



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO (FECFAU)  
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DETALHADO DE CONSUMO DE  
ELETRICIDADE PARA GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES**

BRUNO AURÉLIO BEZERRA MARTINS

CAMPINAS - SP  
2024

**Bruno Aurélio Bezerra Martins**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DETALHADO DE CONSUMO DE  
ELETRICIDADE PARA GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil apresentado ao Departamento de Arquitetura e Construção da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para obtenção do grau de engenheiro civil.

**Orientador:** Prof. Vinícius de Carvalho Neiva Pinheiro

CAMPINAS, SP  
2024

**Bruno Aurélio Bezerra Martins**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DETALHADO DE CONSUMO DE  
ELETRICIDADE PARA GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES**

Aprovada em: 21 / 11/ 2024

**Banca Examinadora**

---

**Prof. Dr. Tiago Zenker Gireli**

---

**Enga. Verena Corazza Navarro Vinha**

---

**Eng. Gabriel Gonçalves Silveira**

CAMPINAS, SP  
2024

## RESUMO

O seguinte trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de monitoramento de baixo custo integrado ao quadro de distribuição de energia elétrica de uma edificação, a fim de proporcionar as melhores condições no que diz respeito aos quesitos de eficiência energética. Tal tema é visto como possível forma de reduzir o desperdício da energia elétrica consumida por todo o território, tanto nacional quanto internacional. Além disso, a redução no desperdício também pode proporcionar uma melhora significativa no que diz respeito a tarifação da energia elétrica fornecida pelas concessionárias. Para tanto, foi elaborado um sistema em que os dados obtidos serão enviados automaticamente a uma planilha, que por sua vez, proporcionará análises de diversas formas, podendo assim, proporcionar os diagnósticos requisitados sobre a rede de distribuição de energia pertencente à edificação. Dessa forma, o sistema, cuja montagem requisitou poucos recursos financeiros, se demonstrou extremamente funcional, uma vez que através da observação em tempo real dos valores da corrente elétrica e da potência, o consumidor é possibilitado a executar sua própria análise quanto aos seus padrões de consumo.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; desperdício de energia; sistema de monitoramento.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to present a low-cost monitoring system integrated with the electrical distribution panel of a building, aiming to enhance conditions in terms of energy efficiency. This topic is viewed as a viable approach to reducing energy waste across both national and international territories. Furthermore, reducing waste can also lead to significant improvements in the pricing of electricity supplied by utility companies. To this end, a system will be developed in which the collected data will be automatically sent to a spreadsheet, allowing for multiple types of analysis and enabling necessary diagnostics of the building's power distribution network. In this way, the system, which required minimal financial resources for its assembly, proved to be highly functional. By enabling real-time observation of current and power values, it allows the consumer to perform their own analysis of consumption patterns.

**Keyword:** Energy efficiency; waste; monitoring system.

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
2.1.	<b>Condições Gerais .....</b>	<b>10</b>
2.2.	<b>Split-core Current Transformer .....</b>	<b>11</b>
2.3.	<b>Arduino .....</b>	<b>12</b>
2.4.	<b>ESP 32 .....</b>	<b>13</b>
2.5.	<b>Arduino IDE (software) .....</b>	<b>14</b>
2.6.	<b>Protoboard .....</b>	<b>18</b>
2.7.	<b>Resistores .....</b>	<b>19</b>
2.8.	<b>Capacitores .....</b>	<b>21</b>
2.9.	<b>Jumpers .....</b>	<b>22</b>
2.10.	<b>Cabo USB de alimentação (energia e dados) .....</b>	<b>23</b>
2.11.	<b>Painéis de distribuição de energia elétrica .....</b>	<b>25</b>
2.12.	<b>Google Planilhas (Google Sheets) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>CONSTRUÇÃO DO SISTEMA .....</b>	<b>29</b>
3.1.	<b>Ligação entre o sensor de corrente e a protoboard .....</b>	<b>29</b>
3.2.	<b>Disposição dos resistores e do capacitor na protoboard .....</b>	<b>29</b>
3.3.	<b>Ligação entre o ESP e a protoboard .....</b>	<b>30</b>
3.4.	<b>Custo do sistema .....</b>	<b>32</b>
<b>4.</b>	<b>MONTAGEM DO CÓDIGO .....</b>	<b>33</b>
<b>5.</b>	<b>MANIPULAÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>TESTE DO SISTEMA .....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o estudo feito a partir de um levantamento apresentado pela Inteligência em Pesquisa e Consultoria (Ipec), a nome do Instituto de Clima e Sociedade brasileiro (ICS), cerca de 45% da população brasileira enfrenta dificuldades em lidar com as altas taxas aplicadas sobre as contas de energia elétrica, comprometendo, em certos casos, mais de 50% de toda a renda familiar de uma parcela da população.

Segundo o estudo, este caso afeta ainda mais famílias de baixa renda, uma vez que estas estão sujeitas a aparelhos cujos selos Procel e Conpet são baixos (C, D ou E), ou seja, aparelhos que possuem um consumo elevado e são menos eficientes quando comparados com seus concorrentes no mercado. Além disso, o valor elevado das tarifas para essas famílias pode estar ligado ao próprio sistema de abastecimento das residências e estabelecimentos, uma vez que a falha na execução do sistema, ou a falta de manutenção do próprio, facilita a existência de curtos circuitos, superaquecimento, fugas de corrente elétrica e dentre outras patologias que possam aumentar o consumo de forma indireta e direta de energia elétrica. Tais parâmetros citados podem ser observados através da NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão, que por sua vez, abrange os requisitos de eficiência energética em edificações de baixa tensão.

Além disso, com a evolução das catástrofes climáticas ao longo não só do território brasileiro como de todo o globo, as tarifas referentes à utilização de energia elétrica tornam-se ainda mais expressivas. Isso ocorre devido a diversos fatores, dentre eles, maiores períodos de estiagem, constante agravamento das queimadas ao longo do país, aumento no que diz respeito às temperaturas máximas e mínimas gerais do globo e etc. Por exemplo, em setembro de 2024, de acordo com a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) o estado de São Paulo atingiu a tarifa vermelha patamar 2, maior nível das bandeiras tarifárias de acordo com o SIN (Sistema Interligado Nacional), devido ao grande período de estiagem que atingiu o estado.

Dentro dos cenários supracitados, um sistema de monitoramento integrado ao quadro de distribuição de energia elétrica em edificações tanto residenciais quanto comerciais, sejam elas de baixa ou alta renda, pode proporcionar não só benefícios no âmbito socioeconômico como também nos âmbitos da sustentabilidade e do meio ambiente.

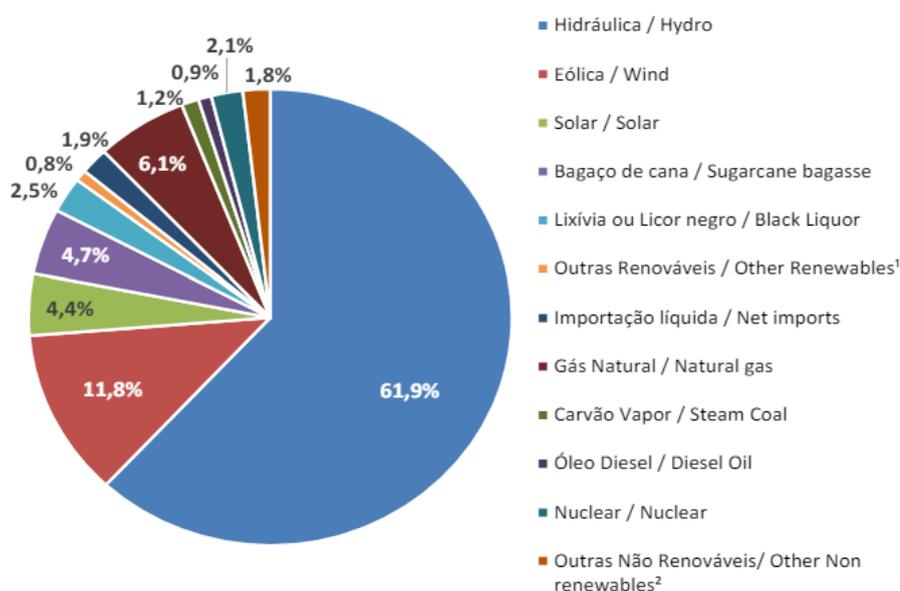
Em termos de sociedade e parâmetros financeiros, o monitoramento do consumo energético integrado ao painel de distribuição de energia das edificações permite que seja possível analisar se a demanda existente na edificação está de acordo com os padrões desejados para os indivíduos que habitam tal local. Os padrões de consumo estão diretamente

relacionados à quantidade de indivíduos que habitam um determinado local, com a demanda de equipamentos (cujos comércios terão demanda superior quando comparados com residências, na maioria das vezes) e até mesmo a faixa etária e socioeconômica da população em geral.

Sendo assim, tal monitoramento pode captar possíveis consumos excessivos dentro das edificações, onde, através do diagnóstico, será possível otimizar tanto o sistema de abastecimento quanto os aparelhos que estão consumindo mais do que o necessário. Dessa forma, espera-se que exista um benefício diretamente ligado ao setor socioeconômico da comunidade brasileira em geral, pois com a otimização do consumo de energia elétrica em termos de eficiência energética, teoricamente, faria com que o consumo se estabelecesse dentro apenas do necessário, reduzindo assim os desperdícios, que por sua vez podem aumentar o preço da distribuição de energia no geral, beneficiando principalmente a população de menos favorecida.

Sabe-se que a matriz energética brasileira é muito diversificada, de acordo com Reive Barros em 2022, o então secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, o Brasil possui cerca de 83% de sua matriz energética proveniente de fontes renováveis de energia, como hidrelétricas, usinas eólica, painéis fotovoltaicos e etc. Além da fala do secretário, pode-se observar os dados relacionados à matriz energética brasileira (Figura 01) de forma detalhada no Balanço Energético Nacional (BEN) - 2023, disponível para todos os cidadãos no em formato pdf.

Figura 01 - Gráfico de setores da matriz energética brasileira



Fonte: Balanço Energético Nacional, BEN (2023)

Sendo assim, percebe-se que em termos de sustentabilidade gerais, a redução no consumo de energia elétrica também afeta as condições climáticas, uma vez que parte da energia consumida dentro do território, por mais que apresente baixa porcentagem, seja proveniente de fontes não renováveis, como gás natural e carvão a vapor. Além disso, vale ressaltar que esse quadro é de difícil comparação em níveis mundiais, sendo o Brasil um dos principais produtores de energia renovável no mundo, já a China, país em desenvolvimento desenfreado e constante, contém sua maior fonte de energia em uma matriz não renovável (baseada em carvão e derivados do petróleo) de acordo com o Instituto de Relações Internacionais da PUC-Rio (ressalta-se ainda, de acordo com o Instituto, que a China tem planejamento em vigência para que em 2060 o país torne-se neutro na produção de carbono, dando grande importância às questões sustentáveis mundiais).

Dito isso, o sistema busca proporcionar um entendimento direto e de fácil acesso do consumo de energia elétrica de equipamentos específicos, baseado no aumento de corrente elétrica demandado, além da possibilidade de redução do desperdício de energia elétrica, fatores que beneficiam tanto o âmbito socioeconômico quanto o ambiental.

## 2. METODOLOGIA

Nota-se a possível melhoria em diversos âmbitos através da viabilização de um sistema de monitoramento detalhado do consumo de energia elétrica. Para tanto, através da montagem e detalhamento do sistema, busca-se determinar os parâmetros, objetivos e as dificuldades que cada um dos equipamentos terá dentro do sistema como um todo.

### 2.1. Condições gerais

Para que o sistema de monitoramento integrado esteja em condições de funcionamento, tanto para a captação de dados quanto para transmissão e análise é necessário que todos os sistemas envolvidos estejam de acordo com os valores verídicos e dentro dos padrões esperados através dos cálculos teóricos. Para tanto, serão feitos testes com aparelhos externos (como multímetros) para verificar se o sistema encontra-se nas condições esperadas. Além disso, o sistema será desenvolvido e validado em uma residência, cuja tensão usualmente é baixa (podendo variar entre 127 e 220 V).

O sistema de monitoramento é baseado na captação de corrente elétrica através de um sensor de corrente (split-core current transformer - Figura 02), que por sua vez é ligado diretamente em uma placa protoboard, responsável por executar a ligação com o microcontrolador ESP 32, com capacidade de transmissão de dados via wifi, onde através de um código, esse aparelho será responsável por encaminhar os dados para uma planilha de forma automática. Para que a captação de dados não seja interrompida, o ESP deve estar sempre conectado a uma fonte de alimentação, pois é através de sua saída 3,3V que alimenta o sistema, e portanto, ele deve permanecer em funcionamento constante.

Vale ressaltar que para o desenvolvimento do projeto como um todo, foi utilizado uma plataforma, com microcontrolador embutido, denominada arduino, Posteriormente essa plataforma foi alterada para o ESP 32, isso pois o software utilizado para manipulação do código, Arduino IDE, possui compatibilidade direta com o arduino, e portanto, se vê como forma mais simples de criar e validar o código através dessa plataforma. Nota-se que por mais que o software possua compatibilidade direta com a plataforma arduino, não significa que a plataforma não possui compatibilidade com o ESP, apenas se vê necessário a utilização de uma biblioteca (fornecida de forma gratuita pelo próprio software).

No que diz respeito a captação dos dados da corrente elétrica, as interligações entre o sistema de monitoramento serão executadas em um painel de distribuição de energia elétrica (composto por diversos disjuntores que separam os circuitos do local) na edificação, mais especificamente em um circuito responsável pela iluminação da edificação.

## 2.2. Split-core Current Transformer

A fim de executar a captação dos dados referentes a corrente elétrica de um determinado circuito do quadro de distribuição de energia, utilizaremos o sensor de corrente de 10 A/1V. Este sensor possui caráter não invasivo, ou seja, não existe a necessidade de executar recortes nos fios originais do sistema original a ser medido.

Este aparelho é feito a partir de uma série de espiras, de acordo com o catálogo do fabricante, cada tipo de sensor possui um número diferenciado de espiras, porém, para o caso em questão, o número de espiras considerado para os cálculos e formação do sistema são 2000 espiras, além de dois núcleos de ferrite e uma placa com componentes que realizam o envio dos dados. Esse sensor possui a função de executar a medição da corrente elétrica que percorre um determinado cabo, essa medição é possível pois de acordo com a Lei de Ampère, onde há um fluxo de corrente elétrica, também existirá um campo magnético induzido, e por isso, este sensor deve ser ligado apenas a um dos fios do sistema, pois, ao conectar o sensor nos dois fios do sistema, os campos magnéticos serão anulados, uma vez que a corrente que passa tanto na fase quanto no neutro são iguais, porém ambas possuem sentidos opostos (ou seja, uma apresenta sinal positivo enquanto a outra negativo).

Ressalta-se que este tipo de equipamento possui caráter não invasivo, uma vez que a medição da corrente elétrica é executada colocando o fio (mesmo que encapado) dentro do sensor, não sendo necessário executar o desencapamento ou escarificação do fio.

Figura 02 - Split-core Current Transformer, ou sensor de corrente alternada de 10 A/1V.



Fonte: CURTO CIRCUITO. [SENSOR CORRENTE NÃO INVASIVO 10A AC - SCT-013-10].

Disponível em <<https://curtocircuito.com.br/sensor-corrente-nao-invasivo-10a-ac-sct-013-010.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

Para que seja possível ajustar o sistema para os parâmetros desejados, deve-se determinar a corrente máxima que pode ser medida através do sensor disponível. Para tanto, será utilizada a fórmula da corrente eficaz, que pode ser apresentada como:

$$I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}, \quad \text{Onde:}$$

$$I_{ef} = \text{Corrente eficaz ou RMS}$$

$$I_{m\acute{a}x} = \text{Corrente m\acute{a}xima}$$

Neste caso, sabemos que o RMS do sensor é de 10A/1V, e portanto, podemos calcular o valor da corrente máxima medida pelo sensor, logo:

$$10 = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \Rightarrow I_{m\acute{a}x} = \sqrt{2} * 10 \Rightarrow I_{m\acute{a}x} \cong 14,14 A$$

Ou seja, a corrente máxima que pode ser medida pelo sensor é de aproximadamente 14,14 A. Para que os cálculos possam prosseguir, devemos assumir que o sensor atua como transformador ideal, onde, a partir desse pressuposto, pode-se calcular a tensão no próprio sensor (que difere-se da tensão que pode ser medida pelo mesmo)

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \text{Onde:}$$

$$N_1 = \text{Número de espiras do primário}$$

$$N_2 = \text{Número de espiras do secundário}$$

$$I_1 = \text{Corrente no primário}$$

$$I_2 = \text{Corrente no secundário}$$

Nesse caso, a corrente no secundário é a corrente do sensor, já os outros valores, foram explicitados ou deduzidos nos parágrafos supracitados, logo podemos executar o cálculo desejado.

$$\frac{1}{2000} = \frac{I_2}{14,14} \Rightarrow I_2 \cong 0,00707 A$$

Logo, a corrente máxima do sensor ( $I_2$ ) é de aproximadamente  $7,07 * 10^{-3} A$  e a corrente máxima que pode ser medida ( $I_1$ ) é de aproximadamente 14,14 A.

### 2.3. Arduino

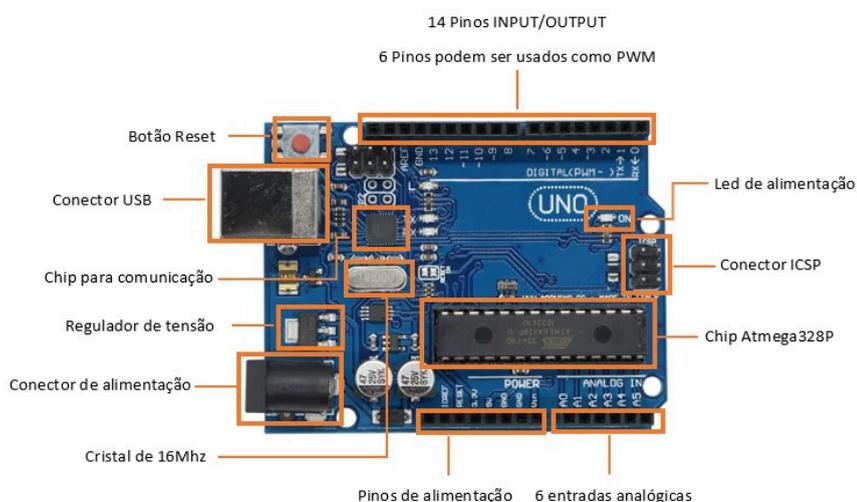
Arduinos (Figura 03) são dispositivos feitos a base de um microcontrolador, responsável por ler os dados obtidos a partir dos pinos de entrada e saída, além disso, eles também possuem uma porta USB para transmissão de dados entre o dispositivo e uma máquina (notebook, desktop, softwares de leitura específicos e etc.), memória para manter os

códigos desejados mesmo após a separação dos cabos USB, reguladores de tensão, botões de reset, e dentre outros equipamentos que constituem o dispositivo como placas de transmissão via wi fi (podendo haver certas mudanças a partir dos fabricantes).

Para que o arduino faça a leitura desejada dos dados e os envie para a base de dados é necessário que seja estabelecido um código que o permita fazer a leitura desejada, logo, o software Arduino IDE será utilizado para transmitir o código com os parâmetros desejados, como período de medições, unidades e possíveis fatores de correções.

Vale ressaltar que para o sistema em questão, o arduino foi utilizado apenas como um meio de entender o funcionamento do código a partir de uma forma simplificada, uma vez que seu funcionamento no software é direto e não existe a necessidade de instalações de bibliotecas ou de drivers específicos. O projeto como um todo, foi desenvolvido a fim de ser utilizado com um ESP 32, cujo equipamento possui conexão wifi.

Figura 03 - Exemplificação de um Arduino



Fonte: STA-ELETRÔNICA. [CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO ARDUINO UNO]. Disponível em <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/caracteristicas-principais-do-arduino-uno>>. Acesso em: 10 out. 2024.

## 2.4. ESP 32

Similar ao arduino, o ESP 32 é um microcontrolador que pode ser utilizado em uma ampla gama de projetos e sistemas. Em sua composição pode-se encontrar um microprocessador, conector (que atua como entrada de dados) com suporte USB tipo C, tanto memória interna quanto suporte para memória externa, capacidade de conexão via wifi e 32 entradas e saídas que possibilitam a transmissão de dados.

Para o caso em questão, o ESP32 será utilizado na confecção do sistema pois sua capacidade de transmissão via wifi possibilitará que as leituras sejam executadas sem a necessidade de uma CPU junto com o sistema. Para tanto, será necessário incluir no código de leitura da corrente elétrica, alguns parâmetros que possibilitem executar a transmissão de dados de forma simultânea a leitura para uma planilha no software Google Sheet, ou Planilhas Google.

Figura 04 - Exemplificação de um ESP32.



Fonte: HU INFINITO. [Módulo Wifi NodeMCU ESP-32 + Bluetooth]. Disponível em

<<https://www.huinfinito.com.br/home/1411-modulo-wifi-nodemcu-esp-32-bluetooth.html>>. Acesso em: 10 out.

2024.

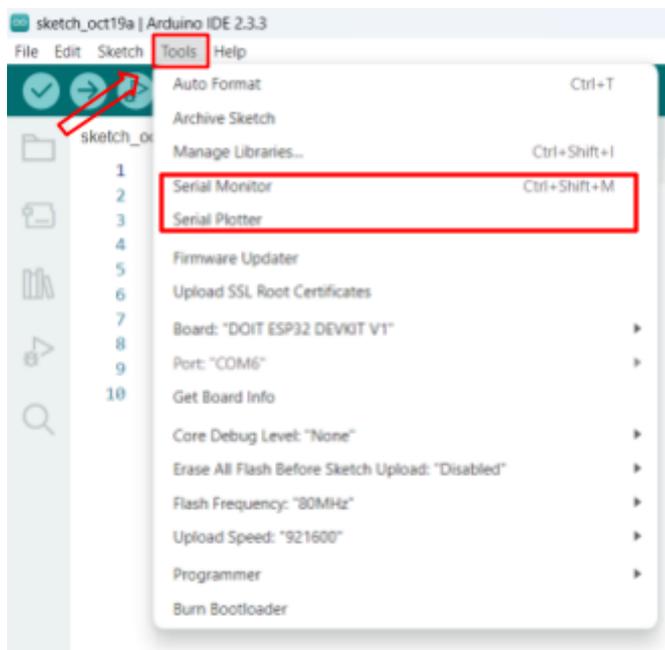
## 2.5. Arduino IDE (software)

Como citado anteriormente, é necessário que um código seja executado e transmitido tanto para o arduino (para execução dos testes) quanto para o ESP 32 (definitivo) para que ambos possam executar a leitura provenientes do sensor de corrente elétrica, e assim executar as possíveis análises. Sendo assim, o software Arduino IDE será utilizado para criação e manipulação do código em questão.

Por sua vez, esse software pode ser considerado um ambiente de desenvolvimento integrado que tem compatibilidade com ambos os aparelhos supracitados e foi projetado para que seja possível compilar os códigos diretamente para eles. Além desses fatores, o software conta com duas abas que serão de suma importância enquanto os testes estiverem sendo executados, essas abas podem ser encontradas na aba de ferramentas (tools), são elas: serial

monitor e serial plotter, responsáveis por apresentar os dados que estão sendo obtidos e mostrá-los em um gráfico, respectivamente.

Figura 05 - Demonstração das ferramentas *Serial Monitor* e *Serial Plotter* dentro do software Arduino IDE.



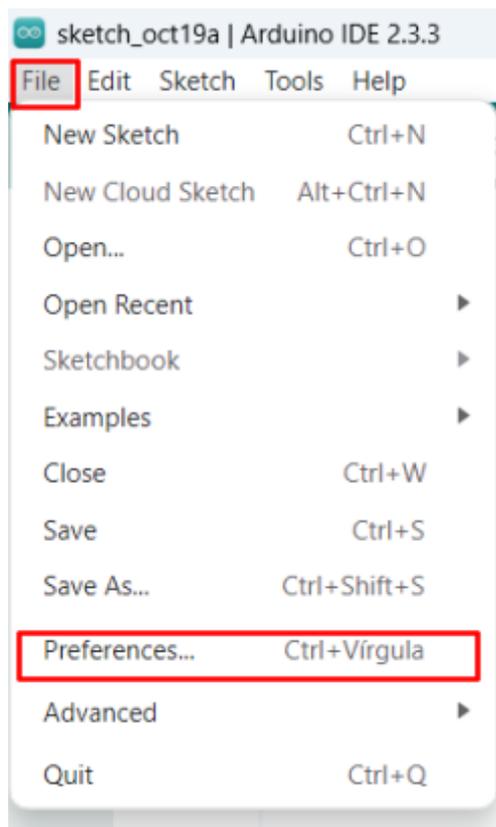
Fonte - Autor

Além de ser um ambiente de fácil compreensão para execução de códigos, o software conta com inúmeras bibliotecas, essas bibliotecas atuam como códigos pré-criados que facilitam as leituras tanto pelo software quanto pelos aparelhos e sensores que estão sendo utilizados.

Como o software em questão foi desenvolvido para transmitir os códigos a placas do tipo arduino, é necessário executar algumas adaptações para que seja possível transmitir os mesmos dados à placa ESP. Além disso, é necessário instalar drivers que reconheçam a entrada do ESP no notebook..

O primeiro passo para que a entrada do ESP seja reconhecida no notebook é determinar uma preferência no software. Para tanto, é necessário abrir a aba de arquivo (File) e clicar em Preferências (Preferences).

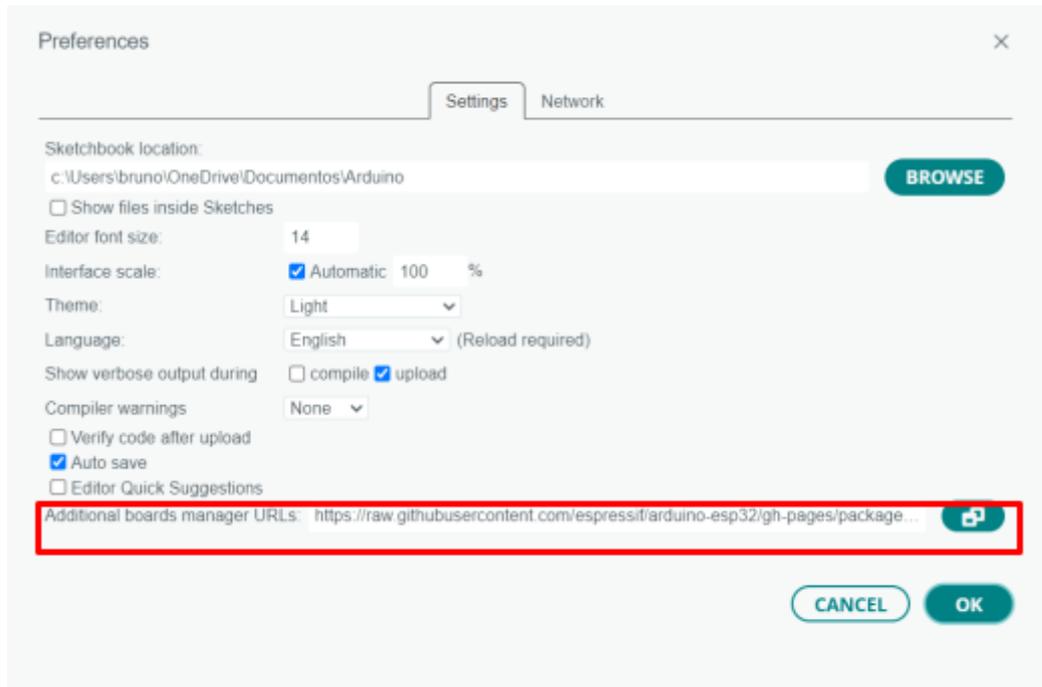
Figura 06 - Demonstração das ferramentas *Preferences* dentro do software Arduino IDE.



Fonte - Autor

Feito isso, e a partir da referência contida site Random Nerds Tutorial (em: <https://randomnerdtutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>) é possível colocar a URL necessária na aba apresentada na Figura 07. Essa URL tem como objetivo informar ao software que será necessário executar o reconhecimento de um ESP em uma das entradas do notebook.

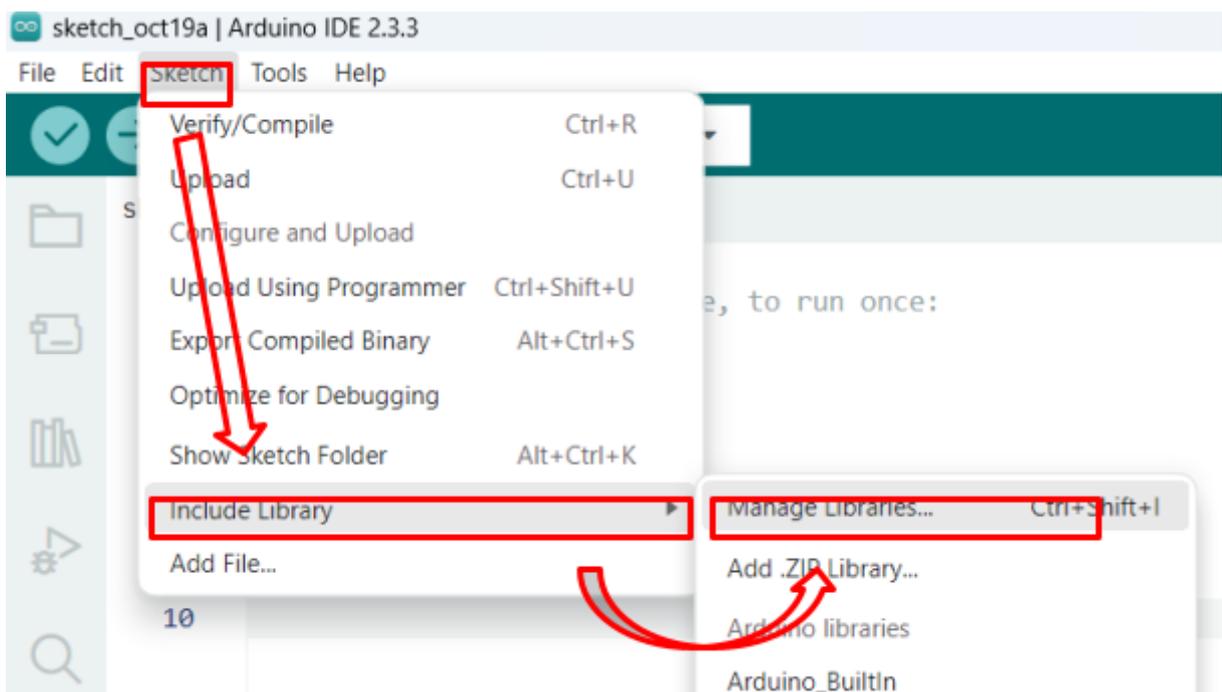
Figura 07 - Demonstração da aba *Additional boards manager URLs* dentro do software Arduino IDE.



Fonte - Autor

Após a definição das preferências no software, deve-se instalar, também, uma biblioteca que inclui entradas do ESP diretamente no software. Para adicionar uma biblioteca, é necessário abrir a aba de “código” (Sketch), ir até a aba “incluir biblioteca” (include library) e finalmente abrir a página “gerenciar bibliotecas” (Manage libraries). Por fim, basta incluir a seguinte biblioteca: esp32 by Espressif Systems.

Figura 08 - Demonstração da aba *Manage Libraries* dentro do software Arduino IDE.

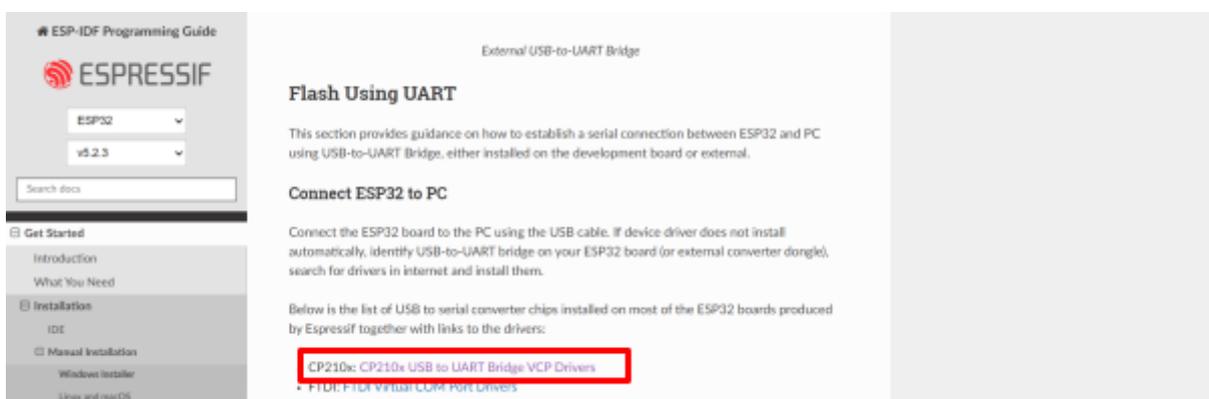


Fonte - Autor

Mesmo após a instalação das bibliotecas e determinação das preferências, pode ser que o software não reconheça a entrada do dispositivo ESP ainda, nesse caso, é necessário instalar um driver externo ao software no computador para que seja possível executar o reconhecimento da entrada.

Para instalação do driver, deve-se executar o reconhecimento do tipo de ESP que está sendo utilizado, neste caso, trata-se de um ESP32 DEVKIT V1. Após o reconhecimento do tipo exato do dispositivo, basta acessar o site da fabricante do ESP a Espressif Systems e executar a instalação de forma devida do driver na configuração CP210X.

Figura 09 - Modelo do driver a ser baixado.



Fonte: ESPRESSIF SYSTEMS. [Establish Serial Connection with ESP32]. Disponível em <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/get-started/establish-serial-connection.html>>. Acesso em: 28 set. 2024.

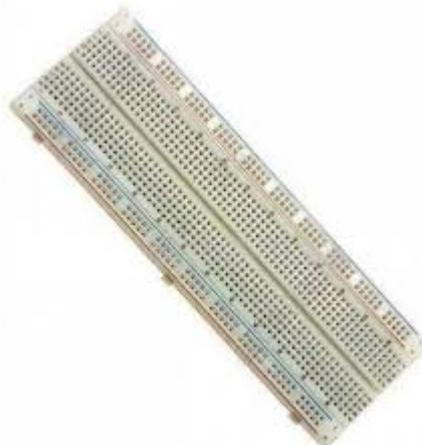
Após estes passos, a entrada do ESP será reconhecida dentro do software Arduino IDE e será possível compilar os códigos para o dispositivo. Tais atos são necessários apenas para o funcionamento das entradas do ESP, para o Arduino não há necessidade desses passos, pois o software reconhece automaticamente as suas entradas.

## 2.6. Protoboard

Uma protoboard, ou placa de prototipagem, pode ser compreendida como uma ferramenta que possibilita a montagem de circuitos eletroeletrônicos a partir da disposição dos pinos de componentes, como resistores, capacitores e jumpers em suas fileiras e colunas. A ligação entre fileiras e colunas funciona de forma que pinos conectados na mesma fileira transmitem dados entre eles, o mesmo serve para as colunas, isso ocorre pois existe uma trilha de latão ou níquel devido a suas boas características referentes a condutividade elétrica.

Neste caso, a protoboard tem como função executar a montagem do sistema composto pelo sensor de corrente, os resistores que compõem o sistema e o capacitor tanto ao ESP quanto ao Arduino, para tanto, serão as ligações feitas através de jumpers.

Figura 10 - Demonstração de uma protoboard de modelo convencional.



Fonte: ELETROGATE. [PROTOBOARD]. Disponível em

<<https://www.eletrogate.com/protoboard-830-pontos>>. Acesso em: 10 out. 2024.

## 2.7. Resistores

Resistores são componentes elétricos formados a partir de diversos materiais, como carbono, óxidos metálicos, cerâmica e etc. Os componentes que constituem os resistores dependem diretamente de sua utilização, nesse âmbito, os resistores têm por finalidade reduzir a queda do potencial elétrico e limitar a corrente elétrica que passa em determinado sistema elétrico.

Para que tal finalidade seja possível, os resistores atuam conforme a Lei de Ohm, que por sua vez diz que a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um resistor é proporcional à corrente elétrica que o atravessa, em outras palavras, diz que a tensão de um sistema pode ser compreendida através da multiplicação entre a resistência e a corrente elétrica do sistema, podendo ser expressa através da seguinte fórmula:

$$V = R * I, \quad \text{onde:}$$

$$V = \textit{Tensão Elétrica [V]}$$

$$R = \textit{Resistência [\Omega]}$$

$$I = \textit{Corrente Elétrica [A]}$$

Além disso, resistores podem apresentar diversos níveis de resistência, que podem variar desde 10 *mili* $\Omega$  (0,01  $\Omega$ ) a 10 *G* $\Omega$  (1.000.000.000 $\Omega$ ). Como exemplo, temos que o primeiro caso, onde a resistência é consideravelmente pequena, eles podem ser utilizados em sistemas como formas de proteção contra curtos circuitos, já para o segundo caso, onde a resistência é consideravelmente alta, eles podem ser utilizados em instrumentos de medição que necessitem de uma precisão grande e no isolamento, limitando a fuga de corrente, de circuitos de alta (entre 230 KV e 750 KV) e ultra alta voltagem. (acima de 730 KV).

Para o sistema de monitoramento em questão, serão utilizados 3 resistores, onde dentre eles, dois serão de  $10\text{ K}\Omega$  e um será de  $360\ \Omega$ . Tais valores são explicados e calculados ao decorrer do item de construção do sistema. Vale ressaltar que para fins do funcionamento do sistema, a partir da validação da resistência de cada resistor, é possível executar a leitura da resistência de forma manual, como explicitado na Figura 12.

Figura 11 - Demonstração de um resistor de  $220\ \Omega$ .



Fonte: MAKER HERO. [RESISTORES]. Disponível em

<https://www.makehero.com/produto/resistor-220%cf%89-1-4w/>. Acesso em: 10 out. 2024.

Figura 12 - Modo de leitura da resistência dos resistores a partir das cores que o formam.

### Código de Cores

A extremidade com mais faixas deve apontar para a esquerda

Resistores padrão possuem 4 faixas

**560k  $\Omega$**   
10% de tolerância

Resistores de precisão possuem 5 faixas

**237  $\Omega$**   
1% de tolerância

Cor	1ª Faixa	2ª Faixa	3ª Faixa	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	x 1 $\Omega$	
Marrom	1	1	1	x 10 $\Omega$	+/- 1%
Vermelho	2	2	2	x 100 $\Omega$	+/- 2%
Laranja	3	3	3	x 1K $\Omega$	
Amarelo	4	4	4	x 10K $\Omega$	
Verde	5	5	5	x 100K $\Omega$	+/- .5%
Azul	6	6	6	x 1M $\Omega$	+/- .25%
Violeta	7	7	7	x 10M $\Omega$	+/- .1%
Cinza	8	8	8		+/- .05%
Branco	9	9	9		
Dourado				x .1 $\Omega$	+/- 5%
Prateado				x .01 $\Omega$	+/- 10%

Fonte: FAZEDORES. [CÓDIGO DE CORES RESISTORES]. Disponível em

<https://blog.fazedores.com/guia-fazedores-resistores/>. Acesso em: 10 out. 2024.

## 2.8. Capacitores

Capacitores são dispositivos que têm por finalidade armazenar cargas elétricas a partir da diferença de potencial apresentada em seus terminais, a quantidade de carga que dado capacitor pode armazenar pode ser compreendida como capacitância. Quanto maior a capacitância, maior será a quantidade de carga armazenada para uma tensão constante, o mesmo acontece ao contrário, ou seja, quanto menor a capacitância menor será a carga elétrica armazenada pelo dispositivo. Dito isso, a capacitância de um capacitor pode ser expressa a partir da seguinte fórmula:

$$C = \frac{Q}{U}, \quad \text{onde:}$$

$$C = \text{Capacitância (Farad [F])}$$

$$Q = \text{Quantidade de carga elétrica (Coulomb [C])}$$

$$U = \text{Tensão (V)}$$

Além disso, a capacitância também pode ser calculada através da distância entre placas condutoras (usualmente feitas por metais como cobre, alumínio, prata e dentre outros) das armaduras dos capacitores, sua área e a permissividade dielétrica do espaço inserido entre as placas do capacitor. Sendo assim, temos que a capacitância pode ser expressa também através da seguinte fórmula:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}, \quad \text{onde:}$$

$$C = \text{Capacitância (Farad [F])}$$

$$\epsilon = \text{Permissividade elétrica do meio (F/m)}$$

$$A = \text{Área das placas (m}^2\text{)}$$

$$d = \text{Distância entre as placas (m)}$$

Dada as fórmulas que demonstram a capacitância, podemos também determinar a quantidade de energia potencial elétrica que é armazenada dentro dos capacitores através da seguinte fórmula:

$$E_p = \frac{QU}{2}, \quad \text{onde:}$$

$$E_p = \text{Energia potencial elétrica (Joule [J])}$$

$$Q = \text{Quantidade de carga elétrica (Coulomb [C])}$$

$$U = \text{Tensão elétrica (Volts [V])}$$

Neste caso, para composição do sistema, será utilizado um capacitor de  $10 \mu\text{F}$ , para uma tensão esperada ( $U$ ) de  $127 \text{ V}$  (esperada, pois em casos reais essa tensão aproxima-se de  $118 \text{ V}$ ).

Figura 13 - Demonstração de um capacitor de 10  $\mu F$



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA. [CAPACITOR 10  $\mu F$  ]. Disponível em <<https://www.baudaeletronica.com.br/produto/capacitor-eletrolitico-10uf-25v-105c.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

## 2.9. Jumpers

Os jumpers são fios, geralmente encapados, que possuem a função de executar uma conexão entre dois pontos de um circuito ou sistema. Sua composição é feita a partir de um metal que possua boa condutividade elétrica e flexibilidade, facilitando o seu manuseio, como o cobre, além disso, em suas pontas, existem dispositivos semelhantes a uma caixa de plástico que pode envolver tanto um pino metálico quanto uma entrada para um pino, ou seja, existem jumpers de modelos diferentes para cada tipo de ocasião.

Para o sistema em questão, estão sendo utilizados 3 jumpers macho-fêmea, aqueles que possuem um plugue e um pino, e 4 jumpers macho-macho, aqueles que possuem dois pinos. O primeiro modelo está sendo basicamente utilizado para executar as ligações do ESP na protoboard, já os demais, estão sendo utilizados nas ligações entre os resistores, o capacitor, a protoboard e o sensor de corrente elétrica.

Figura 14 - Demonstração dos jumpers do tipo macho-fêmea



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA. [JUMPER PREMIUM 40P X 20CM - MACHO/FÊMEA ]. Disponível em <<https://www.baudaelectronica.com.br/produto/jumper-premium-40p-x-20cm-macho-femea.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

Figura 15 - Demonstração dos jumpers do tipo macho-macho



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA. [JUMPER PREMIUM 40P X 20CM - MACHO/MACHO ]. Disponível em <<https://www.baudaelectronica.com.br/produto/jumper-premium-40p-x-20cm-macho-macho.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

### **2.10. Cabo USB de alimentação (energia e dados)**

Cabos USB (sigla abreviada do inglês que representa Universal Serial Bus) são cabos que podem transmitir tanto dados quanto energia elétrica para um determinado dispositivo. Atualmente os cabos USB são utilizados em quase todos os dispositivos eletroeletrônicos devido sua grande versatilidade de usos e capacidade de transmissão de dados e quantidade de entradas variadas, como: USB-B, USB-C, USB Lightning e etc.

Assim como os jumpers, os fios que constituem os cabos USB são feitos de cobre, porém, neste caso esse material não é responsável apenas por fornecer energia, mas também dados, além dos próprios fios, existe uma espécie de malha de cobre que envolve os fios a fim

de evitar que existam interferências eletromagnéticas na transmissão dos dados através do cabo.

Neste caso, os cabos USB inicialmente são responsáveis pela alimentação dos dispositivos, tanto o arduino (USB 2.0) quanto o ESP (USB - Micro USB). Após a energização dos dispositivos, os cabos servem como ponte para transmissão dos códigos executados dentro do software Arduino IDE para os próprios dispositivos, portanto, é de suma importância que o cabo utilizado tenha função de transmissão tanto de dados quanto de energia elétrica.

Figura 16 - Demonstração do cabo USB do tipo 2.0, utilizado no arduino.



Fonte: ICON CABOS. [CABO USB IMPRESSORA AB 2.0 ]. Disponível em <<https://www.ioncabos.com.br/cabo-usb-impressora-ab-2.0-high-speed-1.8-metros>>. Acesso em: 10 out. 2024.

Figura 17 - Demonstração dos jumpers do tipo macho-macho, utilizado no ESP32.



Fonte: IBYTE. [CABO USB X MICRO USB]. Disponível em <<https://www.abyte.com.br/cabo-usb-x-micro-usb-goldentec-cmug01-preto-1-metro/p>>. Acesso em: 10 out. 2024.

### **2.11. Painéis de distribuição de energia elétrica**

Painéis, ou quadros, de distribuição de energia (Figura 18) são componentes essenciais dentro dos sistemas de energia elétrica das edificações, pois a fonte de energia primária, ou seja, a energia proveniente da concessionária local (pública) ou uma rede de distribuição privada (geradores por exemplo) é direcionada a este dispositivo, que por sua vez, é responsável por transmitir e abastecer os circuitos elétricos da edificação, podendo estes ainda serem separados em subcircuitos.

No painel estão acoplados os disjuntores, dispositivos utilizados para proteção do circuito elétrico, onde em casos que ocasionalmente ocorram sobrecargas ou curtos circuitos há a interrupção do fornecimento de energia, evitando assim, possíveis danos aos sistemas e aos equipamentos por eles abastecidos.

O funcionamento do sistema de monitoramento detalhado é baseado nas medições que serão realizadas no painel de distribuição de energia elétrica da edificação. Logo, o quadro deve estar disponível, e de preferência de fácil acesso, para alocação dos dispositivos que compõem o sistema, sejam eles invasivos ou não.

Figura 18 -. Exemplificação de um painel (ou quadro) de energia elétrica seguindo os padrões normativos.



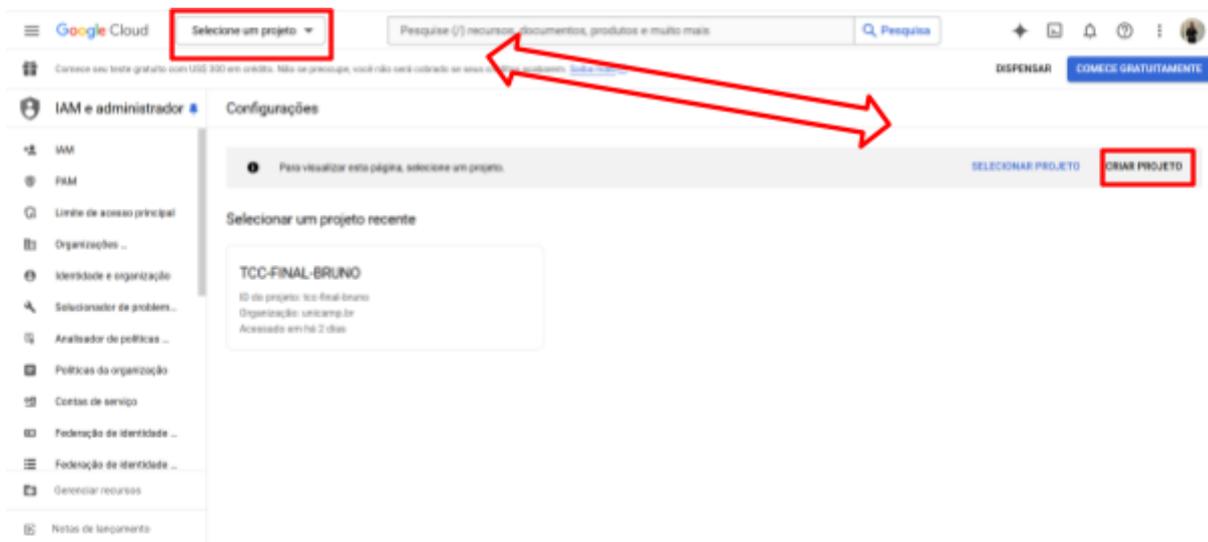
Fonte: NSG ENGENHARIA. [QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO]. Disponível em <<https://www.nsgengenharia.com.br/quadro-de-distribuicao/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

### **2.12. Google Planilhas (Google Sheets)**

O presente sistema de monitoramento visa executar a transmissão de dados para o software Google Sheets de forma automática e simultânea a captação de dados. Sendo assim, alguns passos são necessários para que tal transmissão seja exequível, o primeiro dos passos envolve a criação de um novo projeto dentro da plataforma Google Cloud.

Para tanto, basta acessar a plataforma em questão, executar o login com uma conta Google existente e com caráter ativo, após o acesso, a aba denominada criar projeto estará no canto superior esquerdo da tela (dentro da aba selecionar projeto) ou no canto médio superior direito, conforme a Figura 19.

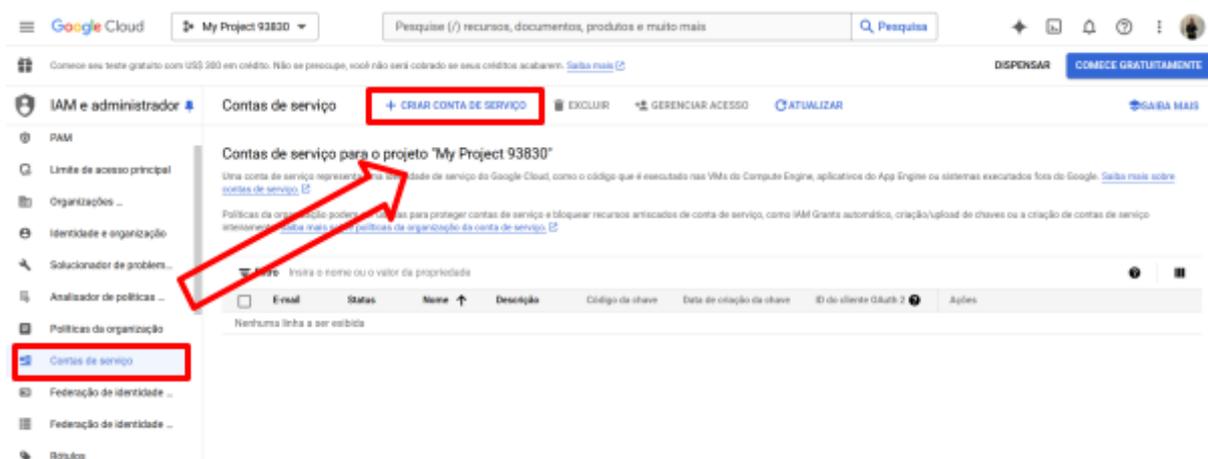
Figura 19 - Demonstração de como criar um projeto na plataforma Google Cloud.



Fonte: Autor

Após inserir um nome para o projeto e sua criação propriamente dita, é necessário criar uma conta de serviço para este projeto. Nesse caso, é necessário acessar a aba de contas de serviço na lateral esquerda da plataforma e posteriormente criar uma conta de serviço, assim como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 - Demonstração de como criar uma conta de serviço na plataforma Google Cloud.

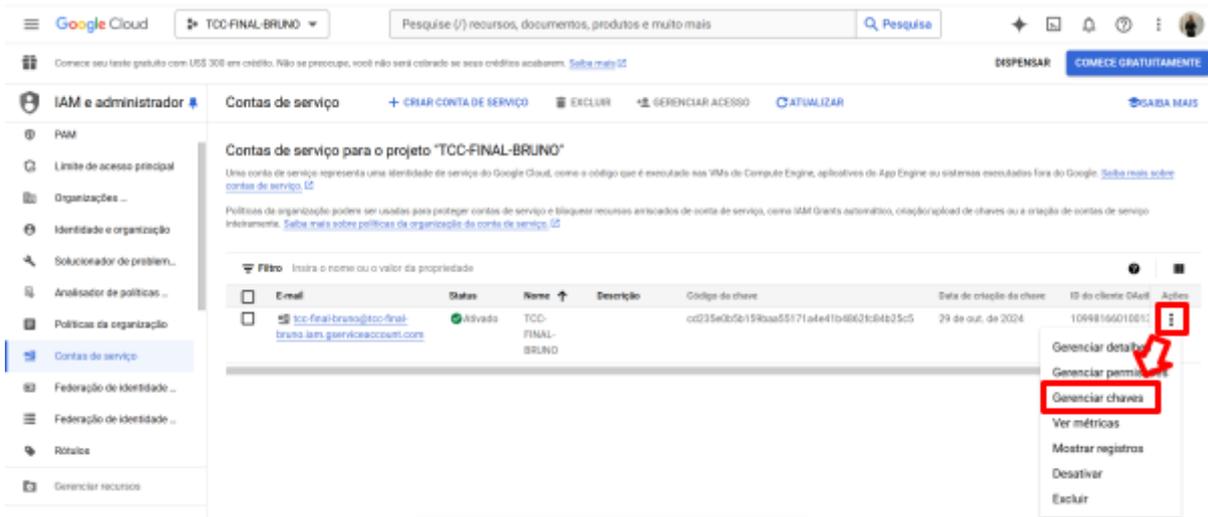


Fonte: Autor

Agora, com a conta de serviço devidamente configurada, é necessário criar uma chave privada que será utilizada no código para que ele possa ter acesso direto às plataformas Google Sheets e Google Drive, que por sua vez, transmitem dados entre si. Para criação da

chave privada (Private Key) basta selecionar a conta de serviço criada e acessar na lateral inferior direita os três pontos, que abrirá diversas abas, dentre elas, gerenciar chaves.

Figura 21 - Metodologia para criar uma chave privada na plataforma Google Cloud.

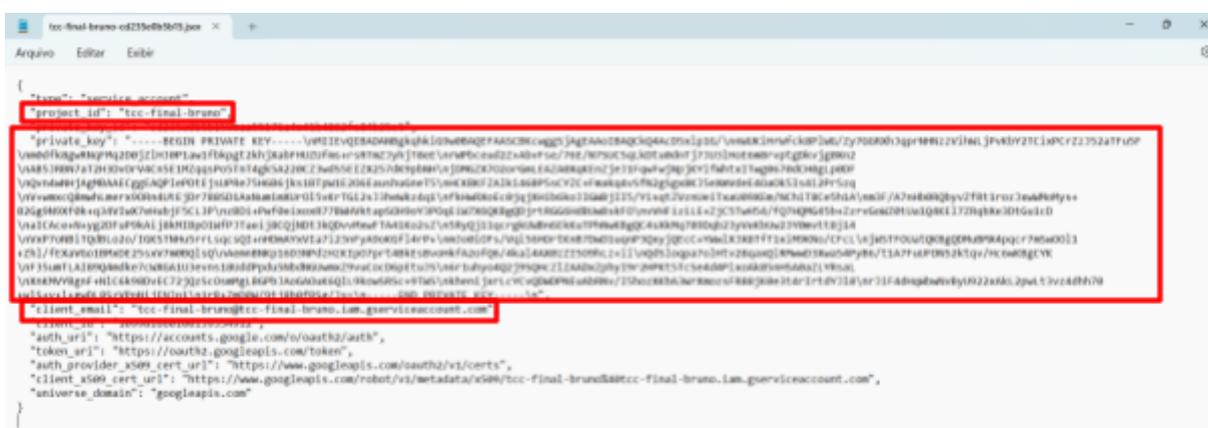


Fonte: Autor

No momento da criação da chave privada é importante que se escolha o tipo correto para o tipo de código que está sendo executado, neste caso, deve-se executar o download através do tipo JSON, além disso, não é possível recuperar tais documentos uma vez que perdidos, portanto, recomenda-se que o arquivo JSON contendo a chave privada seja armazenado em uma pasta própria e de fácil acesso (como na área de trabalho do computador).

Ao abrir o arquivo baixado, dados de suma importância para o funcionamento do código são fornecidos, são eles: “project\_id”, “private\_key\_id” e “client\_email”. Posteriormente, no item 4 - Montagem do código, esses dados serão utilizados para o acesso direto ao Google Sheets.

Figura 22 - Dados importantes apresentados ao abrir o arquivo JSON instalado.

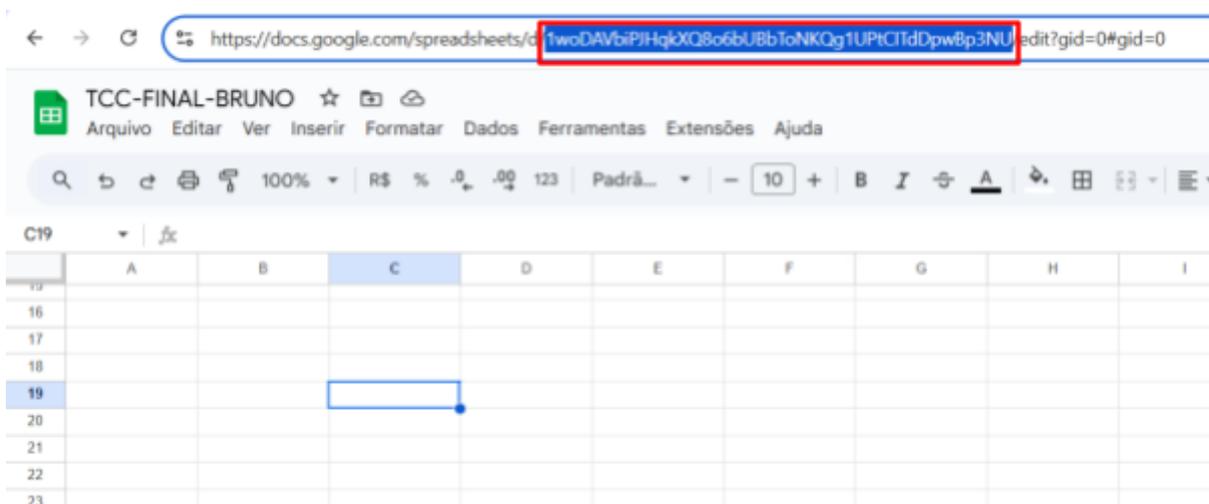


Fonte: Autor

Por fim, assim como supracitado, o código deve executar a conexão entre as plataformas Google Drive e Google Sheet, logo é necessário ativar a interface de programação de aplicações (API) para cada uma das respectivas plataformas na conta de serviço criada.

Com todos os parâmetros estabelecidos para conexão direta dos dados fornecidos pelo ESP à plataforma Google Sheets, deve-se criar uma planilha que será utilizada como local de armazenamento, tratamento e análise de dados. Após a criação da planilha, deve-se anotar o spreadsheetId, localizado no próprio URL da planilha, que por sua vez será utilizado no código para estabelecer o direcionamento dos dados obtidos.

Figura 23 - Demonstração do ID da planilha que deve ser copiado para futura utilização no código.



Fonte: Autor

### 3. Construção do sistema

A construção do sistema se dá a partir da junção de cada um dos componentes supracitados através da seguinte forma:

#### 3.1. Ligação entre o sensor de corrente e a protoboard

O sensor de corrente, normalmente vem em seu padrão de fábrica com um plugue em sua extremidade, neste caso, este plugue é retirado e os cabos ficam a mostra, sendo um responsável pela fase e o outro responsável pelo neutro. É de suma importância que o fio de fase e o neutro estejam devidamente representados, pois a ligação invertida desses fios pode ocasionar danos a baterias e componentes elétricos do sistema. Após a exposição da fase e do neutro, basta conectá-los na protoboard no ponto desejado.

#### 3.2. Disposição dos resistores e do capacitor na protoboard

Antes da colocação dos resistores no sistema, é necessário determinar a resistência necessária para o resistor de carga, cuja função é apresentar a tensão emitida pelo ESP dentro do intervalo esperado pelo sensor, nesse caso, temos que o ESP envia tensão até a faixa de 3,3 V, porém, por tratar-se de corrente alternada, temos que essa tensão varia de 1,65 V a -1,65 V.

Sendo assim, a partir da Lei de Ohm (explicitada anteriormente), será calculada a resistência do resistor de carga a partir da máxima tensão que pode ser lida pelo sensor, 1,65 V, e a corrente máxima do sensor,  $7,07 * 10^{-3}$  A. Logo:

$$R = \frac{1,65}{7,07 * 10^{-3}} \Rightarrow R = 233,4 \Omega$$

Como não existe um resistor de  $233,4 \Omega$  no mercado, será utilizado o resistor de mercado que possua o valor mais próximo, desde que este apresente menor resistência do que o estipulado, portanto, será necessária a utilização de um resistor de carga com resistência de  $360 \Omega$ .

Apesar da determinação da resistência do resistor de carga, é possível utilizar outros resistores, desde que um valor de calibração ( $V_c$ ) seja considerado na execução do código. Esse valor pode ser definido como o número de espiras dividido pela resistência desejada. Neste caso, utilizaremos um resistor de  $360 \Omega$  logo:

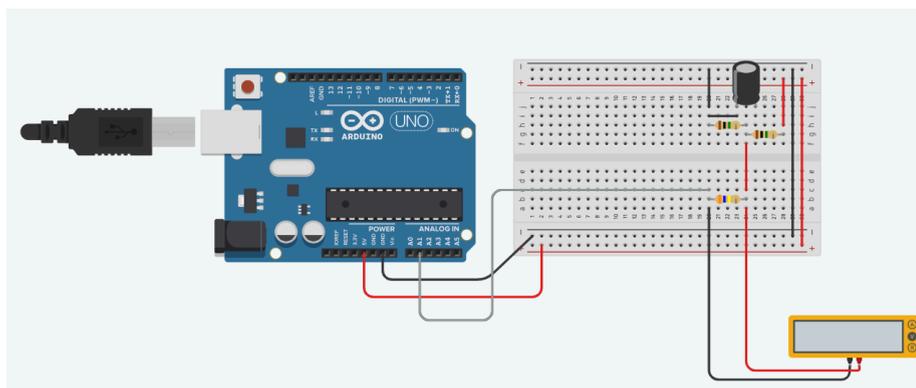
$$V_c = \frac{2000}{360} \Rightarrow V_c = 5,555$$

Com o resistor de carga em mãos, podemos definir que o sensor estará recebendo tensão dentro do intervalo esperado, porém, devido a corrente alternada, a tensão que será destinada ao ESP terá tanto valores positivos quanto negativos, e esse tipo de dispositivo não executa a leitura de valores negativos.

Para tanto, como os dispositivos ESP e arduino não conseguem executar a leitura de tensões negativas, é necessário utilizar um divisor de tensão no sinal emitido pelo sensor. Divisores de tensão podem ser resumidos como circuitos que dividem a tensão de entrada em valores proporcionais a quantidade de resistores conectados em série.

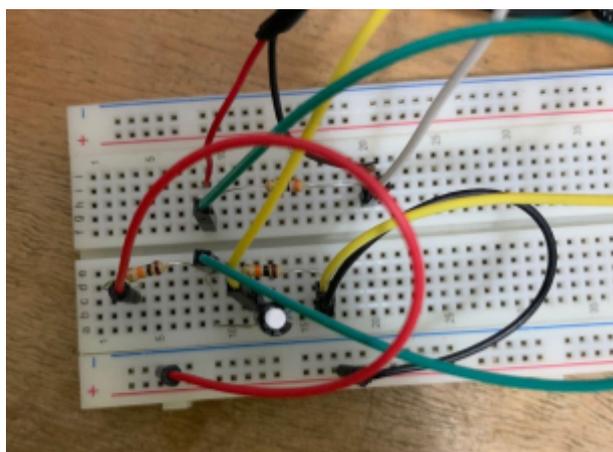
Sendo assim, serão utilizados 2 resistores com resistência de  $10k\Omega$ , além disso, um capacitor será adicionado a um dos resistores com o propósito de repetir a tensão que flui através do resistor, como a tensão original é de 3,3 V, que flui dentro do intervalo de 1,65 V a - 1,65 V (devido a corrente alternada), cada um dos resistores deve receber 1,65 V uma vez que estes encontram-se em série, como a leitura é feita no meio do circuito, o capacitor é responsável por repetir a tensão de 1,65 V de forma positiva, completando os 3,3V. O esquema funciona de acordo com as Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Representação do sistema a partir do aplicativo TinkerCad (Obs: foi utilizado um multímetro como representação do sensor de corrente, uma vez que este não aparece dentro do aplicativo)..



Fonte: Autor

Figura 25 - Construção do sistema físico com os resistores determinados, o capacitor e os jumpers.



Fonte: Autor

### 3.3. Ligação entre o ESP e a protoboard

O ESP 32 DEVKIT V1, modelo utilizado na construção do sistema, possui 30 pinos com funções diferentes, os pinos podem ser divididos em GPIOs de uso geral, GPIOs relacionados a memória e GPIOs apenas de entrada. É de suma importância entender quais pinos participam de cada um dos grupos, isso pois é necessário conectar o sistema a um dos pinos que apenas receba a informação.

A fim de definir os pinos de conexão do ESP, os pinos devem ser definidos, logo:

GPIOs de uso geral: D0, D2, D4, D5, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18, D19, D21, D23, D25, D26, D27, D32 e D33.

GPIOs relacionados a memória: D5, D7, D8, D9, D10 e D11

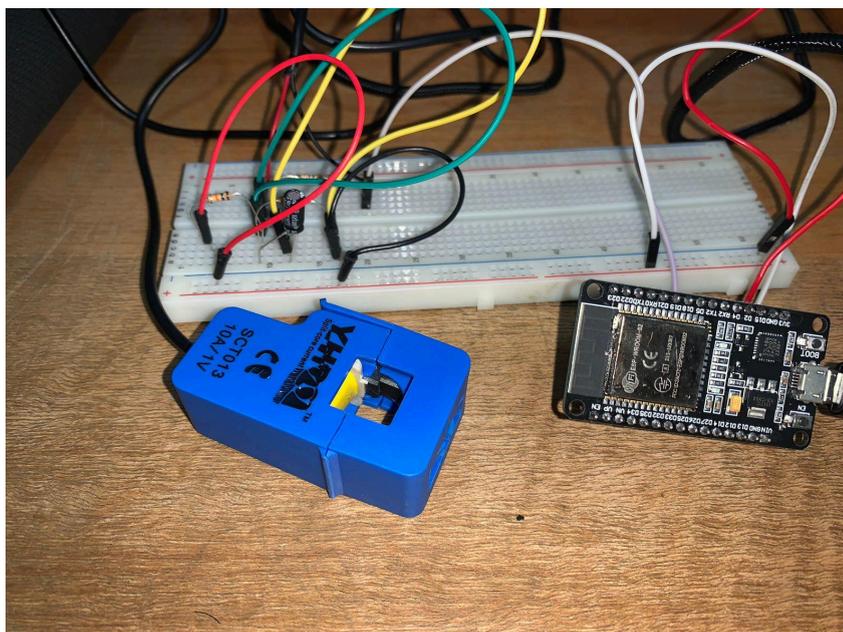
GPIOs relacionados apenas a entrada: D34, D35, D36, D37, D38 e D39

Sendo assim, utilizaremos o pino D34 para recebimento dos dados, o pino 3V3 responsável por enviar o sinal de tensão de 3,3 V ao sensor e o GND, ou terra, responsável por estabelecer a relação de tensão através da diferença de potencial entre eles. Além disso, ambos os pinos, 3 V3 e GND, não são capazes de transmitir dados, apenas estabelecer a relação de tensão.

A partir da definição dos pinos a serem utilizados, basta conectar o ESP a placa protoboard, onde o pino GND é conectada a parte da protoboard onde o capacitor está conectado, o pino 3 V3 é conectado a parte sem o capacitor e o pino D34 é conectado na região de retorno do valor do sinal do sensor de corrente.

Dessa forma, o sistema, como um todo, é montado de acordo com a seguinte imagem.

Figura 26 - Construção com todos os dispositivos necessários.



Fonte: Autor

### 3.4. Custo do sistema

Fato importante a ser comentado sobre o sistema é o custo, como um dos objetivos do trabalho é apresentar um sistema que proporcione melhores condições a população em geral, o baixo custo deve ser imprescindível, para que todos tenham acesso. Sendo assim, a compra e entrega dos materiais que constituem o sistema foram listados a seguir a partir dos fornecedores que apresentavam o preço médio entre os apresentados na internet, pois assim pode-se garantir a qualidade e funcionalidade dos mesmos.

- Split-Core Current Transformer

O valor do sensor de corrente de 10A/1V é um material de custo relativamente baixo, porém ao mesmo tempo, seu custo é extremamente variável. Sendo assim, o valor médio assumido através da pesquisa em internet é de R\$ 12,00

- Arduino

O Arduino, assim como o ESP, são dispositivos que possuem um custo um pouco mais elevado, quando comparados com os outros elementos do circuito, além disso, outro fator que influencia diretamente o valor do dispositivo é sua conexão wi-fi, nesse caso, o arduino não possui conexão wi-fi. Logo, o valor médio encontrado via pesquisa na internet é de R\$ 40,00

- ESP32

Já o ESP32, ele possui conexão via wifi, porém, seu valor é um pouco menos elevado quando comparado ao arduino. Sendo assim, seu valor médio encontrado foi de R\$ 35,00

- Protoboard, resistores, capacitores e jumpers

Os elementos supracitados, que constituem o sistema, são itens de custo extremamente baixo, e portanto, serão citados em apenas um item. Além disso, como ambos os itens são destinados a utilização em conjunto, todos podem ser adquiridos pela mesma plataforma de vendas, evitando assim gastos supérfluos com o transporte dos mesmos.

Para a protoboard, o valor médio encontrado é R\$ 7,00

Para os resistores, o valor médio encontrado por unidade é de R\$ 0,06, como no circuito utilizamos 3 resistores, temos um total de R\$ 0,18

Para o capacitor, o valor médio encontrado por unidade é de R\$ 0,20

Por fim, para os jumpers, encontra-se apenas o valor para um jogo de 40 unidades, cujo valor médio é de R\$ 7,00, resultando em um preço por unidade de R\$ 0,175.

- Cabo USB

Quanto ao cabo USB, temos que seu valor é totalmente atrelado ao seu fornecedor, portanto, esse item abrange um intervalo maior de valores, porém, ainda assim será

considerado o valor médio, mesmo que os mais baratos apresentem boas qualidades. Sendo assim, o valor médio do cabo é de R\$ 10,00.

- **Custo total**

Dessa forma, temos dois cenários de custos para o sistema, aquele onde os testes são executados, e portanto, a presença do arduino é necessária, e o cenário onde o sistema é construído sem o teste (caso mais recomendável para replicações do sistema). Logo:

- O primeiro cenário apresenta um custo total de R\$ 111,38.
- O segundo cenário apresenta um custo total de R\$ 71,38.

#### **4. Montagem do código**

O primeiro passo a ser tomado na montagem do código, é a adição das bibliotecas necessárias para que o ESP possa executar tanto a leitura do sensor quanto enviar os dados de corrente e potência ao Google Sheet via wifi. As bibliotecas utilizadas são:

- <Arduino.h>, responsável por definir inúmeras funções, como setup(), millis(), loop() e etc., que facilitam a execução de códigos para dispositivos do tipo arduino.
- <Wifi.h>, responsável por gerenciar as conexões via wi-fi em dispositivos que possuam suporte para tal função, como o ESP 32 DEVKIT V1 utilizado no desenvolvimento do sistema de monitoramento em questão.
- <Emonlib.h>, criada como parte do projeto OpenEnergyMonitor, essa biblioteca é responsável por executar a medição da corrente elétrica e, em certos casos, a tensão elétrica (mas nesse caso esse valor é determinado no código a partir da leitura de um voltímetro)
- <time.h>, responsável por manipular os dados referentes a data e hora das medições, logo, o dispositivo, seja ele o arduino ou o ESP, consegue computar os dados com seus respectivos valores de data e hora.
- <ESP\_Google\_Sheet\_Client.h>, responsável por integrar o ESP 32 diretamente com o Google Sheets, sendo possível direcionar diretamente os dados das medições executadas para uma planilha na plataforma do Google.
- <GS\_SDHelper.h>, responsável por manipular de forma simplificada o gerenciamento dos arquivos nos cartões de memória presentes no ESP32, sendo de extrema importância quando se refere a manipulação de dados ainda mais quando trabalhada juntamente com a biblioteca do Google Sheets.

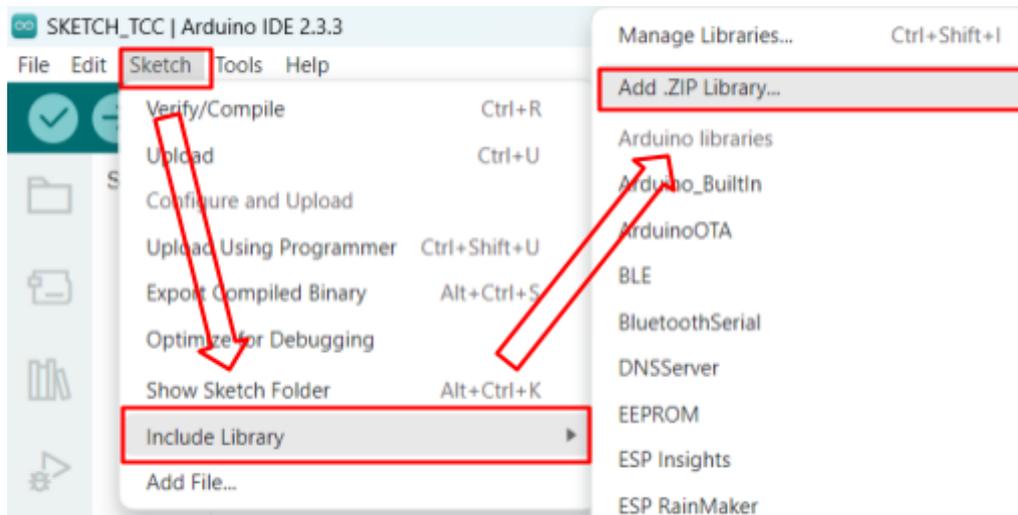
Para incluir as bibliotecas no código, basta inserir a função `#include` e o nome da respectiva biblioteca, se a biblioteca for reconhecida pelo software ela será instalada automaticamente, já para os casos onde o software não reconhece a biblioteca de forma direta, é necessário executar a instalação manual da biblioteca a partir de um arquivo .ZIP, basta entrar na aba de Sketch, logo após acessar a aba Include Library e posteriormente Add.ZIP Library, que por sua vez abrirá um seção de arquivos onde é possível incluir a biblioteca desejada.

Figura 27 - Inclusão de bibliotecas no software Arduino IDE.

```
//Bibliotecas utilizadas
#include "EmonLib.h"
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include "time.h"
#include <ESP_Google_Sheet_Client.h>
#include <GS_SDHelper.h>
```

Fonte: Autor

Figura 28 - Modelo para inserir bibliotecas manualmente a partir de arquivos .ZIP..



Fonte: Autor

A partir da inclusão de todas as bibliotecas necessárias, o código começa de forma efetiva, onde a priori devemos definir a internet que o ESP será conectado para executar o envio dos dados ao Google Sheets, vale ressaltar que alguns modelos do ESP não possuem a capacidade de suportar redes 5G, logo é preferível que estabeleça a conexão através de uma rede 2.4G, evitando assim loopings infinitos. Para tanto, devemos definir a rede wifi e sua senha através da função `#define`.

Figura 29 - Espaços destinados à inserção dos dados da internet a ser utilizada.

```
//Definindo a rede wi-fi utilizada:
#define WIFI_SSID "HELENA"
#define WIFI_PASSWORD "e6er737r2t"
```

Fonte: Autor

Os parâmetros referentes ao Id do projeto, e-mail do cliente, chave privada e Id da planilha, anteriormente apresentados no item 2.12, serão definidos através das funções #define e const char (const é responsável por definir uma constante dentro do código e char é responsável por representar dados em formato de caracteres).

Figura 30 - Espaços destinados à inserção dos dados disponibilizados pelo arquivo do tipo JSON e o ID da planilha.

```
//Dados necessários para o envio dos dados para o Google Sheets :
#define PROJECT_ID "tcc-final-bruno"
#define CLIENT_EMAIL "tcc-final-bruno@tcc-final-bruno.iam.gserviceaccount.com"
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE KEY-----\nMIIEvQIBADANBgkqhkiG9w
const char spreadsheetId[] = "1woDAVbiPJHqkXQ8o6bUBbToNKQg1UPtCITdDpwBp3NU";
```

Fonte: Autor

Com os parâmetros definidos, vamos para o período das medições, o ESP atua normalmente com medidas em ms, ou seja, milissegundos, sendo assim deve-se estabelecer o período desejado para as medições. Vale ressaltar que a empresa Google não permite que sejam executados mais de 10000 acessos diários de forma gratuita em uma planilha, ou seja, não é possível executar um código que estimule mais de 10000 dados diários, uma vez que cada input de dados na planilha é considerado 1 acesso. Dessa forma, para que as medições sejam possíveis de analisar a ligação tanto de uma lâmpada quanto seu desligamento, estipula-se o período de 10 segundos entre as medições.

Figura 31 - Funções que determinam o período entre as leituras do sistema.

```
//Variáveis de tempo:
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 10000;

void tokenStatusCallback(TokenInfo info);
```

Fonte: Autor

Já a função “void token Status Callback” é responsável por um sistema de autenticação de Tokens, utilizados para validar o retorno ou acesso a um determinado sistema.

A partir da definição de todos os parâmetros necessários para que o código seja executável, a parte responsável por executar as medições referentes à corrente elétrica e

obtenção da potência é iniciada. Sendo assim, utiliza-se a formalização de dados “int” no pino de recebimento dos dados do ESP a partir do sensor de corrente elétrica para definição da tensão, que por sua vez, é pré definida a partir da utilização de um multímetro (em formato de alicate) e da potência.

Nessa parte do código também são definidas constantes que definem a data e o horário que serão representados em um número único e contínuo, como por exemplo o valor 1730333518 representa a data 31/10/2024 no horário 21h11min58s (no horário de Brasília).

Figura 32 - Inserção de dados, parâmetros e instruções para o funcionamento do código.

```
// Iniciação do sistema de monitoramento de corrente elétrica e potência
EnergyMonitor SCT013;
int pinSCT = 34; //Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 118;
int potencia;

// NTP server to request epoch time
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";

// Variable to save current epoch time
unsigned long epochTime;

// Function that gets current epoch time
unsigned long getTime() {
    time_t now;
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
        //Serial.println("Failed to obtain time");
        return(0);
    }
    time(&now);
    return now;
}
```

Fonte: Autor

A partir desse ponto do código, iniciamos o Void.setup, uma função responsável por definir algumas das configurações iniciais do programa como o serial.begin(9600) que estabelece o tempo em milissegundos para a transmissão de bits entre ESP32 e a máquina que está sendo utilizada, neste caso, um notebook.

Nesse âmbito de configurações iniciais, inicia-se o processo de conexão entre o ESP32 e a rede wi-fi propriamente dita através da função wifi.begin, que por sua vez, utilizará os dados apresentados na Figura 29 para executar a conexão automática.

Além disso, também é estabelecida a primeira conexão entre o ESP e o Google Sheets através das funções GSheet.begin e GSheet.printf, responsável por transmitir os dados lidos pelo ESP a planilha google cujo ID foi disponibilizado dentro do arquivo através da rede

wi-fi. Vale ressaltar que algumas variações da função GSheet.printf também são utilizadas para autenticação dos tokens.

No âmbito do cálculo da corrente elétrica, a função SCT 013.current, fornecida pela biblioteca EmonLib.h (como parte do projeto Open Monitor Energy) para calcular a corrente elétrica eficaz que flui pelo condutor em que o sensor está acoplado. O valor 5,555 trata-se do valor anteriormente calculado no item 3.2.

Figura 33 - Configuração da função Void.Setup.

```
Serial.begin(9600);
Serial.println();
Serial.println();

//Configure time
configTime(0, 0, ntpServer);

GSheet.printf("ESP Google Sheet Client v%s\n\n", ESP_GOOGLE_SHEET_CLIENT_VERSION);

// Connect to Wi-Fi
WiFi.setAutoReconnect(true);
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  Serial.print(".");
  delay(1000);
}
Serial.println();
Serial.print("Connected with IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println();

// Set the callback for Google API access token generation status (for debug only)
GSheet.setTokenCallback(tokenStatusCallback);

// Set the seconds to refresh the auth token before expire (60 to 3540, default is
GSheet.setPrerefreshSeconds(10 * 60);

// Begin the access token generation for Google API authentication
GSheet.begin(CLIENT_EMAIL, PROJECT_ID, PRIVATE_KEY);

SCT013.current(pinsCT, 5.555);
```

Fonte: Autor

Após a definição das funções iniciais, podemos fechar a parte do código referente ao void.setup através do seguinte caractere, }. Sendo assim, pode-se iniciar a parte do código referente ao void.loop, função responsável por manter em looping (ou seja, repetir enquanto o ESP estiver conectado a uma fonte de energia) as funções alocadas dentro de seu intervalo.

Neste caso, utilizamos a função `millis` para que tenhamos o tempo decorrido desde o momento em que ESP iniciar suas medições até o momento em que ele for desligado, isso serve para que possamos analisar os dados em função do tempo decorrido. Ainda sobre a questão de tempo, a função `epochTime = getTime`, apresenta os anos, minutos e segundos decorridos desde 1º de janeiro de 1970 até a presente data.

Essa data também pode ser chamada de Unix Epoch e foi determinada como o ponto de partida para leitura de tempo em sistemas Unix devido ao contexto histórico dos criadores do sistema (um dos sistemas similares ao Unix e mais conhecido é o Linux, substituto do Windows em diversos dispositivos).

Novamente os valores referentes a corrente são apresentados dentro do código, neste caso a corrente recebe a nomenclatura de `Irms`, que por sua vez é igualada a função `SCT013.calcIrms(1480)`, onde 1480 representa a quantidade de leituras executadas que transformam o sinal analógico para o digital.

Figura 34 - Configuração da função `Void.loop`.

```
void loop()
{
  // Call ready() repeatedly in loop for authentication checking and processing
  bool ready = GSheet.ready();

  if (ready && millis() - lastTime > timerDelay){
    lastTime = millis();

    FirebaseJson response;

    Serial.println("\nAppend spreadsheet values...");
    Serial.println("-----");

    FirebaseJson valueRange;
    epochTime = getTime();

    double Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente

    potencia = Irms * tensao; // Calcula o valor da Potencia Instantanea

    if (Irms>0.0) {
      valueRange.add("majorDimension", "COLUMNS");
      valueRange.set("values/[0]/[0]", epochTime);
      valueRange.set("values/[1]/[0]", Irms);
      valueRange.set("values/[2]/[0]", potencia);
    }
  }
}
```

Fonte: Autor

Por fim, a fim de evitar outliers, ou seja, valores fora dos padrões, os dados serão transmitidos a planilha apenas quando maiores que 0,0, sendo assim, a função `if` é utilizada

para declarar essa condição, após isso, caso a condição seja verdadeira, os valores são adotados na planilha do Google Sheets através das funções `value Range.set`, onde [1] é destinado a coluna A, [2] é destinado a coluna B e [3] é destinado a coluna C, além disso, o valor [0] é referente a primeira linha que não tenha nenhum valor presente, logo, após a inserção de dados na linha número 1, a próxima será direcionada diretamente para a linha 2 e assim sucessivamente.

Por fim, a fim de validar o acesso ao Google Sheets, uma série de funções sob condições são definidas. Essas funções são similares e vertentes da função `Gsheet.printf` anteriormente definidas e portanto devem seguir o mesmo padrão supracitado.

Figura 35 - Finalização da função `Void.loop`.

```
// For Google Sheet API ref doc, go to https://developers.google.com/sheets/api/reference/rest/v4/spreadsheets.values/append
// Append values to the spreadsheet
bool success = GSheet.values.append(&response /* returned response */, spreadsheetId /* spreadsheet Id to append */, "Sheet1!A1"
if (success){
    response.toString(Serial, true);
    valueRange.clear();
}
else{
    Serial.println(GSheet.errorReason());
}
Serial.println();
Serial.println(ESP.getFreeHeap());
}
}
void tokenStatusCallback(TokenInfo info){
if (info.status == token_status_error){
    GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n", GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
    GSheet.printf("Token error: %s\n", GSheet.getTokenError(info).c_str());
}
else{
    GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n", GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
}
}
}
```

Fonte: Autor

## 5. MANIPULAÇÃO DE DADOS

Os resultados obtidos através do sistema, são transmitidos para o Google Sheet, assim como demonstrado anteriormente. Como o software da Google apresenta diversas funções, como inúmeros tipos de gráficos e funções, as análises dos dados podem ser executadas de diversas formas.

Uma das possíveis análises refere-se à verificação do consumo de energia elétrica do sistema em questão a partir da fórmula de energia elétrica, que determina energia elétrica a partir da potência multiplicada pelo tempo (em que o aparelho é utilizado). Sendo assim, a partir da quantificação dos aparelhos elétricos ligados ao sistema é possível estimar a quantidade de energia consumida baseada no tempo de utilização das lâmpadas e executar uma comparação direta com os dados obtidos através do sistema de monitoramento.

Essa análise possui três possíveis casos, são eles:

- A energia elétrica consumida, determinada pelo sistema, é inferior à quantidade estipulada pela teoria a partir dos equipamentos utilizados no circuito. Neste caso, os dispositivos apresentados podem estar demandando menos energia elétrica que o esperado, ou alguns dos aparelhos não estão sendo devidamente alimentados pelo sistema e dentre outras possíveis análises.
- A energia elétrica consumida é igual a energia estipulada pela teoria. Neste caso, temos um circuito dimensionado corretamente, e que não existe nem fuga ou perda de corrente em nenhum ponto do sistema.
- A energia elétrica consumida é superior à energia estipulada pela teoria. Neste caso, o sobreconsumo indica que podem existir fugas e perdas de corrente exacerbada dentro do sistema, muitas vezes essas patologias são encontradas em fiações antigas e que não possuem manutenção de forma corriqueira, além disso, também pode indicar que os aparelhos não estão demandando a energia elétrica esperada por eles, podendo ser frutos de defeito de fábrica ou desenvolvidos ao longo do uso do equipamento e dentre outras possíveis patologias.

Outra possível análise refere-se ao balanço de fase do sistema, ideia proveniente da termodinâmica mas que para o âmbito de sistemas de abastecimento elétrico baseia-se na distribuição igualitária da corrente elétrica entre as três fases que compõem o sistema, porém para que essa análise seja possível, é necessário um sistema trifásico e ao menos 3 sensores de corrente, onde cada um dos sensores esteja ligado a uma das fases, para que os dados disponibilizados no Google Sheet sejam referentes a cada uma das fases e por fim executar a comparação entre os valores apresentados por cada um.

Para casos onde as fases apresentam correntes elétricas próximas, o sistema possui caráter mais efetivo, uma vez que as perdas resistivas e as oscilações de tensão são reduzidas, além de evitar a sobrecarga de uma fase e o superdimensionamento dos cabos que constituem o sistema em detrimento da redução, ou em certos casos a anulação da corrente no neutro, diminuindo assim o aquecimento em função do efeito Joule.

Deve ser dito também que o sistema, através da transmissão simultânea dos dados, capacita os indivíduos a avaliar de forma direta o consumo de energia elétrica da edificação, onde, a partir disso é possível estabelecer medidas mais racionais quanto ao consumo de energia, uma vez que esse tipo de análise apresenta o crescimento e o decréscimo de corrente demandada por um sistema no momento em que os aparelhos estão em funcionamento.

Após a conclusão das análises quantitativas dos dados, é possível executar um processo de auditoria em termos de eficiência energética sobre as possíveis melhorias que podem ser aplicadas aos sistemas analisados, inclusive, para casos em que existam patologias, os causadores dela. Nesse âmbito, o sistema de monitoramento de energia elétrica integrado pode proporcionar tanto a economia no consumo de energia elétrica quanto no dimensionamento dos circuitos presentes nas edificações em geral.

## 6. TESTE DO SISTEMA

Como o código exemplificado no item 4 apresenta certa dificuldade em sua execução, um código mais simples foi feito ao decorrer do desenvolvimento do projeto a fim de verificar o funcionamento e aumentar os conhecimentos do autor e do orientador em relação ao funcionamento dos sistemas elétricos e dos códigos, propriamente dito, no software Arduino IDE.

Sendo assim, baseado no projeto OpenEnergyMonitor e no Blog “SCT-013 - Sensor de Corrente Alternada com Arduino” publicado em 30 de Outubro de 2017 pelo site Vida de Silício, executamos um código (apresentado no Anexo II) que abrange a captação de dados referentes a corrente elétrica e a determinação da potência demandada a partir da predisposição da tensão elétrica como anteriormente supracitado.

Tal teste, foi de suma importância para determinação correta do parâmetro de correção estabelecido dentro do código, vale ressaltar que esse parâmetro de correção é dado em função do número de espiras do sensor, 2000 de acordo com o catálogo do fabricante, e o resistor de carga, calculado anteriormente.

Figura 36 - Finalização da função Void.loop.



```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM5')
-----
...
Corrente = 0.00 A
Potencia = 0 W
...
Corrente = 0.00 A
Potencia = 0 W
...
Corrente = 0.00 A
Potencia = 0 W
...
...
```

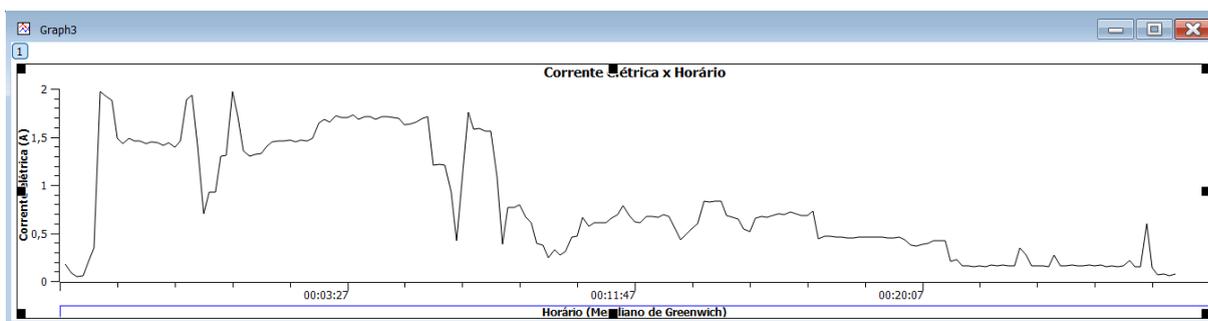
Fonte: Autor

## 7. RESULTADOS

Após a devida instalação do sistema no quadro de distribuição de energia da residência, foi possível obter os dados referente à corrente elétrica que flui por um sistema responsável por alimentar a iluminação de 3 quartos, 2 banheiros e 2 corredores, totalizando 16 lâmpadas de 9W. Os dados referentes às medições foram planilhados e estão na planilha completa disponível no Apêndice I.

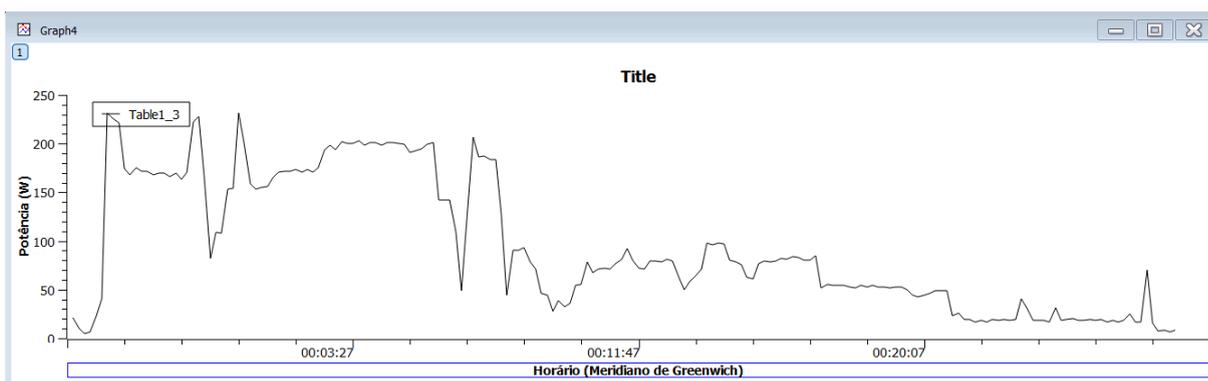
A partir dos dados obtidos, os gráficos 1 e 2 foram conformados a fim de analisar de forma visual a variação da corrente e da potência em função do tempo decorrido, ressalta-se que ambos os valores, potência e corrente, serão proporcionais, uma vez que a tensão elétrica do sistema é pré determinada, uma vez que a medição da tensão foi executada apenas uma vez e não de forma constante ao longo do funcionamento do sistema.

Gráfico 01 - Valores de corrente x horário da medição no Meridiano de Greenwich.



Fonte: Autor

Gráfico 02 - Valores de corrente x horário da medição no Meridiano de Greenwich.



Fonte: Autor

A fim de executar uma análise direta no sistema, foram ligadas 10 lâmpadas iguais, com fator de potência (FP)  $\geq 0,7$ , no horário 21:05:57, que resultou na corrente e na potência de aproximadamente 1,2 A e 142 VA, respectivamente (apresentados na Tabela 01). Após a verificação dos valores, foram desligadas 2 lâmpadas, resultando na queda dos valores no horário 21:06:27 para aproximadamente 0,93 A e 109 VA, logo após a medição, foram

desligadas mais 4 lâmpadas, resultando por fim em valores de aproximadamente 0,42 A e 49 W para as 4 lâmpadas restantes.

Tabela 01 - Valores de corrente / potência / horário.

Corrente [A]	Potência (Aparente) [VA]	Fator de Potência	Potência (Ativa) [W]	Potência Esperada [W]	Diferença em %	Horário Brasília
1,204	142	0,7	99,4	90	10,4%	21:05:57
1,211	142	0,7	99,4	90	10,4%	21:06:07
1,207	142	0,7	99,4	90	10,4%	21:06:17
0,926	109	0,7	76,3	72	6,4%	21:06:27
0,416	49	0,7	34,3	36	-4,7%	21:06:37
1,034	122	0,7	85,4	81	5,4%	21:06:47
1,755	207	0,7	144,9	135	7,3%	21:06:57
1,579	186	0,7	130,2	126	3,33%	21:07:07
1,593	187	0,7	130,9	126	3,89%	21:07:27
1,562	184	0,7	128,8	126	2,22%	21:07:37
1,565	184	0,7	128,8	126	2,22%	21:07:47

Após a verificação dos valores apresentados no Apêndice I, é possível estabelecer algumas análises. Quando o sensor de corrente elétrica foi testado, ele estava em um ambiente onde não haviam outros sistemas de transmissão de energia próximos, ou seja, não existia corrente elétrica que gerasse um campo magnético induzido e portanto a corrente elétrica medida adquiriu valor nulo.

Porém, quando o sensor é colocado próximo ao quadro de distribuição, o constante fluxo energético que flui através dos sistemas gera campos magnéticos induzidos, que por sua vez, podem afetar o sistema de leitura do sensor e portanto não é possível verificar a condição de corrente elétrica nula, mesmo que o sensor não esteja ligado a um fio.

Essa condição pode ainda alterar as medições do sensor quando atravessado pelo fio do sistema de alimentação da iluminação dos cômodos pressupostos da residência. Nesse caso, para evitar que essas interferências ocorram, seria necessário um sistema único para ser medido ou a construção de uma proteção ferro, ou outras ligas metálicas, que façam o desvio ou impeçam a propagação do campo magnético gerado pelos outros sistemas (como uma gaiola de Faraday).

No contexto de análise dos dados, é importante distinguir os diferentes tipos de potência. A potência ativa, medida em Watt (W), é responsável por representar a energia total demandada por um equipamento para seu funcionamento, já a potência reativa, medida em

volt-ampère reativo (VAR), é responsável por determinar a potência que não realiza trabalho de forma direta, enquanto a potência aparente, medida em volt-ampère (VA), é a combinação das duas, responsável por demonstrar a demanda do sistema completo.

Dentro desse contexto, sabe-se que as lâmpadas de LED apresentam em suas embalagens a potência ativa, ou seja, a potência necessária para seu funcionamento, e não do sistema em geral. Sendo assim, para que pudéssemos analisar os dados a partir do mesmo tipo de potência, multiplicamos o valor da potência obtida a partir do sistema pelo fator de potência da lâmpada, a fim de transformar a potência aparente obtida em potência ativa, esses valores podem ser observados na quarta coluna da Tabela 01.

## 8. CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados obtidos, tanto de forma resumida pela Tabela 01, quanto de forma geral pelo Apêndice I, podemos concluir que os valores esperados de potência assemelham-se com os valores reais, tendo o maior desvio na ordem de 10% do valor real em comparação ao esperado.

Sendo assim, o sistema se apresentou eficaz na apresentação tanto da corrente elétrica quanto da potência demandada pelo sistema de iluminação em questão. Porém, para que valores mais precisos sejam obtidos, é recomendável que o sistema medido não possua outros sistemas em sua proximidade ou que os mesmos estejam protegidos por equipamentos que impeçam a interferência nas leituras.

Atrelada a eficácia da apresentação dos dados, o baixo custo de construção do sistema também deve ser levado em consideração, uma vez que a aplicação de sistemas, relativamente baratos, podem ser mais acessíveis a aqueles que mais necessitam da redução das tarifas cobradas pelas concessionárias de energia.

Além disso, a análise dos dados pressupostos com os dados reais, pode proporcionar as análises anteriormente mencionadas com excelência. Ressalta-se, ainda, que como tal sistema possui capacidade de enviar dados através de uma planilha eletrônica, é possível analisar o consumo de energia em diversos locais em diversos períodos diferentes dos dias.

## Referências

NSG ENGENHARIA. Quadro de distribuição. Disponível em:

<<https://www.nsgengenharia.com.br/quadro-de-distribuicao/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

IBYTE. Cabo USB x Micro USB. Disponível em:

<<https://www.abyte.com.br/cabo-usb-x-micro-usb-goldentec-cmug01-preto-1-metro/p>>.

Acesso em: 10 out. 2024.

ICON CABOS. Cabo USB impressora AB 2.0. Disponível em:

<<https://www.ioncabos.com.br/cabo-usb-impressora-ab-2.0-high-speed-1.8-metros>>. Acesso em: 10 out. 2024.

CURTO CIRCUITO. Sensor corrente não invasivo 10A AC - SCT-013-10. Disponível em:

<<https://curtocircuito.com.br/sensor-corrente-nao-invasivo-10a-ac-sct-013-010.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

STA-ELETRÔNICA. Características principais do Arduino Uno. Disponível em:

<<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/caracteristicas-principais-do-arduino-uno>>. Acesso em: 10 out. 2024.

HU INFINITO. Módulo Wifi NodeMCU ESP-32 + Bluetooth. Disponível em:

<<https://www.huinfinito.com.br/home/1411-modulo-wifi-nodemcu-esp-32-bluetooth.html>>.

Acesso em: 10 out. 2024.

ESPRESSIF SYSTEMS. Establish serial connection with ESP32. Disponível em:

<<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/get-started/establish-serial-connection.html>>. Acesso em: 28 set. 2024.

ELETROGATE. Protoboard. Disponível em:

<<https://www.eletrogate.com/protoboard-830-pontos>>. Acesso em: 10 out. 2024.

MAKER HERO. Resistores. Disponível em:

<<https://www.makehero.com/produto/resistor-220%cf%89-1-4w/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

FAZEDORES. Código de cores resistores. Disponível em:

<<https://blog.fazedores.com/guia-fazedores-resistores/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Capacitor 10  $\mu$ F. Disponível em:

<<https://www.baudaeletronica.com.br/produto/capacitor-eletrolitico-10uf-25v-105c.html>>.

Acesso em: 10 out. 2024.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Jumper premium 40P x 20cm - macho/fêmea. Disponível em:

<<https://www.baudaeletronica.com.br/produto/jumper-premium-40p-x-20cm-macho-femea.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Jumper premium 40P x 20cm - macho/macho. Disponível em:

<<https://www.baudaeletronica.com.br/produto/jumper-premium-40p-x-20cm-macho-macho.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

Balanco Energético Nacional, BEN (2023).

## Anexo I

Código completo utilizado dentro do software Arduino IDE.

```
//Bibliotecas utilizadas
#include "EmonLib.h"
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include "time.h"
#include <ESP_Google_Sheet_Client.h>
#include <GS_SDHelper.h>
//Definindo a rede wi-fi utilizada:
#define WIFI_SSID "HELENA"
#define WIFI_PASSWORD "e6er737r2t"
//Dados necessários para o envio dos dados para o Google Sheets :
#define PROJECT_ID "tcc-final-bruno"
#define CLIENT_EMAIL "tcc-final-bruno@tcc-final-bruno.iam.gserviceaccount.com"
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE
KEY-----\nMIIEvQIBADANBgkqhkiG9w0BAQEFAASCBAwggSjAgEAAoIBAQCkQ
4AcD5xlp1G/\nnWUKiHrWfck8PIWG/Zy7GGRXhJqprNHNzzVihWLjPvKbY2TCixP
CrZzJ52aTFu5F\nm0dfk8gwRNqFMq2D0jZIHJ0P1aw1fbkpgt2khjXabFHUZUfms+rs
RTmZJyhjT8eE\nrWPbceud2Z+AbvFse/76E/N7SUC5qLkDtu0dnTj7JU3IHoE6m8rvpt
gDkvjg0Xn2\nAB5JRBN7aT2H3DvOrV4Cn5E1MZqqsPo5TnT4gk5A220CZ3wdS5EIZ
X257dK9pbNH\njDMGZX7O2orGmLEAZA0XqKEZjeJ1FqwFwjNpjKYifWhtxITwg
0670dCH0gLP0DF\nQvn4wNHjAgMBAAECggEAQPlEpdEjsUPRe75H6B6jks1BTpW
1E2O6EaushuGneT5\nHCKBKFZAlki46BP5sCYZC+Fmakq4vSfn2gSgx8KJ5eXmVde
E4OaOk5Is4i2Pr5zq\nV+wmxcQ8mwhLmerx9ORn4UtEjDr788SD1AxNumimXUrOI5v
KrTGisJ3heWkz4q1\nnfkHwRXoEc0jqjXHib6koJIGWBjII5/YisqtZVznUeiTxaU09XE
m/NChiT8Ce5h1A\nnm3F/A7nHb0RQbyvZfRt1rozJxwWMOmMys+82Gg9N9Xf0k+q34VI
wX7eHubjF5CL3P\nnzBDi+Pwf0eixoxR77BWHVktapSOH9oY3POqEiW7X6QKkgQDj
rtRGG6HdBUwBskFO\nnvVHFiziLE+ZjC5TwH54/fQ7HQMG45b+ZzrvGoWZ0tUa1Q4
KEI7ZRqbXe3DtGu1cD\nnaICAce+N+yg2DFuP9kAij8kMIBpO1WfPJTaeij8CQjNDt3k
QDvvMxwFTA41Ko2sZ\nn5RyQj11qcrqkUWBN6EkKuTPhNwKBgQC4sXkMq789Dqb2
3yVeKbUw23Y0mvt8j14\nnVxP7oNBiQTqDBLo2o/IGKSTNHu5rrLsqesQI+nHDmAYxV
Ia7i23nFyA9oKGfl4rP+\nNmJo0iOFs/Vqi56HOrtKnB7DwD1uqnP3QxyjQEecC+YWwlX
JX8TfT1xiM9KN0/CFcL\nnjWSTFOUatQKkgQDMuBMX4pqcr7mSwOOl1+Zhl/fEXa
VGo1BMxDE25sxV7m0BQlsQ\nnAemnBNKp16D3NPdzHzKIPO7prt4BkEsBvoHkFA2of
Q6/4kal4AX0zZI5O9hLz+ii\nnQdSloqpa7oIHtv28qaxQiRMwwD3Xwa54PyB6/t1A7FuU
```

```

FDN52ktqv/Hc6wKBgCYK\nF35umTLAI89Q4mdke7cWXGA1U3evns18UddPpdu5Nb
dNGUwmxZ9vuCocD6pEtuJS\n6r1uhyo4Q2j9SQHcZIZAADxZphyI9r2HPKt5TcSe4d4
PixoAk85nHSA0aZLYRsaL\nXnKMVYBgnF+NIC6k98DvEC72jQzScOsmMgLBGPbJ
AoGAOuK6QIL9kowSRSc+9TWS\nkhenijxrLcYCvQDWDPNuEuAbRNv/I5hozXKbA3
WrXmozsFR88jK0e3t4rIrtDYJl8\nrJiF4dHqWbwNvByU922xAkL2pwLt3vz4dhh70+wI
S+y+l+gwDL8SzVPpNijFNJp1\n1rR+ZmD0W/9tj8b0fRSg/Js=\n-----END PRIVATE
KEY-----\n";

const char spreadsheetId[] =
"1woDAVbiPJHqkXQ8o6bUBbToNKQg1UPtCITdDpwBp3NU";

//Variáveis de tempo:
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 10000;
void tokenStatusCallback(TokenInfo info);
// Iniciação do sistema de monitoramento de corrente elétrica e potência
EnergyMonitor SCT013;
int pinSCT = 34; //Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 118;
int potencia;
// NTP server to request epoch time
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
// Variable to save current epoch time
unsigned long epochTime;
// Function that gets current epoch time
unsigned long getTime() {
    time_t now;
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
        //Serial.println("Failed to obtain time");
        return(0);
    }
    time(&now);
    return now;
}
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println();

```

```

Serial.println();
//Configure time
configTime(0, 0, ntpServer);
GSheet.printf("ESP Google Sheet Client v%s\n\n",
ESP_GOOGLE_SHEET_CLIENT_VERSION);
// Connect to Wi-Fi
WiFi.setAutoReconnect(true);
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  Serial.print(".");
  delay(1000);
}
Serial.println();
Serial.print("Connected with IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println();
// Set the callback for Google API access token generation status (for debug only)
GSheet.setTokenCallback(tokenStatusCallback);
// Set the seconds to refresh the auth token before expire (60 to 3540, default is 300
seconds)
GSheet.setPrereshSeconds(10 * 60);
// Begin the access token generation for Google API authentication
GSheet.begin(CLIENT_EMAIL, PROJECT_ID, PRIVATE_KEY);
SCT013.current(pinSCT, 5.555);
}
void loop()
{
// Call ready() repeatedly in loop for authentication checking and processing
bool ready = GSheet.ready();
if (ready && millis() - lastTime > timerDelay){
  lastTime = millis();
  FirebaseJson response;
  Serial.println("\nAppend spreadsheet values...");
  Serial.println("-----");
  FirebaseJson valueRange;
  epochTime = getTime();

```

```

    double Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente
    potencia = Irms * tensao; // Calcula o valor da Potência Instantânea
if (Irms>0.0) {
    valueRange.add("majorDimension", "COLUMNS");
    valueRange.set("values/[0]/[0]", epochTime);
    valueRange.set("values/[1]/[0]", Irms);
    valueRange.set("values/[2]/[0]", potência);
}
// For Google Sheet API ref doc, go to
https://developers.google.com/sheets/api/reference/rest/v4/spreadsheets.values/append
// Append values to the spreadsheet
    bool success = GSheet.values.append(&response /* returned response */,
spreadsheetId /* spreadsheet Id to append */, "Sheet1!A1" /* range to append */,
&valueRange /* data range to append */);
    if (success){
        response.toString(Serial, true);
        valueRange.clear();
    }
    else{
        Serial.println(GSheet.errorReason());
    }
    Serial.println();
    Serial.println(ESP.getFreeHeap());
}
}
void tokenStatusCallback(TokenInfo info){
    if (info.status == token_status_error){
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
        GSheet.printf("Token error: %s\n", GSheet.getTokenError(info).c_str());
    }
    else{
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
    }
}
}
}

```

## Anexo II

```

#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor SCT013;
int pinSCT = A0; //Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 127;
int potencia;
void setup()
{
    SCT013.current(pinSCT, 6.0606);
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    double Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da
Corrente

    potencia = Irms * tensao; // Calcula o valor da Potencia
Instantanea
    Serial.print("Corrente = ");
    Serial.print(Irms);
    Serial.println(" A");

    Serial.print("Potencia = ");
    Serial.print(potencia);
    Serial.println(" W");

    delay(500);
    Serial.print(".");
    delay(500);
    Serial.print(".");
    delay(500);
    Serial.println(".");
    delay(500);
}

```

## Apêndice I

<b>Corrente (A)</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Horário e Data Greenwich</b>	<b>Horas em Brasília (h)</b>	<b>Minutos em Brasília (min)</b>	<b>Segundos em Brasília (s)</b>
0,180	21	01/11/2024 23:55:17	20	55	17
0,087	10	01/11/2024 23:55:27	20	55	27
0,046	5	01/11/2024 23:55:37	20	55	37
0,055	6	01/11/2024 23:55:47	20	55	47
0,201	23	01/11/2024 23:55:57	20	55	57
0,349	41	01/11/2024 23:56:07	20	56	7
1,972	232	01/11/2024 23:56:17	20	56	17
1,923	226	01/11/2024 23:56:27	20	56	27
1,881	221	01/11/2024 23:56:37	20	56	37
1,483	174	01/11/2024 23:56:47	20	56	47
1,430	168	01/11/2024 23:56:57	20	56	57
1,486	175	01/11/2024 23:57:07	20	57	7
1,459	172	01/11/2024 23:57:17	20	57	17
1,460	172	01/11/2024 23:57:27	20	57	27
1,430	168	01/11/2024 23:57:37	20	57	37
1,448	170	01/11/2024 23:57:47	20	57	47
1,443	170	01/11/2024 23:57:57	20	57	57
1,407	166	01/11/2024 23:58:07	20	58	7
1,442	170	01/11/2024 23:58:17	20	58	17
1,389	163	01/11/2024 23:58:27	20	58	27
1,458	171	01/11/2024 23:58:37	20	58	37
1,888	222	01/11/2024 23:58:47	20	58	47
1,933	228	01/11/2024 23:58:57	20	58	57
1,419	167	01/11/2024 23:59:07	20	59	7
0,703	82	01/11/2024 23:59:17	20	59	17
0,928	109	01/11/2024 23:59:27	20	59	27
0,921	108	01/11/2024 23:59:37	20	59	37
1,298	153	01/11/2024 23:59:47	20	59	47

1,310	154	01/11/2024 23:59:57	20	59	57
1,973	232	02/11/2024 00:00:07	21	0	7
1,706	201	02/11/2024 00:00:17	21	0	17
1,351	159	02/11/2024 00:00:27	21	0	27
1,302	153	02/11/2024 00:00:37	21	0	37
1,322	155	02/11/2024 00:00:47	21	0	47
1,330	156	02/11/2024 00:00:57	21	0	57
1,404	165	02/11/2024 00:01:07	21	1	7
1,451	171	02/11/2024 00:01:17	21	1	17
1,459	172	02/11/2024 00:01:27	21	1	27
1,460	172	02/11/2024 00:01:37	21	1	37
1,469	173	02/11/2024 00:01:47	21	1	47
1,450	171	02/11/2024 00:01:57	21	1	57
1,467	173	02/11/2024 00:02:07	21	2	7
1,454	171	02/11/2024 00:02:17	21	2	17
1,487	175	02/11/2024 00:02:27	21	2	27
1,649	194	02/11/2024 00:02:37	21	2	37
1,685	198	02/11/2024 00:02:47	21	2	47
1,651	194	02/11/2024 00:02:57	21	2	57
1,720	202	02/11/2024 00:03:07	21	3	7
1,699	200	02/11/2024 00:03:17	21	3	17
1,703	200	02/11/2024 00:03:27	21	3	27
1,729	203	02/11/2024 00:03:37	21	3	37
1,685	198	02/11/2024 00:03:47	21	3	47
1,711	201	02/11/2024 00:03:57	21	3	57
1,706	201	02/11/2024 00:04:07	21	4	7
1,686	198	02/11/2024 00:04:17	21	4	17
1,709	201	02/11/2024 00:04:27	21	4	27
1,710	201	02/11/2024 00:04:37	21	4	37
1,702	200	02/11/2024 00:04:47	21	4	47
1,693	199	02/11/2024 00:04:57	21	4	57

1,626	191	02/11/2024 00:05:07	21	5	7
1,636	193	02/11/2024 00:05:17	21	5	17
1,657	195	02/11/2024 00:05:27	21	5	27
1,694	199	02/11/2024 00:05:37	21	5	37
1,711	201	02/11/2024 00:05:47	21	5	47
1,204	142	02/11/2024 00:05:57	21	5	57
1,211	142	02/11/2024 00:06:07	21	6	7
1,207	142	02/11/2024 00:06:17	21	6	17
0,926	109	02/11/2024 00:06:27	21	6	27
0,416	49	02/11/2024 00:06:37	21	6	37
1,034	122	02/11/2024 00:06:47	21	6	47
1,755	207	02/11/2024 00:06:57	21	6	57
1,579	186	02/11/2024 00:07:07	21	7	7
1,593	187	02/11/2024 00:07:17	21	7	17
1,562	184	02/11/2024 00:07:27	21	7	27
1,565	184	02/11/2024 00:07:37	21	7	37
1,084	127	02/11/2024 00:07:47	21	7	47
0,379	44	02/11/2024 00:07:57	21	7	57
0,765	90	02/11/2024 00:08:07	21	8	7
0,770	90	02/11/2024 00:08:17	21	8	17
0,792	93	02/11/2024 00:08:27	21	8	27
0,666	78	02/11/2024 00:08:37	21	8	37
0,605	71	02/11/2024 00:08:47	21	8	47
0,394	46	02/11/2024 00:08:57	21	8	57
0,373	44	02/11/2024 00:09:07	21	9	7
0,240	28	02/11/2024 00:09:17	21	9	17
0,331	39	02/11/2024 00:09:27	21	9	27
0,272	32	02/11/2024 00:09:37	21	9	37
0,308	36	02/11/2024 00:09:47	21	9	47
0,459	54	02/11/2024 00:09:57	21	9	57
0,471	55	02/11/2024 00:10:07	21	10	7

0,668	78	02/11/2024 00:10:17	21	10	17
0,568	67	02/11/2024 00:10:27	21	10	27
0,605	71	02/11/2024 00:10:37	21	10	37
0,611	72	02/11/2024 00:10:47	21	10	47
0,607	71	02/11/2024 00:10:57	21	10	57
0,658	77	02/11/2024 00:11:07	21	11	7
0,690	81	02/11/2024 00:11:17	21	11	17
0,781	92	02/11/2024 00:11:27	21	11	27
0,680	80	02/11/2024 00:11:37	21	11	37
0,617	72	02/11/2024 00:11:47	21	11	47
0,604	71	02/11/2024 00:11:57	21	11	57
0,671	79	02/11/2024 00:12:07	21	12	7
0,671	79	02/11/2024 00:12:17	21	12	17
0,667	78	02/11/2024 00:12:27	21	12	27
0,692	81	02/11/2024 00:12:37	21	12	37
0,674	79	02/11/2024 00:12:47	21	12	47
0,538	63	02/11/2024 00:12:57	21	12	57
0,426	50	02/11/2024 00:13:07	21	13	7
0,498	58	02/11/2024 00:13:17	21	13	17
0,556	65	02/11/2024 00:13:27	21	13	27
0,602	71	02/11/2024 00:13:37	21	13	37
0,834	98	02/11/2024 00:13:47	21	13	47
0,820	96	02/11/2024 00:13:57	21	13	57
0,834	98	02/11/2024 00:14:07	21	14	7
0,830	97	02/11/2024 00:14:17	21	14	17
0,683	80	02/11/2024 00:14:27	21	14	27
0,668	78	02/11/2024 00:14:37	21	14	37
0,645	76	02/11/2024 00:14:47	21	14	47
0,542	63	02/11/2024 00:14:57	21	14	57
0,518	61	02/11/2024 00:15:07	21	15	7
0,655	77	02/11/2024 00:15:17	21	15	17

0,674	79	02/11/2024 00:15:27	21	15	27
0,668	78	02/11/2024 00:15:37	21	15	37
0,678	79	02/11/2024 00:15:47	21	15	47
0,702	82	02/11/2024 00:15:57	21	15	57
0,694	81	02/11/2024 00:16:07	21	16	7
0,718	84	02/11/2024 00:16:17	21	16	17
0,705	83	02/11/2024 00:16:27	21	16	27
0,686	80	02/11/2024 00:16:37	21	16	37
0,683	80	02/11/2024 00:16:47	21	16	47
0,725	85	02/11/2024 00:16:57	21	16	57
0,442	52	02/11/2024 00:17:07	21	17	7
0,467	55	02/11/2024 00:17:17	21	17	17
0,465	54	02/11/2024 00:17:27	21	17	27
0,460	54	02/11/2024 00:17:37	21	17	37
0,459	54	02/11/2024 00:17:47	21	17	47
0,452	53	02/11/2024 00:17:57	21	17	57
0,444	52	02/11/2024 00:18:07	21	18	7
0,461	54	02/11/2024 00:18:17	21	18	17
0,455	53	02/11/2024 00:18:27	21	18	27
0,458	54	02/11/2024 00:18:37	21	18	37
0,454	53	02/11/2024 00:18:47	21	18	47
0,454	53	02/11/2024 00:18:57	21	18	57
0,446	52	02/11/2024 00:19:07	21	19	7
0,451	53	02/11/2024 00:19:17	21	19	17
0,455	53	02/11/2024 00:19:27	21	19	27
0,428	50	02/11/2024 00:19:37	21	19	37
0,376	44	02/11/2024 00:19:47	21	19	47
0,363	42	02/11/2024 00:19:57	21	19	57
0,380	44	02/11/2024 00:20:07	21	20	7
0,393	46	02/11/2024 00:20:17	21	20	17
0,421	49	02/11/2024 00:20:27	21	20	27

0,423	49	02/11/2024 00:20:37	21	20	37
0,423	49	02/11/2024 00:20:47	21	20	47
0,203	23	02/11/2024 00:20:57	21	20	57
0,228	26	02/11/2024 00:21:07	21	21	7
0,163	19	02/11/2024 00:21:17	21	21	17
0,162	19	02/11/2024 00:21:27	21	21	27
0,152	17	02/11/2024 00:21:37	21	21	37
0,157	18	02/11/2024 00:21:47	21	21	47
0,150	17	02/11/2024 00:21:57	21	21	57
0,164	19	02/11/2024 00:22:07	21	22	7
0,161	18	02/11/2024 00:22:17	21	22	17
0,167	19	02/11/2024 00:22:27	21	22	27
0,160	18	02/11/2024 00:22:37	21	22	37
0,163	19	02/11/2024 00:22:47	21	22	47
0,350	41	02/11/2024 00:22:57	21	22	57
0,270	31	02/11/2024 00:23:07	21	23	7
0,157	18	02/11/2024 00:23:17	21	23	17
0,155	18	02/11/2024 00:23:27	21	23	27
0,159	18	02/11/2024 00:23:37	21	23	37
0,152	17	02/11/2024 00:23:47	21	23	47
0,268	31	02/11/2024 00:23:57	21	23	57
0,160	18	02/11/2024 00:24:07	21	24	7
0,161	19	02/11/2024 00:24:17	21	24	17
0,171	20	02/11/2024 00:24:27	21	24	27
0,160	18	02/11/2024 00:24:37	21	24	37
0,159	18	02/11/2024 00:24:47	21	24	47
0,166	19	02/11/2024 00:24:57	21	24	57
0,158	18	02/11/2024 00:25:07	21	25	7
0,166	19	02/11/2024 00:25:17	21	25	17
0,148	17	02/11/2024 00:25:27	21	25	27
0,156	18	02/11/2024 00:25:37	21	25	37

0,149	17	02/11/2024 00:25:47	21	25	47
0,159	18	02/11/2024 00:25:57	21	25	57
0,216	25	02/11/2024 00:26:07	21	26	7
0,149	17	02/11/2024 00:26:17	21	26	17
0,148	17	02/11/2024 00:26:27	21	26	27
0,595	70	02/11/2024 00:26:37	21	26	37
0,141	16	02/11/2024 00:26:47	21	26	47
0,066	7	02/11/2024 00:26:57	21	26	57
0,072	8	02/11/2024 00:27:07	21	27	7
0,058	6	02/11/2024 00:27:17	21	27	17
0,072	8	02/11/2024 00:27:27	21	27	27