

# Sistema de Transmissão de Dados e Consumos de Energia com Microcontroladores

## *Data Transmission System and Energy Consumption with Microcontroller*

Bruno Bortolato, Vinicius Amaro da Rosa

2023, Outubro

### Resumo

O projeto se dedica à exploração dos conceitos relacionados à saúde das baterias e suas aplicações práticas. O foco central é a proposição de uma solução abrangente para o monitoramento e transmissão do estado da bateria em circuitos. Utilizando tecnologias avançadas, como o ESP (Sistema Embarcado), sensores de tensão e corrente, uma API MQTT para transmissão e armazenamento de dados, e simulações com LoRa, o estudo visa avaliar a eficácia de diferentes frequências de envio de dados para simular variações nos padrões de consumo de energia. Este trabalho é fundamental não apenas para a manutenção das baterias, mas também para viabilizar a operação de dispositivos em locais remotos e contribuir para a eficiência energética em uma variedade de aplicações.

**Palavras-chaves:** Bateria, Monitoramento, Transmissão, Microcontrolador.

# 1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo aprofundar-se nos conceitos associados à saúde das baterias e explorar suas aplicações práticas para fins de validação. O foco principal reside na concepção de uma solução abrangente para o monitoramento e transmissão do estado da bateria em circuitos. Para alcançar esse objetivo, são empregadas tecnologias avançadas, como o ESP (Sistema Embarcado) para a transmissão eficiente de dados, e o Arduino Nano equipado com sensores de corrente e tensão para o monitoramento do consumo da bateria.

O Arduino Nano desempenha um papel vital no sistema, incorporando uma placa com sensores dedicados para medir a corrente e a tensão da bateria. Esses sensores garantem uma coleta precisa de dados, fundamentais para a análise do consumo de energia. A escolha do Arduino Nano como plataforma de monitoramento se baseia na sua capacidade de integração eficiente com sensores específicos, proporcionando uma solução compacta e de baixo consumo.

Por sua vez, o ESP é encarregado da transmissão dos dados coletados para uma plataforma externa. Sua função é garantir uma comunicação eficaz e confiável. Este componente não apenas facilita a transmissão de informações, mas também permite uma implementação flexível e escalável do sistema.

Além disso, este estudo inclui simulações utilizando a tecnologia LoRa para avaliar o desempenho do sistema em diferentes cenários. Os parâmetros de simulação, como distância, interferência e taxa de transferência, são ajustados considerando as características específicas do ESP e do Arduino Nano. Os resultados dessas simulações são apresentados de forma clara, evidenciando como as variações nos parâmetros podem impactar o consumo de bateria.

A avaliação da eficácia de diferentes frequências de envio de dados é conduzida através de testes rigorosos. A sincronização entre o Arduino Nano e o ESP, juntamente com a otimização das taxas de transmissão, é fundamental para encontrar um equilíbrio adequado entre atualização em tempo real e economia de energia.

Em conclusão, este estudo visa não apenas explorar os conceitos fundamentais relacionados à saúde das baterias, mas também oferecer uma solução prática e eficiente para o monitoramento e transmissão do estado da bateria em circuitos. A integração sinérgica entre o Arduino Nano e o ESP, aliada às simulações abrangentes, proporciona uma base sólida para conclusões significativas e recomendações práticas na área de sistemas ubíquos.

Na Seção 2 é feita a descrição funcional do sistema. Na Seção 3 é feita a descrição estrutural do sistema. Posteriormente, na ??, procederemos com a Análise de Performance, avaliando os resultados e para finalizar na Seção 4 as conclusões pertinentes.

## 2 Descrição Funcional

Nesta seção é feita as descrições do funcionamento do sistema quanto a interação com o mundo externo. Inclui-se funcionalidades, configurabilidade, eventos e tratamentos de eventos. Para o projeto de desenvolvimento do Sistema de Monitoramento, se faz necessário o levantamento dos requisitos Funcionais e Não-Funcionais que demandam o sistema. Ademais, será também apresentado as referentes Regras de Negócio que serão implementadas em seu desenvolvimento.

## 2.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais especificam funções que o sistema deve ser capaz de realizar, tais requisitos descrevem o comportamento do sistema capturando as funcionalidades do ponto de vista do usuário. Como o projeto consiste na implementação de um sistema de monitoramento de consumo de bateria com microcontrolador, existem alguns requisitos funcionais que devem ser implementados, entre eles:

- RF01: Fazer medições de potência, corrente e tensão da bateria.
- RF02: Medições feitas com diferentes intervalos de transmissões.
- RF03: Definir parâmetros pelo prompt do intervalo.
- RF04: Utilização do LoRa, com diferentes parâmetros de potência, para aumentar distância da medição.

## 2.2 Requisitos Não-Funcionais

Os requisitos Não-Funcionais do sistema se referem aos aspectos de qualidade e usabilidade do produto, neste caso:

- RNF01: O sistema deve ficar preparado em uma caixa contendo todos componentes.

## 2.3 Regras de Negócios

O sistema deve garantir a implementação das seguintes regras de negócio:

- RN01: Somente professores e alunos terão acesso ao sistema.

# 3 Descrição Estrutural do Sistema

Nesta seção é descrita a arquitetura/estrutura do sistema. São apresentados os diferentes componentes que compõe o sistema e suas relações. O detalhamento estrutural inclui as especificações técnicas dos componentes utilizados, bem como, o contexto de atuação de cada componente.

## 3.1 Hardware

### 3.1.1 Arduino Nano

O Arduino Nano é uma placa de desenvolvimento microcontrolada de tamanho reduzido. É uma placa de baixo custo e fácil de usar, tornando-a uma excelente opção para iniciantes em eletrônica e programação.

A seguir, será listado suas especificações técnicas:

Ele foi projetado para ser uma versão compacta e de baixo custo do Arduino Uno, oferecendo funcionalidades semelhantes em um tamanho reduzido. O Arduino Nano é amplamente utilizado por entusiastas e profissionais para prototipagem rápida, projetos eletrônicos e educação em engenharia.

Figura 1 – Arduino Nano

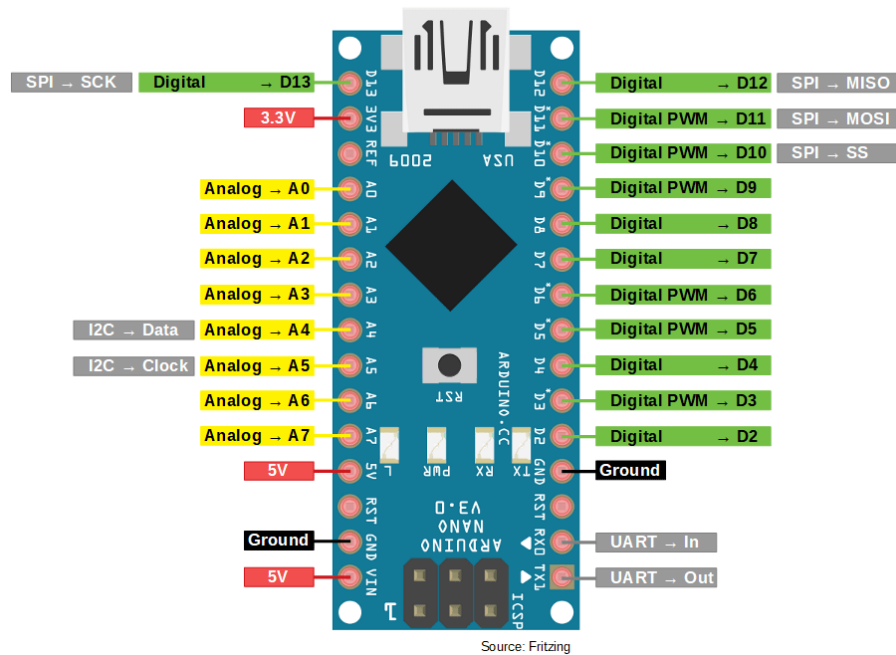


Tabela 1 – Especificações técnicas do Arduino Nano

Especificações técnicas	
Microcontrolador	ATmega328
CPU Velocidade	16MHz
Conexões	Micro USB
Memória Flash	16 KB
Mem. Bootloader	2 KB
Memória SRAM	1 KB
Memória EEPROM	1 KB
Portas PWM	6
Portas Digitais	14
Portas Analógicas	8
IO Voltage	5V
Corrente Portas IO	40mA
I2C(TWI)	1
SPI	1
UART	1
Alimentação	7 - 12V

### 3.1.2 ESP-WROOM-32

O microcontrolador ESP-WROOM-32 possui suporte a Wifi, Bluetooth, Ethernet e opera em baixa potência.

A seguir, será listado suas especificações técnicas:

O ESP-WROOM-32 atuará no módulo construído para a central de monitora-

Figura 2 – ESP-WROOM-32

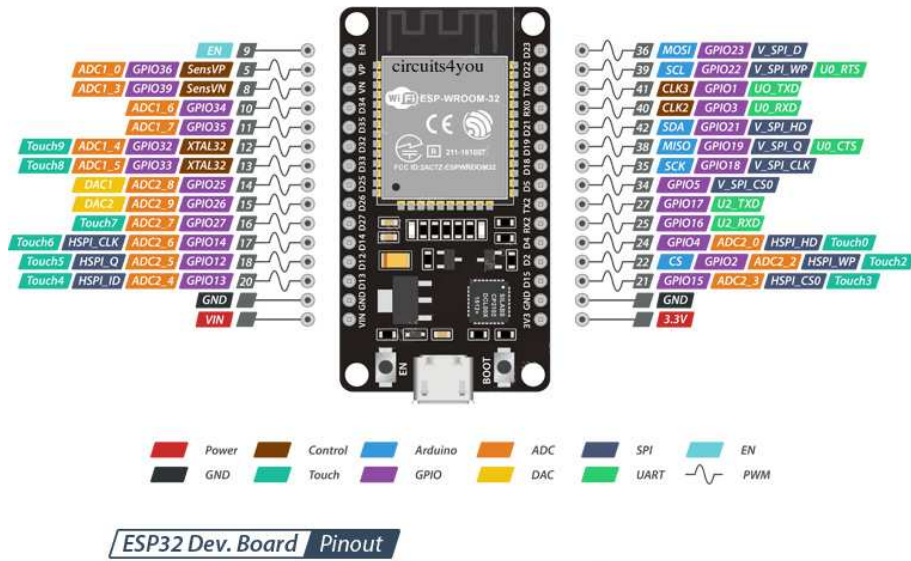


Tabela 2 – Especificações técnicas do ESP-WROOM-32

Especificações técnicas	
Microcontrolador	Xtensa 32-Bit LX6 Dual Core
Pinos Digitais I/O	36
Pinos ADC - 12 BITS	16
Pinos DAC - 8 BITS	2
UARTs	3
SPIs	3
I2Cs	2
Memória Flash	4 MB
SRAM	520 KB
Velocidade de Clock	240Mhz
TIMERS	4
Sensores Touch Capacitivos	10
Sensor de Temperatura Intereno	1
Sensor de Efeito Hall	1
RTC Interno	1
WiFi IEEE 802.11 b/g/n	2.4 - 2.5GHz
Bluetooth Low Energy	v4.2

mento. Será utilizado para a implementação da captura de dados da interface de física, comunicação com o servidor, armazenamento na base de dados, procedimento de validação da identificação e controle de atuação.

### 3.1.3 INA219

O INA219 é um circuito integrado de medição de corrente e tensão altamente preciso e de baixa potência.

Figura 3 – INA219

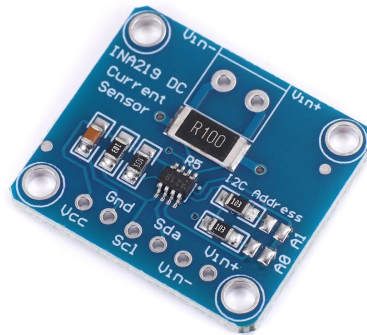


Tabela 3 – Especificações técnicas do INA219

Especificações técnicas	
Alimentação	3.3 a 5VDC
Tensão de medição	0 a 26VDC
Corrente de medição	0 a 3.2A
Margem de erro	$\pm 0,1$ a $\pm 0,8\text{mA}$
Comunicação	I2C
ADC	12 BITS
Temperatura de Funcionamento	-40°C - 125°C

A seguir, será listado suas especificações técnicas:

O INA219 atuará junto ao módulo construído para a central de monitoramento. Será utilizado para monitorar e controlar a corrente e a tensão em sistemas alimentados por bateria ou fontes de energia alternativas.

#### 3.1.4 OLED I2C

OLED (Organic Light-Emitting Diode) é uma tecnologia de exibição que utiliza diodos orgânicos para emitir luz. Quando integrado a um módulo I2C (Inter-Integrated Circuit), cria-se um display OLED I2C, que é popular para projetos eletrônicos, especialmente em microcontroladores como o Arduino.

Tabela 4 – Especificações técnicas do OLED IC2

Especificações técnicas	
Tamanho	1.3 Polegadas
Resolução	128*64
Cor Display	Branca
Driver	SSD1106
Protocolo	Suporte Protocolo de Comunicação I2C
Compatibilidade	Arduino, Raspberry Pi, UNO R3, ESP
Temperatura de Funcionamento	-30°C - 70°C

Figura 4 – LCD



A seguir, será listado algumas de suas especificações técnicas: O LCD é utilizado na interface de atuação. Será utilizado como um visualizador do mensagens de consumo.

### 3.1.5 Diagrama de Interface

Nesta seção será apresentado o diagrama esquemático que compõe o sistema de monitoramento de consumo de bateria. Abaixo, é possível visualizar o diagrama esquemático dos componentes utilizados, sendo que o dispositivo de controle central está sendo representado pelo Arduino NANO na imagem, conectado ao display OLED IC2 e ao leitor de corrente e tensão INA219.

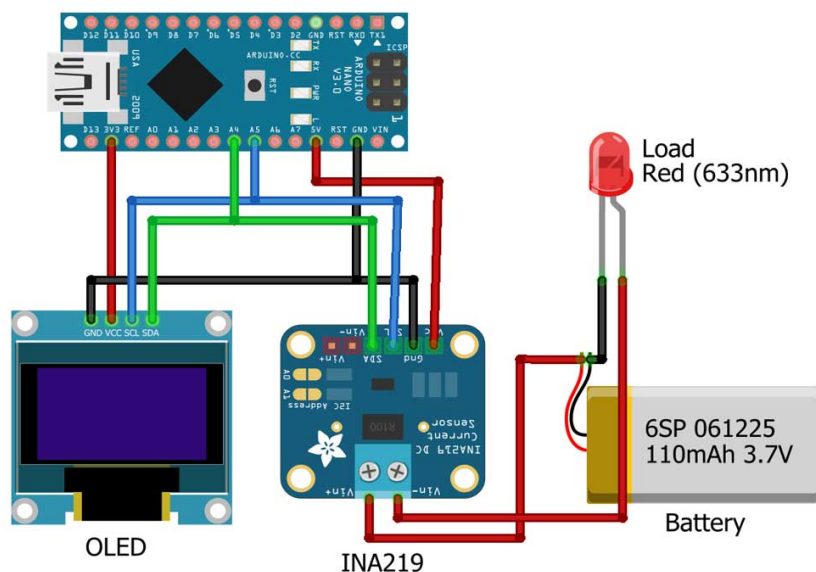
O processo inicial para manipular o protótipo envolve a conexão das pinagens VCC e GND do LCD aos respectivos pinos 5V e GND do Arduino Nano. Em seguida, deve-se conectar os pinos SCL e SDA do display às entradas A5 e A4 do Arduino Nano. Após essa etapa de conexão, é imperativo configurar na IDE Arduino as mensagens que serão exibidas no display, o que pode ser feito utilizando a biblioteca `Adafruit_SSD1306`.

A leitura da corrente, tensão e potência será executada pelo INA219. Os pinos do INA219 serão integrados de maneira análoga aos pinos do display OLED IC2. Isso garantirá a operação eficaz dos componentes. Para a leitura da bateria, o pino Vin+ deve ser conectado a uma fonte de alimentação de bateria e o Vin- a uma carga, que ira ser feita a medição.

É crucial tomar precauções ao lidar com o INA219, especialmente em situações de alta potência. Certificando de que a fonte de energia e os cabos utilizados suportem a corrente que será medida. Além disso, evite curtos-circuitos e mantenha a área de trabalho organizada e limpa para prevenir danos aos componentes e garantir medições precisas.

Para finalizar, o LED vermelho representa a carga que irá utilizar a bateria. Dessa

Figura 5 – Esquemático dos Componentes



forma, qualquer componente que demande corrente para funcionamento poderá utilizar dessa alimentação e o mesmo será monitorado pelo microcontrolador nano. Neste caso, a carga utilizada representa o componente que vai realizar a transmissão dos dados, sendo ele ESP e LoRa.

## 4 Desenvolvimento

Nesta seção é descrito os procedimentos realizados para o uso do protótipo. Os códigos produzidos estão disponíveis no link: <[https://github.com/ViniciusRosa1/Get\\_Current\\_INA.git](https://github.com/ViniciusRosa1/Get_Current_INA.git)>

### 4.1 Prototipação

Nesta seção será tratada a prototipação do sistema de controle de leitura de corrente e tensão. Na imagem abaixo, é possível observar o sistema prototipado como um todo



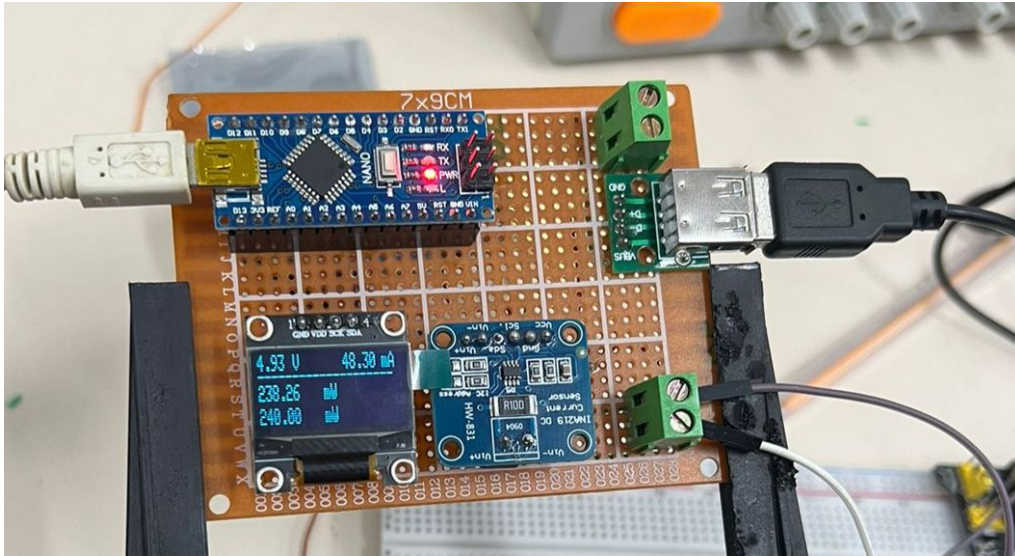


Figura 6 – Protótipo Final do Sistema

Na prototipação do sistema de controle de leitura de corrente e tensão, o Arduino Nano e o módulo INA219 desempenham papéis fundamentais. O Arduino Nano, serve como o cérebro do sistema, coordenando as operações e processando dados. O módulo INA219, por sua vez, é responsável por medir com precisão a corrente e a tensão no circuito. Esta combinação permite uma monitorização precisa e em tempo real dessas variáveis elétricas.

No contexto específico desse projeto, a carga para a qual as leituras são realizadas é um ESP32, que assume o papel de transmissor de dados. O ESP32 envia mensagens contendo informações relevantes sobre a corrente e a tensão ao Arduino Nano, estabelecendo assim um canal de comunicação eficiente. Esse intercâmbio de dados entre o ESP32 e o Arduino Nano representa uma integração sinérgica, onde o ESP32 desempenha um papel ativo na geração de carga, enquanto o Arduino Nano supervisiona e registra as variáveis elétricas associadas.

Essa abordagem oferece não apenas uma coleta de dados precisa, mas também a capacidade de monitorar e controlar remotamente o consumo de corrente e tensão em tempo real. A interconexão entre o Arduino Nano, INA219 e ESP32 cria uma base sólida para a implementação de um sistema eficaz de controle de leitura, com potencial para aplicação em uma variedade de contextos, desde monitoramento de dispositivos IoT até projetos de automação residencial. V

## 5 Resultados

A partir da montagem e validação do monitoramento do consumo da bateria e do software responsável pela transmissão dos dados, é possível seguir com os cenários de testes para efetivamente encontrar a relação proposta entre os parâmetros. Sendo assim, as três principais variáveis consideradas nas configurações iniciais do ESP são:

- Potência emitida
- Tamanho do pacote de dados
- Frequência ou intervalo de transmissão dos dados

Porém, objetivando uma análise mais assertiva, foram obtidas as seguintes informações com os testes:

- Distância máxima
- Corrente máxima
- Tempo de resposta

Dessa forma, foram obtidos os seguintes dados da tabela a seguir:

	Potência Emitida (db)	Tam. Pacote (bytes)	Frequência (s)	Distância (m)	Corrente (mA)	Tempo Resposta (ms TTL)
Esp LORA – Teste 1	5	30	1	150	300	1200
Esp LORA – Teste 2	21	30	1	600	330	1200
Esp LORA – Teste 3	21	20	1	600	330	1200
Esp LORA – Teste 4	21	30	3	700	330	1200
Esp LORA – Teste 5	21	30	0.5	300	330	1200
Esp LORA – Teste 6	21	30	5	700	330	1200
Esp LORA – Teste 7	10	30	3	450	300	1200
Esp LORA – Teste 8	10	30	2	300	300	1200
Esp LORA – Teste 9	21	50	3	700	350	1200
LORA E32	21	30	3	700	350	1200
ESP (sem antena)	5	10	3	200	300	1200
ESP mesh – Teste 1	5	10	3	200	300	1200
ESP mesh – Teste 2	19	10	3	300	330	1200

Figura 7 – Testes realizados

Foram realizados 13 testes alterando as 3 variáveis de entrada como potência, frequência de emissão de mensagens e tamanho da mensagem. 9 destes foram testando a comunicação entre dois dispositivos esp32 Lora Heltec V3, um teste foi com um esp32 utilizando uma interface Lora através de uma placa E32 serial e por fim, os 3 últimos testes foram utilizando outro protocolo de comunicação, neste caso o esp NOW. É possível verificar que a melhor distância estava atrelada à maior potência de emissão sinal (como visto no teste 4 e no teste ESP mesh teste 2), a frequência adequada pareava nos 3 segundos, os demais parâmetros pouco alteravam na qualidade do sinal.

Por outro lado, obtivemos um gráfico revelador que representa a corrente ao longo do tempo durante a transmissão do ESP LoRa. O gráfico exibe notáveis picos que ultrapassam os 300 mA, enquanto a média do consumo do microcontrolador durante esse período permanece em torno de 150 mA. Essa representação visual oferece uma visão detalhada do comportamento dinâmico da corrente durante a operação de transmissão, destacando momentos de demanda energética mais intensa. A análise desses dados é crucial para compreender os padrões de consumo e, assim, identificar oportunidades de otimização para futuras iterações do sistema. A seguir, apresentamos o gráfico que ilustra essa dinâmica.

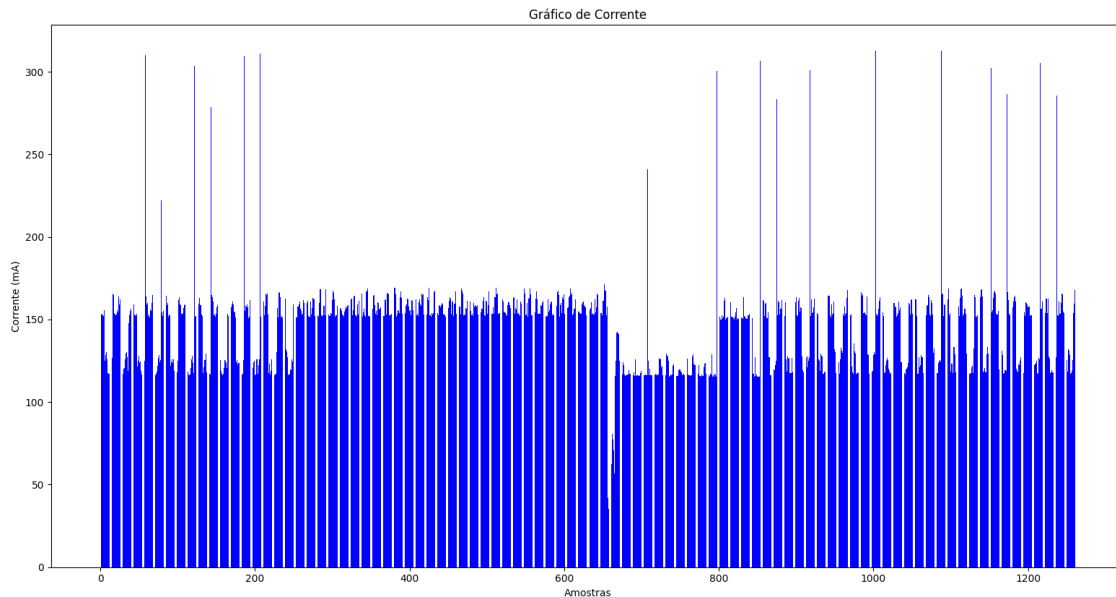


Figura 8 – Consumo de corrente ao longo do tempo

## 6 Considerações finais e Trabalhos Futuros

Ao longo deste estudo, exploramos de maneira abrangente o monitoramento e transmissão do estado da bateria em circuitos, empregando tecnologias avançadas como o ESP (Sistema Embarcado) e o Arduino Nano com sensores de corrente e tensão. A integração sinérgica desses componentes permitiu uma análise detalhada do consumo de bateria em diferentes cenários, proporcionando insights valiosos para aplicações futuras.

Durante as simulações com a tecnologia LoRa, observamos que a distância máxima de transmissão atingida foi de 700 metros. No entanto, identificamos a necessidade de um ângulo visado para a transmissão. Sem esse ajuste, ocorre a perda de conexão, resultando na interrupção da transmissão. Esse aspecto ressalta a importância de considerar não apenas a distância física, mas também as condições de transmissão ao projetar sistemas sem fio.

Uma descoberta significativa foi a constatação de que o consumo da bateria está mais associado ao próprio ESP estar ligado do que à transmissão em si. Embora tenhamos observado picos de corrente durante a transmissão, a maior parte do consumo ocorre quando o ESP está ativo, mesmo quando não está transmitindo. Esta observação sugere que otimizações na eficiência energética do próprio ESP podem ter impacto direto no prolongamento da vida útil da bateria.

Considerando trabalhos futuros, uma possível área de aprimoramento seria a adaptação para a utilização de uma antena mais eficiente, permitindo uma distância de transmissão ainda maior. Até o momento, foram realizados testes com a antena padrão do kit, e uma investigação mais aprofundada com antenas especializadas poderia resultar em ganhos significativos na extensão da cobertura.

Além disso, é recomendável explorar estratégias para minimizar o consumo quando o ESP está ativo, investigando modos de economia de energia ou otimizações de hardware que possam reduzir os picos de corrente durante a operação.

Em resumo, este estudo ofereceu uma base sólida para o monitoramento eficiente do estado da bateria em sistemas ubíquos. As considerações finais destacam desafios e descobertas importantes, orientando futuras pesquisas na direção de otimizações de eficiência energética e expansão da capacidade de transmissão por meio de adaptações na antena utilizada.