolivre.com.br/boto-emergncia-ctrava-22mm-plastico-p20akr-r-1b-metaltex/p/MLB27067825#wid%3DMLB357669">https://www.mercadolivre.com.br/boto-emergncia-ctrava-22mm-plastico-p20akr-r-1b-metaltex/p/MLB27067825#wid%3DMLB357669</a>
		TOTAL:	R\$ 276,52	

Fonte: Próprios autores

## 2.5 Programação

Para a programação foi utilizada a linguagem C e programada no ambiente do Arduino IDE para programar o microcontrolador da plataforma Arduino IDE.

A figura 12 mostra o ambiente de programação com um trecho do código utilizado.

Figura 12: Ambiente de programação

```

groCell3__1_.ino
55 void setup() {
56   Serial.begin(115200); // Inicializa a comunicação serial com uma taxa de transmissão de 115200 bps
57   pinMode(led, OUTPUT);
58   WiFi.begin(ssid, password);
59
60   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
61     delay(500);
62     Serial.println("Iniciando conexao com a rede WiFi..");
63   }
64   Serial.println("Conectado na rede WiFi!");
65   digitalWrite(led, HIGH);
66 }
67
68 void loop() {
69   reconnectbroker();
70
71   int valorAnalogico1 = analogRead(pinEntradaAnalogica1); // Lê o valor da entrada analógica conectada ao pino especificado
72   valor1 = (-0.00003 * valorAnalogico1 * valorAnalogico1 + 0.8655 * valorAnalogico1 + 104.01) / 1000;
73
74   if (valor1 <= 0.11){
75     valor1 = 0.00;
76   }
77
78   doc["Dado01"] = (valor1);
79
80   int valorAnalogico2 = analogRead(pinEntradaAnalogica2); // Lê o valor da entrada analógica conectada ao pino especificado
81   valor2 = (-0.00003 * valorAnalogico2 * valorAnalogico2 + 0.8655 * valorAnalogico2 + 104.01) / 1000;
82
83

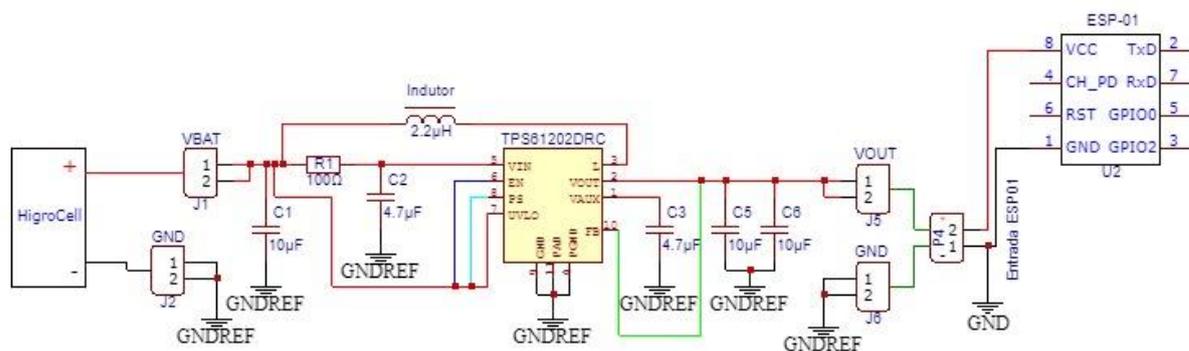
```

Fonte: Próprios autores

## 2.6 Hardware

Para desenvolver o esquema elétrico do projeto foi utilizado o software EasyEDA. A figura 13 mostra o esquema elétrico desenvolvido.

Figura 13: Esquema elétrico

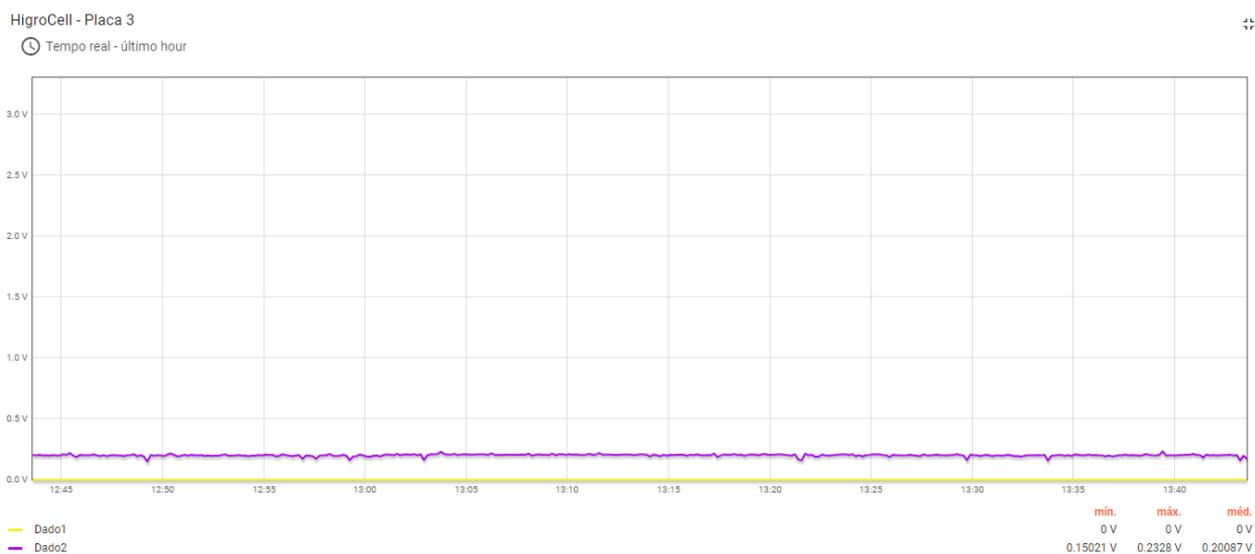


Fonte: Próprios autores

## 2.7 Sistema de Monitoramento

Para obter esse sistema para monitoramento, foi utilizada a plataforma ThingsBoard, o que possibilita futuros estudos como, por exemplo, a utilização de Inteligência Artificial, que já está no planejamento da equipe. A figura 14 mostra a o ambiente onde os dados são enviados e armazenados.

Figura 14: Dados armazenados



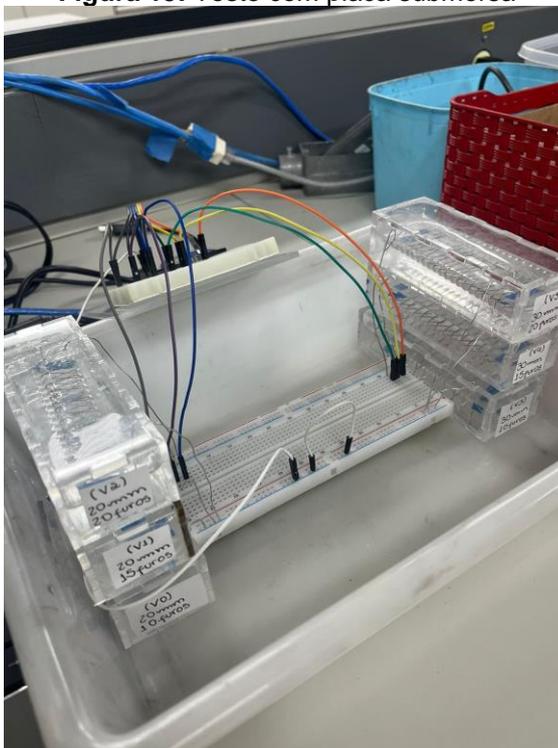
Fonte: Próprios autores

Nessa plataforma, é possível ter acesso em tempo real, os dados que estão sendo enviados naquele exato momento, contando com históricos para fazer a análise também. Capaz de utilizar diversas formas visuais para a exibição dos dados analisados, criando as 'dashboards' como esses gráficos, facilitando então sua visualização.

### 3 RESULTADOS

Os resultados obtidos até o mês de Maio foram os testes fundamentais, visando avaliar o desempenho das placas submersas em recipientes de acrílico como visto na figura 15.

**Figura 15:** Teste com placa submersa



Fonte:próprios autores

Foi desenvolvido insights sobre o comportamento das placas ao longo do tempo. Por exemplo, foi possível identificar um aumento gradual e consistente na tensão gerada pelas placas durante os primeiros minutos de exposição, e algumas placas seguido por uma estabilização ou até mesmo uma diminuição após um certo período, o gráfico 1 mostra os dados de alguns arranjos com as seguintes características:

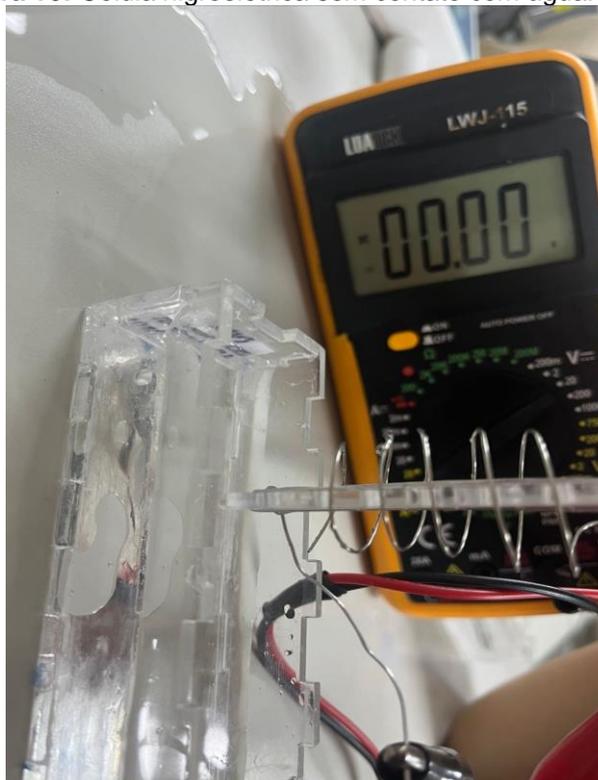
- (V0) 20mm, 10 furos
- (V1) 20mm, 15 furos
- (V2) 20mm, 20 furos
- (V3) 30mm, 10 furos
- (V4) 30mm, 15 furos
- (V5) 30mm, 20 furos

**Gráfico 1:** Relação de tempo X tensão para as placas

Fonte: próprios autores

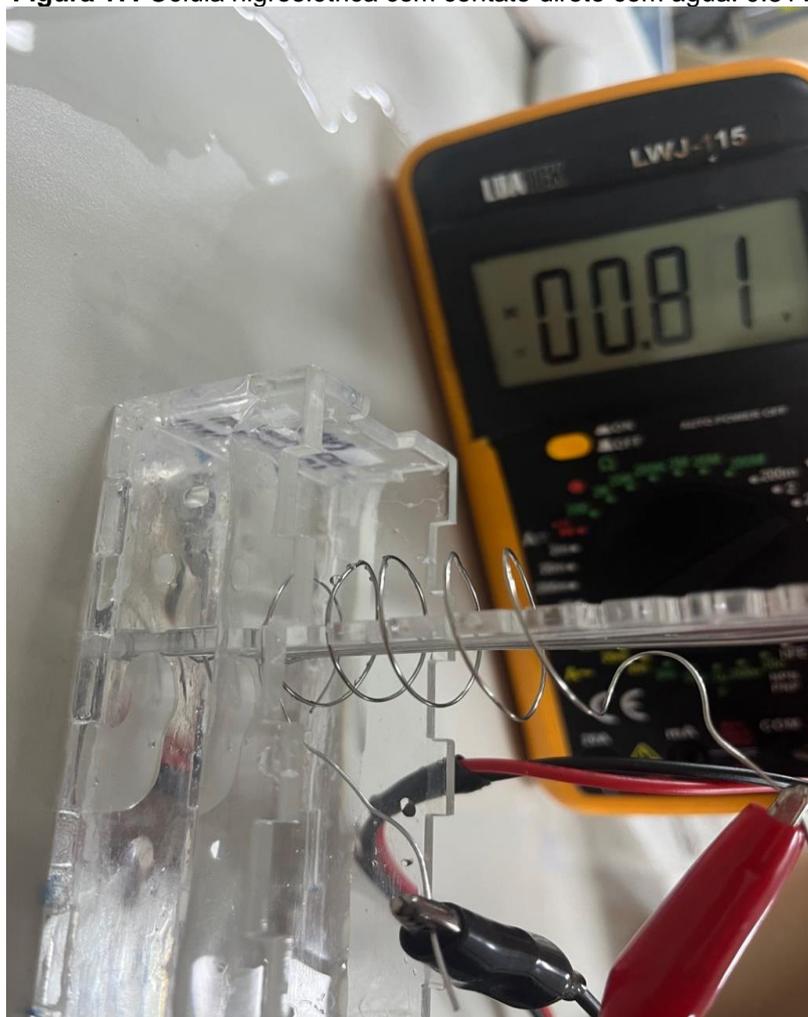
Este projeto tem a proposta de desenvolver um equipamento conversor DC-DC para elevar o nível de tensão das células de higroeletricidade para níveis apropriados para os dispositivos IoT.

Um comparativo do funcionamento das células que serão utilizadas neste trabalho pode ser visto nas figuras 16 e 17, onde é mostrado a célula geradora sem contato com a água e em seguida em contato com a água.

**Figura 16:** Célula higroelétrica sem contato com água: 0.00V

Fonte: Próprios autores

**Figura 17:** Célula higroelétrica com contato direto com água: 0.81V



Fonte: próprios autores

Após a implementação de melhorias e a realização de análises detalhadas das características das placas, alcançaram-se significativos não apenas na eficiência da geração de energia, mas também na otimização do design e da disposição dos materiais utilizados, como pode ser observado na figura 18.

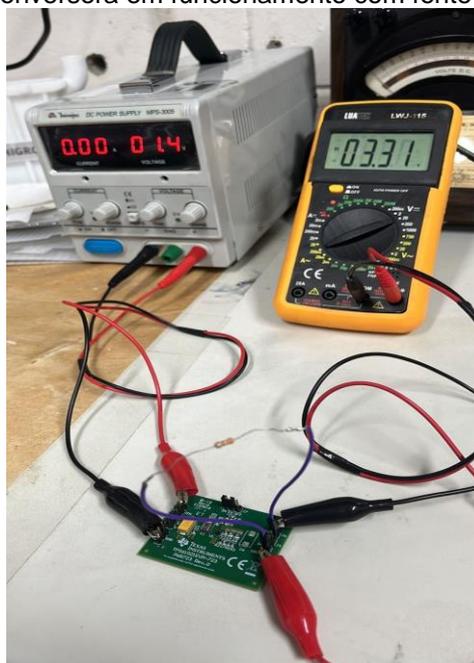
**Figura 18:** Otimização: Nova configuração para 1.00 V



Fonte: próprios autores

Na figura 19, pode-se observar o funcionamento em bancada da placa conversora ligada a uma fonte regulável com a corrente e tensão mínima necessária para ser acionada, como se espera funcionar utilizando as higrocélulas.

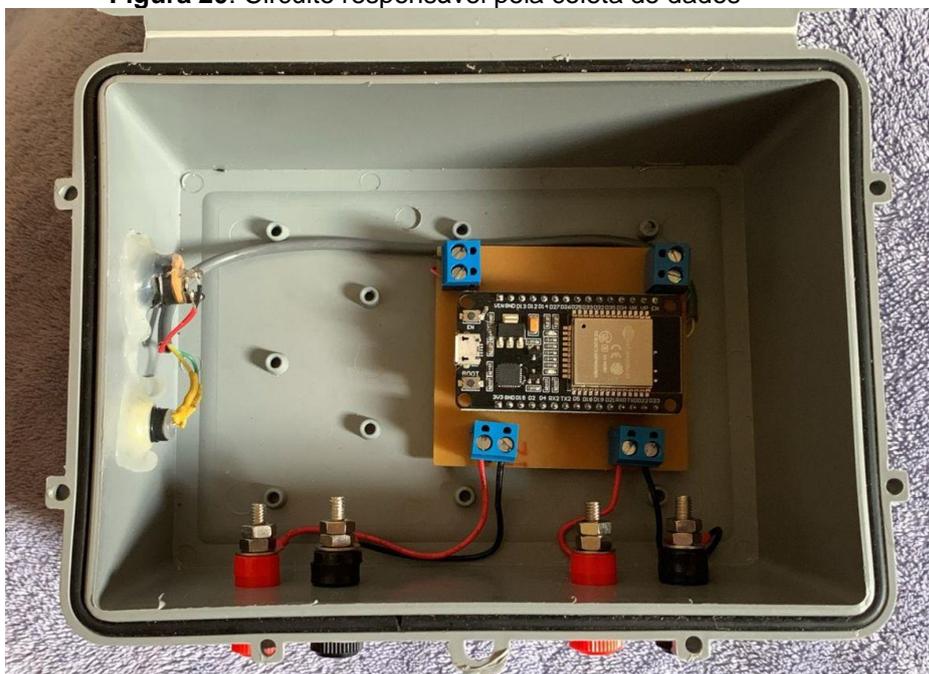
**Figura 19:** Placa conversora em funcionamento com fonte de bancada



Fonte:próprios autores

Na figura 20, é visível o esquema do circuito responsável pela coleta de dados das células e sua transmissão para a plataforma de monitoramento. Este circuito foi montado em uma PCB (placa de circuito impresso).

**Figura 20:** Circuito responsável pela coleta de dados



Fonte: Próprios autores

A figura 21 mostra uma ilustração do projeto mecânico desenvolvido no software 3D Fusion 360 versão educacional. Nela, é possível observar como o design está tomando forma, permitindo uma visualização realista do projeto. Este desenho será modelado inicialmente em uma impressora 3D.

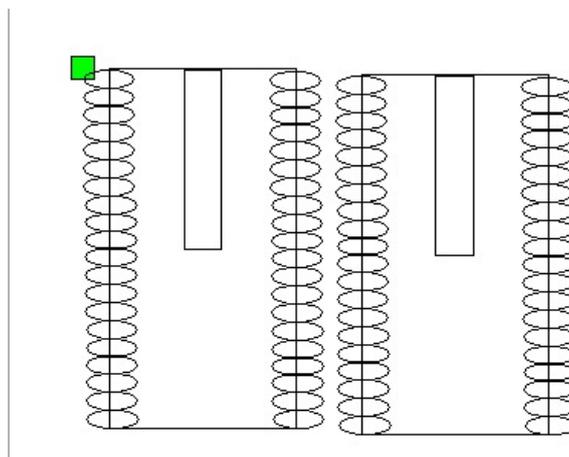
**Figura 21: Modelo de totem ilustrativo**



Fonte: Próprios autores

A figura 22 mostra uma ilustração do projeto mecânico desenvolvido no software 3D Fusion 360 versão educacional. Nela, é possível observar como o design está tomando forma, permitindo uma visualização realista do projeto. Este desenho será modelado inicialmente em uma impressora 3D.

**Figura 22:** Design final de configuração



Fonte: Próprios autores

Na figura 23 é possível ver que o sistema de higrocélulas já consegue energizar um dispositivo IoT e mantê-lo energizado para a transmissão de informações. Conforme a configuração das higrocélulas consegue-se variar as capacidades de corrente e tensão. A energia está sendo armazenada em um capacitor de 1F, como o sistema fornece energia 24h por dia e o sistema só é ativado sob demanda, e se mostrou viável.

**Figura 23:** IoT energizado

Fonte: Próprios autores

A célula higroelétrica desenvolvida tem o material suporte de acrílico transparente de 3mm, os fios condutores utilizados são de aço inox diâm. 0,5mm (+) e Magnésio 2,3mm x 0,5mm (-) (LxE) para auxiliar na condutividade foi utilizado tinta de carbono no aço Inox e papel celofane. O desenho apresentado na figura 24 mostra a célula higroelétrica. Para os cortes dos materiais foi utilizada uma cortadora laser PrimeUltmaker 100W. A célula higroelétrica desenvolvida que fornece em seu terminal 1,5v e cerca de 100 microA, as dimensões desta célula é de 30mm x 10mm e uma massa de 4g.

**Figura 24:** Configuração final da célula

Fonte: Próprios autores

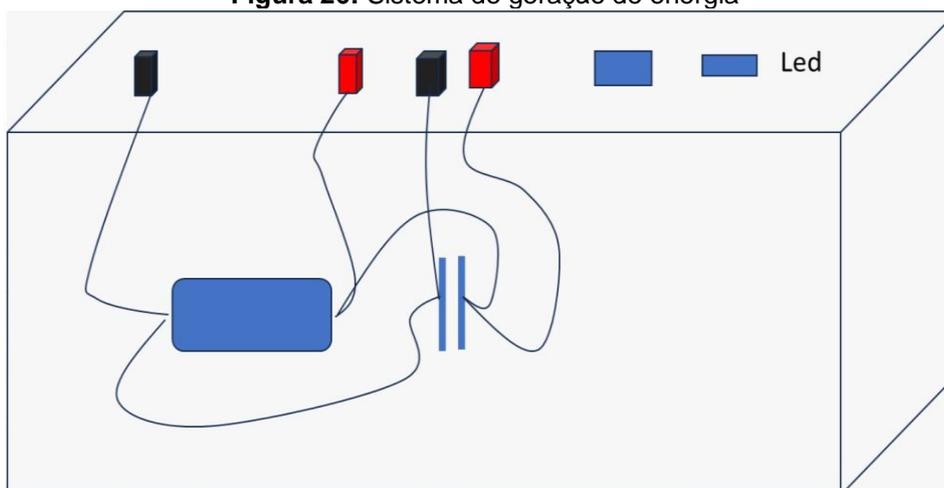
Após a definição da configuração ideal para as células, montaram-se cerca de 35 unidades com os materiais especificados. Essas células foram conectadas em paralelo para melhorar o aumento da corrente e, em seguida, foram submersas em uma bacia com água para a avaliação dos resultados experimentais, como pode ser observado na figura 25.

**Figura 25:** Conjunto com 35 células



Fonte: Próprios autores

Para demonstrar o funcionamento da ideia de higroneletricidade e a possibilidade de extrair energia para diferentes aplicações, na figura 26 observa-se o desenho um sistema no qual as células foram conectadas às entradas do P4. Ao acionar o botão, o LED acendeu, e o multímetro exibe a geração de energia, comprovando assim o funcionamento do sistema.

**Figura 26:** Sistema de geração de energia

Fonte: Próprios autores

A montagem do sistema foi concluída com sucesso, conforme ilustrado na Figura 27.

**Figura 27:** Montagem do sistema

Fonte: Próprios autores

Na Figura 28, observe-se o modelo 3D, cuja impressão demorou cerca de 15 horas. A peça foi dividida em duas partes: o corpo e a base, utilizando aproximadamente 500g de filamento PLA e adesivado.

Figura 28: Impressão 3D concluída



Fonte: Próprios autores

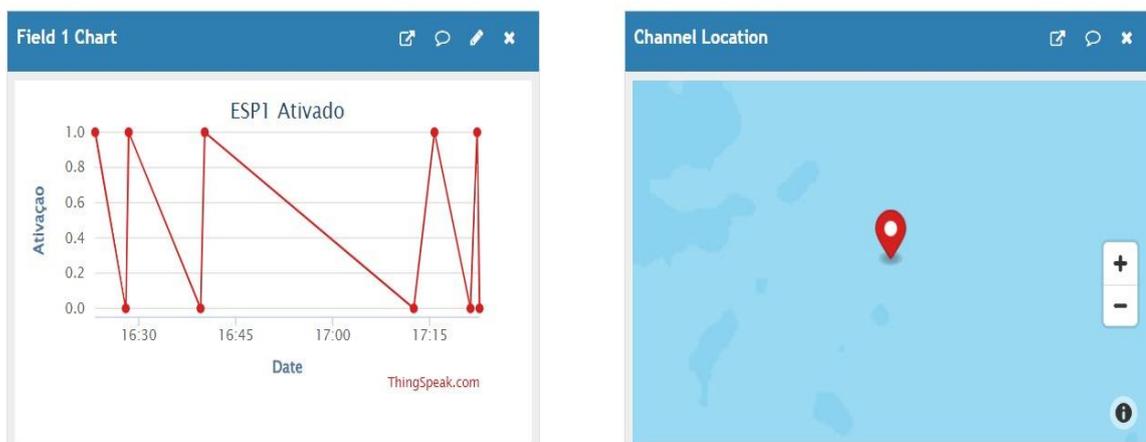
Para a verificação da chamada SOS e a notificação ao órgão responsável, desenvolvemos um canal na plataforma ThinkSpeak observado na figura 29. Com essa configuração, ao iniciar o botão, o sistema envia um sinal indicando a ativação do totem e sua localização exata.

**Figura 29:** Plataforma ThinkSpeak

## Channel Stats

Created: [about a year ago](#)Last entry: [about 5 hours ago](#)

Entries: 157



Fonte: Próprios autores

Para demonstrar a coleta de chamadas de emergência, foi desenvolvido um receptor de chamados, conforme ilustrado na Figura 30. O sistema, equipado com um módulo ESP8266 para receber os sinais de emergência. Um LED verde foi adicionado para indicar a alimentação da fonte de energia, garantindo que o receptor esteja operacional.

**Figura 30:** Receptor de chamados

Fonte: Próprios autores

### **3.1 Próximos Passos**

Para o desenvolvimento do projeto serão executados os seguintes passos até o mês de setembro em 2024.

- a) Validação do protótipo em campo;
- b) Análise da eficiência do sistema elétrico;
- c) Avaliação de condições ambientais locais para instalação do totem;
- d) Implementação de Recursos de Localização e;
- e) Integrar IA (Inteligência Artificial) para priorizar e alocar eficientemente recursos de resgate.

## **4 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nosso projeto de desenvolver um sistema conversor DC-DC com higrocélulas para energia harvesting avançou significativamente. Conseguimos alimentar um módulo ESP-01, comprovando que as células higroelétricas geram tensão suficiente para dispositivos IoT em áreas sem eletrificação. Definimos a configuração ideal das células, otimizando a eficiência do sistema. Além disso, propusemos um totem para chamadas de emergência em regiões remotas, projetado no Fusion 360 e que será produzido em impressora 3D. Esses resultados validam a viabilidade do projeto e indicam que estamos prontos para seguir rumo à implementação final.

## REFERÊNCIAS

ALLDATASHEET. TPS61202DRC TexasInstruments PDF. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/257037/TI/TPS61202DRC.html>>.

Acesso em: 21 maio. 2024.

ANTÔNIO PETRY, C. Introdução aos Conversores CC-CC . , 1 ago. 2001. Disponível em: <[https://professorpetry.com.br/Bases\\_Dados/Apostilas\\_Tutoriais/Introducao\\_Conversores\\_CC\\_CC.pdf](https://professorpetry.com.br/Bases_Dados/Apostilas_Tutoriais/Introducao_Conversores_CC_CC.pdf)>. 2024.

AVELAR, Julio Nunes. **Escolhendo microcontroladores para dispositivos IoT e Sistemas embarcados**. 2023 Disponível em:

<<https://embarcacoes.ic.unicamp.br/posts/microcontroladores/>>. Acesso em: 13 maio. 2024.

DE STASI, F. Working with Boost Converters. , 1 jun. 2015. Disponível em:

<<https://www.ti.com/lit/an/snva731/snva731.pdf>>. Acesso em: 11 maio. 2024

DINO. Expansão da IoT no Brasil inclui atividades agrárias. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/expansao-da-iot-no-brasil-inclui-atividades-agrarias,626e885f09529350d6127735dd9c1912un0t1qx8.html>>. Acesso em: 11 maio. 2024.

Facchini, Moisés Panegassi; Mesquita, Nathalia Pinheiro; Oliveira, Rafael Padovani; França, Patrícia Gallo de. **INTERNET DAS COISAS: UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. Conex. Ci. e Tecnol. Fortaleza/CE, v.11, n. 6, p. 85-90, dez. 2017

Garg, Neha & Ritu, Garg. **Energy harvesting in IoT devices: A survey**.

Proceedings of the International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS 2017) IEEE Xplore Compliant. 2017.

GUSE, R. **Conversor de tensão DC-DC: Entenda como funciona**. Disponível em: <<https://www.makehero.com/blog/como-funciona-um-conversor-de-tensao-dc-dc/>>.

Acesso em: 11 maio. 2024.

Inomat. **UM FATO INÉDITO: PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E DE HIDROGÊNIO A PARTIR DA ÁGUA, NO AMBIENTE.** Notícias. 2023. Disponível em:

<https://inomat.iqm.unicamp.br/noticias.php?idNoticia=46>

Lermen, Diana. **EFEITOS DA CONFIGURAÇÃO E DE PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DE DISPOSITIVOS HIGROELÉTRICOS.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, 2022.

Acesso em: 5 maio. 2024

Galembeck F, Santos LP, Burgo TAL, Galembeck A. The emerging chemistry of self-electrified water interfaces. *Chem Soc Rev.* 2024 Mar 4;53(5):2578-2602. doi: 10.1039/d3cs00763d. PMID: 38305696.

Huang Y, Cheng H, Yang C, Zhang P, Liao Q, Yao H, Shi G, Qu L. **Interface-mediated hygroelectric generator with an output voltage approaching 1.5 volts.** *Nat Commun.* 2018 Oct 9;9(1):4166. doi: 10.1038/s41467-018-06633-z. PMID: 30301892; PMCID: PMC6177432.

Martins, Denizar; *Conversores cc-cc basicos nao isolados - ivo barbi.* Disponível em: <<https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-da-paraiba/engenharia-eletrica/conversores-cc-cc-basicos-nao-isolados-ivo-barbi/55746454>>. Acesso em: 22 maio. 2024.

Martins, Denizar Cruz. *Eletrônica de Potência: conversores CC-CC básicos não isolados.* 2 ed. Florianópolis. Ed. dos Autores, 2006

Nascimento, Simon. **Número de desaparecimentos em trilhas aumentou em Minas no primeiro semestre de 2017.** Estado de Minas, 2017. Disponível em:

[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/07/13/interna\\_gerais,883561/numero-de-desaparecimentos-em-trilhas-aumentou-em-minas-em-2017.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/07/13/interna_gerais,883561/numero-de-desaparecimentos-em-trilhas-aumentou-em-minas-em-2017.shtml)

ROSALES, J. Sensores IoT - Guia completo de aplicação e utilização. Fracttal.comFracttal, 17 jan. 2024. Disponível em: <<https://www.fracttal.com/pt-br/guias-manutencao/o-que-sao-sensores-iot>>. Acesso em: 21 maio. 2024

Oliveira, Tatiane Martins. CONVERSOR CC-CC CUK QUADRÁTICO PARA APLICAÇÕES COM AMPLAS TAXAS DE CONVERSÃO uf. São João Del-Rei. Ed. dos Autores, 2021.