

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**ÊNFASE: SISTEMAS COMPUTACIONAIS E DISPOSITIVOS APLICADOS À SAÚDE**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA DOS  
EQUIPAMENTOS MÉDICOS-HOSPITALARES**

**HENRIQUE ANDRADE BARBOSA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO BATISTA DESTRO FILHO**

Uberlândia - MG

Junho, 2023

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA DOS  
EQUIPAMENTOS MÉDICOS-HOSPITALARES**

**HENRIQUE ANDRADE BARBOSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia biomédica, área de concentração: Sistemas Computacionais e Dispositivos Aplicados À Saúde. Orientador: Dr. João Batista Destro Filho

Uberlândia - MG

Junho, 2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

B238  
2023  
Barbosa, Henrique Andrade, 1995-  
SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA DOS  
EQUIPAMENTOS MÉDICOS-HOSPITALARES [recurso eletrônico] /  
Henrique Andrade Barbosa. - 2023.

Orientador: João Batista Destro Filho.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de  
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Biomédica.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.200>  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica. I. Destro Filho, João Batista  
, 1970-, (Orient.). II. Universidade Federal de  
Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Biomédica. III.  
Título.

CDU: 62:61

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica  
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N, Sala 115 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 3239-4761 - www.ppgeb.feelt.ufu.br - ppegb@feelt.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Biomédica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 093, sigla do PPGEB				
Data:	vinte e seis de junho de dois mil e vinte e três	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:30
Matrícula do Discente:	12022EBI004				
Nome do Discente:	Henrique Andrade Barbosa				
Título do Trabalho:	Sistema de monitoramento de consumo de energia dos equipamentos médicos-hospitalares				
Área de concentração:	Engenharia Biomédica				
Linha de pesquisa:	Tecnologias em Radiações, Imagens Médicas e Biológicas				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Sistemas Computacionais e Dispositivos Aplicados à Saúde				

Reuniu-se via plataforma Microsoft Teams, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, assim composta: Professores Doutores: Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira - FEELT/UFU; Francisco Fambrini - Univesp; João Batista Destro Filho - PPGEB/UFU, orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. João Batista Destro Filho, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Batista Destro Filho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/06/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/06/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Fambrini, Usuário Externo**, em 26/06/2023, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4595612** e o código CRC **DE693D1F**.

---

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
ÊNFASE: SISTEMAS COMPUTACIONAIS E DISPOSITIVOS APLICADOS À SAÚDE

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA DOS  
EQUIPAMENTOS MÉDICOS-HOSPITALARES**

**HENRIQUE ANDRADE BARBOSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica, área de concentração: Sistemas Computacionais e Dispositivos Aplicados À Saúde

Uberlândia, 26 de Junho de 2023

Banca Examinadora:

---

João Batista Destro Filho - Doutorado (PPGEB/UFU)

---

Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira - Doutorado (FEELT/UFU)

---

Francisco Fambrini - Doutorado (Univesp)

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
ÊNFASE: SISTEMAS COMPUTACIONAIS E DISPOSITIVOS APLICADOS À SAÚDE

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA DOS  
EQUIPAMENTOS MÉDICOS-HOSPITALARES**

**HENRIQUE ANDRADE BARBOSA**

---

Dr. João Batista Destro Filho

Orientador

---

Prof. Adriano de Oliveira Andrade

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de forma significativa para a realização desta pesquisa. Gostaria de expressar minha gratidão ao meu estimado orientador, Professor Dr. João Batista Destro. Desde o início deste projeto, você esteve ao meu lado, oferecendo seu conhecimento e apoio incondicional.

Professor João, sou imensamente grato por sua orientação e dedicação ao longo de toda essa jornada. Sua experiência e sabedoria foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa. Aprendi muito com você, tanto a nível acadêmico como profissional. Sou verdadeiramente grato por todas as lições que me transmitiu. Cada conversa que tivemos e cada conselho valioso que você compartilhou contribuíram para o meu crescimento e amadurecimento.

Além disso, agradeço pela sua constante disponibilidade e disposição em me ajudar. Mesmo nos momentos mais desafiadores, você estava lá, pronto para me auxiliar e me encorajar. Sua presença e apoio foram um verdadeiro suporte ao longo desta jornada. Sou profundamente grato por ter tido a oportunidade de trabalhar ao seu lado.

Quero também expressar minha gratidão à minha família, à Camila, à empresa "Evoluir Saúde" e à engenheira Márcia por todo o apoio e suporte ao longo deste caminho. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental na minha jornada acadêmica, e sou grato por ter contado com o apoio de pessoas tão especiais.

Gostaria de dedicar um parágrafo especial para expressar minha gratidão à minha mãe, que sempre foi uma fonte inesgotável de incentivo e apoio em minha jornada acadêmica. Sua dedicação em me motivar a estudar, seu encorajamento constante e seu amor incondicional foram fundamentais para que eu persistisse e alcançasse meus objetivos. Sou profundamente grato por ter você como minha mãe, e reconheço que sua presença e apoio foram essenciais em cada passo dessa caminhada. Obrigado por ser meu maior exemplo de força, determinação e dedicação aos estudos.

À Camila, agradeço por sua presença constante e apoio incondicional. Seu encorajamento e compreensão nos momentos mais desafiadores foram fundamentais para minha motivação. Sou grato por sua confiança e por ser uma fonte de inspiração para mim.

À empresa "Evoluir Saúde", meu profundo agradecimento por disponibilizar o laboratório necessário para a realização dos testes e resultados deste projeto. O suporte e os recursos fornecidos foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço a toda equipe da empresa pelo acolhimento e apoio ao longo dessa jornada.

E, por fim, gostaria de agradecer à engenheira Márcia, da "Evoluir Saúde", por sua expertise e ajuda na construção do circuito eletrônico, assim como pelo acompanhamento nos testes. Sua orientação e dedicação foram inestimáveis, e sou imensamente grato por toda a assistência fornecida.

A todos os professores, colegas e amigos que cruzaram meu caminho durante essa jornada, meu sincero agradecimento. Cada conversa, cada troca de ideia contribuiu para meu crescimento, fazendo-me enriquecer como pesquisador.

Espero que este trabalho possa trazer contribuições significativas e abrir novos horizontes para futuras pesquisas.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

Esta dissertação faz uma revisão da literatura, buscando, nos principais meios de pesquisa de trabalhos acadêmicos, entender o Estado da Arte do sensoriamento automático do consumo de energia e a economia gerada graças ao monitoramento, além de procurar aplicações nos estabelecimentos de saúde. Com esta pesquisa, encontramos escassez de projetos nessas áreas, a partir disso, decidimos propor a criação de um dispositivo de mensuração de potência voltado para equipamentos médicos, com o intuito de realizar a mensuração da potência média do equipamento analisado, e visualizar o formato da onda do sinal. Assim, para projetos futuros, com o circuito criado, será possível realizar o processamento deste sinal, para detectar possíveis falhas elétricas e melhorar, tanto as manutenções preventivas quanto as preditivas, além disso, realizar o estudo do consumo energético para tarifação de energia.

**Palavras-chave:** sensoriamento de corrente, potência, placa de circuito impresso, eletrônica analógica, ESP32, amplificadores operacionais, monitoramento.

## ABSTRACT

This dissertation reviews the literature, searching the main means of research for academic works, understanding the state of the art of automatic sensing of energy consumption and the savings generated thanks to monitoring, in addition to looking for applications in health establishments. With this, the economy of projects in these areas was found and from that, to propose the creation of a power measurement device aimed at medical equipment, with the aim of measuring the average power of the analyzed equipment, in addition to visualizing the format of the signal wave. Thus, for future projects, with the circuit created, it will be possible to process this signal to detect possible electrical failures and improve both preventive and predictive maintenance, in addition to carrying out the study of energy consumption for energy billing.

**Keywords:** current sensing, power, printed circuit board, analog electronics, ESP32, operational amplifiers, monitoring.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho da implementação da tomada inteligente. A) carcaça B) plug C) circuito.	24
Figura 2 - Gráfico de consumo de energia ao longo do tempo, sendo que no eixo X são os dias e eixo Y é o gasto em dólares contendo o que cada equipamento gastou.	25
Figura 3 - Desenho esquemático do circuito de aquisição de tensão da rede elétrica.	27
Figura 4 - Imagem da esquerda são as ligações elétricas do sensor ACS712 para o funcionamento adequado. Imagem da direita é um diagrama do funcionamento interno do circuito integrado.	29
Figura 5 - Ligação elétrica da entrada do sensor para mensurar a corrente a ser analisada. Perceba que é conectado em 2 pinos tanto na entrada do circuito integrado quanto na saída da corrente.	30
Figura 6 - Sensor SCT-013 fechado e aberto, sendo que o furo que ele possui, é por onde o fio passaria.	30
Figura 7 - Sensor SCT-013 sem a carcaça azul, tendo a vista como é por dentro.	31
Figura 8 - Diagrama de blocos dos processos para o processamento do sinal analógico	32
Figura 9 - Esquemático do circuito de aquisição. Na região vermelha é a parte de alimentação e na região azul é a o circuito de aquisição.	33
Figura 10 - Análise de cada bloco do circuito de alimentação.	34
Figura 11 - Simbologia do amplificador operacional.	35
Figura 12 - Circuito integrado LM358 e sua respectiva pinagem.	35
Figura 13 - Gráfico de tensão (eixo Y) e tempo (eixo X) demonstrado como que o sinal poderia comportar e sua faixa de atuação. Na imagem da direita mostra que dependendo do nível DC, fará com que alcance tensões negativas.	36
Figura 14 - Região em azul mostra o capacitor de desacoplamento ligado perto do pino de alimentação do amplificador operacional.	37
Figura 15 - Análise de cada bloco do circuito de aquisição.	38
Figura 16 - Na imagem superior, esquemático da placa mostrando em amarelos os pinos e pontos de interesse, enquanto na imagem inferior a placa do circuito simulado.	40
Figura 17 - Placa de circuito impresso de aquisição de corrente.	41
Figura 18 - Conexão do sensor na alimentação da carga analisada.	44
Figura 19 - Gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição em decorrência do sinal gerado pela corrente de uma lâmpada com 1 volta de fio no sensor SCT-013.	45
Figura 20 - Gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição em decorrência do sinal gerado pela corrente de uma lâmpada com 2 volta de fio no sensor SCT-013.	45
Figura 21 - Esquema de ligações do teste registrando sinal de equipamentos	47
Figura 22 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente da lâmpada halógena enquanto na imagem inferior é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.	48
Figura 23 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente da fonte de tensão variada enquanto na imagem inferior é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.	49

Figura 24 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente do gerador de sinal enquanto na imagem inferior é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

50

Figura 25 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente do ventilador pulmonar enquanto na imagem inferior é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

51

Figura 26 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente das ondas curtas, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

52

Figura 27 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente do desfibrilador, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

53

Figura 28 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de aquisição monitorando o sinal de corrente do micromotor, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

54

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resultados a partir do cálculo de RMS e potência média.	55
Tabela 2 - Valores obtidos através dos manuais de serviço/usuário dos equipamentos.	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	analógico/digital
AC	Alternating current (Corrente alternada)
CME	Central de Materiais Esterilizados
DC	Direct current (Corrente contínua)
EPO	Escritório Europeu de Patentes
FFT	Transformada Rápida de Fourier
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IUE	Índice de Utilização de Energia
JPO	Escritório Japonês de Patentes
PCI	Placa de Circuito Impresso
RMS	Raiz Quadrada Média
RSSF	Redes de Sensores Sem Fios
SMD	Dispositivo de Montagem Superficial
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TVS	Supressor de Tensão de Transiente
USPTO	Escritório Norte-Americano de Marcas e Patentes
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo
VA	Potência aparente
Vref	Tensão de referência
W	Potência ativa

## SUMÁRIO

<b>1. Capítulo 1 - Introdução</b>	<b>19</b>
1.1. Introdução	19
1.2. Justificativa	22
1.3. Objetivos	22
1.4. Organização do trabalho	23
<b>2. Capítulo 2 - Estado da Arte</b>	<b>24</b>
2.1. Introdução	24
2.2. Metodologia	24
2.3. Resultados e discussões	25
2.3.1. Consumo de energia	26
2.3.2. Sensoriamento de dispositivos	27
2.3.3. Patentes	30
2.4. Conclusão	32
<b>3. Capítulo 3 - Construção da Placa de Circuito Impresso</b>	<b>34</b>
3.1. Sensor de tensão	34
3.2. Sensor de corrente	35
3.3. Circuito de aquisição	39
3.4. Layout	46
3.5. Microcontrolador	48
3.6. Softwares utilizados	49
<b>4. Capítulo 4 - Mensuração e testes</b>	<b>51</b>
4.1. Teste do circuito de aquisição	51
4.2. Teste do software e registro de aquisição dos equipamentos	53
4.2.1. Teste com equipamento genérico	54
4.2.1.1. Teste com lâmpada halógena	54
4.2.1.2. Teste com fonte de tensão variada	55
4.2.1.3. Teste com gerador de sinal	56
4.2.2. Teste com equipamento médico	58
4.2.2.1. Ventilador pulmonar	58
4.2.2.2. Ondas curtas	59
4.2.2.3. Desfibrilador	60
4.2.2.4. Micromotor	62
4.3. Cálculo dos resultados de potência	63
<b>5. Capítulo 5 - Discussões dos resultados</b>	<b>65</b>
5.1. Discussões sobre resultados	65
<b>6. Capítulo 6 - Conclusão do projeto</b>	<b>67</b>
6.1. Conclusão	67
<b>ANEXO A – Resultados encontrados na busca de artigos e patentes</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO B – Resultados dos artigos relacionados a consumo de energia</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO C – Resultados dos artigos relacionados à sensoriamento</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO D – Linha de código criado para aquisição de dados do esp32</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO E – Linha de código criado para projetar os pontos pelo computador</b>	<b>76</b>

## 1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1. Introdução

A energia que cada equipamento elétrico consome ao longo do seu uso pode ser considerada uma incógnita, não apenas para os indivíduos em suas residências, mas também para os gestores de indústrias e hospitais, visto que as concessionárias de energia fornecem o resultado do consumo global apenas no final de cada mês. O valor total desse consumo, mesmo sendo mensal, é um indicador de pouca efetividade, pois a partir dele não é possível discernir como cada equipamento influencia no todo ou se apresenta alguma anormalidade no consumo.

(DINIZ, 2017) construiu um dispositivo para fins residenciais, com o objetivo de medir o consumo de energia dos aparelhos domésticos para ajudar a reduzir os custos de consumo de energia. Esse dispositivo, construído com sensores de tensão e corrente, além de possuir um microcontrolador, que é responsável pelos cálculos dos parâmetros, possui *bluetooth* para transmitir as informações para um *smartphone*. A partir desse dispositivo, o usuário, com ajuda dos gráficos da interface, monitora e toma as decisões. Já o trabalho de (SENA, 2018), em sua dissertação, também com o objetivo de acompanhar o consumo de energia, propõe um sistema com o recurso de Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) e *smart grids*, que além de identificar o consumo, permite verificar desperdícios de energia ou anomalias no consumo de algum equipamento. Dessa forma, o usuário consegue realizar as intervenções necessárias para a correção. Ao invés de utilizar o *bluetooth*, que possui um alcance de até 10 metros (FILHO, 2014), utilizou uma antena com o protocolo *ZigBee* para ter um alcance de até 120 metros do dispositivo. Com esse trabalho, foi possível obter uma diminuição de 13,7% no consumo de energia de uma residência analisada.

Enquanto esses trabalhos propõem um gerenciamento residencial, (HARA, 2013), em sua pesquisa, traçou como objetivo realizar o monitoramento do consumo de energia elétrica em ambientes industriais, mais especificamente, em uma usina termoelétrica. O sistema foi parcialmente implementado, mesmo assim, ele consegue gerar indicadores, para que se possa realizar as manutenções preventivas, devido ao tempo de funcionamento dos aparelhos, assim como da preditiva, para detectar anomalias na curva de carga dos equipamentos.

Como demonstrado nos parágrafos anteriores, o monitoramento do consumo de energia mostrou-se eficaz para situações em pequena escala, como em residências, obtendo-se resultados satisfatórios em relação à economia no consumo de energia, e para detecção de anomalias dos aparelhos domésticos e também para escalas maiores, como a indústria, onde

proporcionou uma ferramenta para ajudar a equipe de manutenções preventivas e preditivas, a partir das informações coletadas. Consequentemente, pode-se cogitar a aplicação desse sistema em casos mais complexos ainda, como em hospitais, os quais possuem uma grande demanda de energia, pois funcionam 24 horas, cujos vários setores apresentam características heterogêneas. Daí a necessidade de se realizar, no ambiente hospitalar, uma análise constante do consumo de energia para criar estratégias, objetivando economizar e/ou identificar anomalias de consumo de equipamentos médicos. Alguns exemplos serão apresentados a seguir.

(SHEN, 2019) analisou o consumo de energia de um hospital, localizado na China, em uma região que possui duas estações do ano, inverno e verão, bem características. A partir das informações coletadas, eles analisaram o perfil de consumo de energia e, assim, elaboraram uma sugestão para que o hospital conseguisse economizar. Semelhante a (HARA, 2013), os dispositivos também foram colocados em vários setores para se ter a informação de consumo de energia. Apesar do projeto de (SHEN, 2019) ter sido executado em uma escala maior, no hospital não foi realizado um monitoramento do consumo de cada equipamento, ou se esse último apresentava alguma anomalia, como (FILHO, 2017) fez em sua pesquisa. Os autores se concentraram no total do consumo de cada setor e também verificaram como esse setor foi influenciado pela estação do ano.

Os autores em (THINATE, 2017) realizaram a pesquisa em 45 hospitais tailandeses, empregando o Índice de Utilização de Energia (IUE), para comparar o consumo de energia e a constatação de eficiência. Com esse estudo, foi possível, por meio de cálculos, obter uma equação de previsão de como os hospitais irão se comportar ao longo do ano, para que possam servir de referência no planejamento de conservação de energia. Embora os autores tenham analisado vários hospitais e obtido informações que possam prever o comportamento do consumo, não fornecem aos gestores informações sobre a situação da demanda energética do hospital. Mesmo assim, através desse estudo, os gestores possuem parâmetros para nortear novos investimentos.

(CHRISTIANSE, 2016) fez um estudo para prever a carga dos equipamentos, de forma a planejar o fluxo de energia em edifícios hospitalares. A partir dos resultados, com mais de 20.000 horas de dados medidos em um hospital, foi possível identificar que existem dias inadequados para o funcionamento de setores críticos, como a Unidade de Terapia Intensiva (UTI). Assim, esse estudo é importante para que hospitais possam realizar ações corretivas em locais críticos, que podem estar sofrendo interferências pelo alto consumo de energia dos outros setores.

(DUMS, 2017), no ambiente hospitalar, focou na análise do comportamento de potência ativa nos equipamentos eletrocirúrgicos, graças aos sensores de tensão e corrente, para analisar a potência instantânea desenvolvida durante uma cirurgia. Dessa forma, é possível identificar se a potência está de acordo com os parâmetros do equipamento, caso contrário, poderá ser inseguro tanto para o paciente quanto para os profissionais que estão utilizando os equipamentos. Esse tipo de identificação faz com que o hospital tenha mais qualidade nos serviços prestados.

Em síntese, a análise de corrente e tensão em tempo real de equipamentos médicos viabiliza um maior controle no consumo de energia dos hospitais. A medição de corrente e tensão pode identificar equipamentos que possuem anomalias no consumo ou no seu funcionamento, ajudando a fazer a manutenção tanto preventiva quanto corretiva e, além disso, possibilitar a análise de carga.

De acordo com (NOURDINE, 2020), os aparelhos biomédicos sofrem degradação ao longo do tempo e essa degradação é refletida em seu desempenho energético, fazendo com que seja menos eficiente para manter sua atividade designada, aumentando, assim, o consumo de energia. Por causa disso, a manutenção preventiva ou preditiva é de grande importância para que os equipamentos tenham eficiência energética. A eficiência energética deve ser um indicador fundamental para a decisão da substituição por uma versão eficiente e, juntando ao *software* de gestão, faz com que seja mais uma ferramenta de apoio à decisão dos gestores.

Segundo a ISO 50001, a gestão de energia é uma estratégia para planejamento estratégico além do planejamento operacional usual. Para realizar a análise, deve-se mapear o consumo de energia do edifício, pois será necessário para que consiga identificar o consumo de energia significativa. Em geral, podemos utilizar três (03) parâmetros, de acordo com (NOURDINE, 2020), para selecionar onde há um consumo significativo:

1. O local que possui grande parte do consumo total de energia;
2. O local que mesmo que não possua muito consumo, mas que há um potencial significativo de economia;
3. O local em que a administração considere como uso significativo.

O mau funcionamento do dispositivo e o mau uso do usuário pode causar excessivo ou exagerado consumo e, para contornar, pode ser utilizada uma ferramenta de monitoramento que identificará rapidamente o desvio do consumo e irá alertar a gestão para realizar ações corretivas. Além disso, o monitoramento pode ajudar na análise das contas de energia e, assim, detectar possíveis erros do faturamento.

## 1.2. Justificativa

A partir das pesquisas apresentadas anteriormente, é possível notar que o monitoramento no consumo de energia é extremamente necessário para que se possa traçar estratégias na redução do consumo de acordo com o uso, além de planejar a manutenção preditiva, caso seja analisado diretamente em um equipamento, como mencionado por (NOURDINE, 2020), que, ao longo do tempo, o desempenho de um equipamento médico diminui devido aos desgastes dos componentes internos.

O consumo de energia nos hospitais tem sido uma área pouco estudada, mesmo sendo um local que funciona 24 horas e que possui um alto consumo de energia, pois existem setores que não param e utilizam equipamento de alta potência. Podemos citar o sistema de ar-condicionado, o setor da CME (Central de Materiais Esterilizados), que possui autoclaves, termodesinfectoras e secadoras de traqueias, o setor de imagens, que possui raios-X, tomógrafos, ressonância magnética entre outros equipamentos de outros setores, que necessitam de resfriamento durante o funcionamento por causa da alta dispersão de calor.

Esta pesquisa se justifica por haver poucos estudos na área de monitoramento de consumo de potência em unidades de saúde como hospitais. Por haver poucas pesquisas sobre o consumo de energia nos equipamentos médicos, é notada a importância da realização de pesquisas, para identificar o comportamento dos equipamentos médicos ao longo da sua utilização, pois são produtos de utilização extrema, possuem uma degradação mais rápida e, sem o monitoramento dos mesmos, pode fazer com que a incidência de manutenção corretiva seja maior.

## 1.3. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é criar um circuito capaz de retirar a informação do equipamento médico de forma não invasiva, para obter o seu consumo de energia. Para conseguir alcançar esse objetivo, traçamos os seguintes objetivos específicos:

1. Construir um circuito analógico que mede corrente alternada;
2. Realizar a programação do microcontrolador, para realizar a conversão de analógico para digital;
3. Realizar a programação serial, para que os dados coletados possam ser armazenados no computador;

4. Realizar a programação no computador, a fim de possibilitar o estudo com os dados coletados, para mostrar gráficos e valores lidos.

#### **1.4. Organização do trabalho**

Esse trabalho foi dividido em 5 capítulos, com objetivo de expor, de forma detalhada, como foi o processo de criação. O Capítulo 1 refere-se à parte da Introdução, em que contextualizamos o consumo de energia dos hospitais. Nesse capítulo, apresentamos não só algumas pesquisas sobre esse assunto, mas também a justificativa, os objetivos e a organização do projeto. No Capítulo 2, apresentamos o Estado da Arte desta área, por meio da análise obtida através dos principais mecanismos de pesquisa de artigos científicos. O resultado dessa análise é mostrado em Tabelas. Já no Capítulo 3, apresentamos, de forma detalhada, como foi produzido o circuito de aquisição dos sinais captados, desde a escolha do sensor, as etapas de aquisição, até a escolha do microcontrolador e do software do computador. No Capítulo 4, apresentamos os testes realizados como sistema pronto, mostramos os gráficos adquiridos, as comparações realizadas com o sinal obtido pelo osciloscópio, o cálculo da potência dos equipamentos mensurados e a análise dos resultados. Já no último capítulo, Capítulo 5, analisamos os resultados para identificar o que foi satisfatório e o que ainda precisa ser melhorado para o aperfeiçoamento do projeto.

## Capítulo 2 - Estado da Arte

### 1.5. Introdução

A partir dos diversos autores que utilizaram o monitoramento de consumo de energia em residências, através do sensoriamento de corrente, foi possível realizar a diminuição do consumo de energia em residência, como mencionado por (FILHO, 2014). Isso faz com que o usuário tenha mais consciência dos seus gastos, em contrapartida, (HARA,2013), ao aplicar em indústrias, fez com que houvesse a implementação de manutenções preventivas e preditivas.

Já em um ambiente hospitalar, por se tratar de um local com funcionamento contínuo, com um alto consumo de energia, torna-se interessante realizar uma análise mais aprofundada de como é o consumo de energia, para que a Engenharia Clínica possa intervir com manutenções preventivas e preditivas, semelhante ao que foi realizado por (HARA, 2013) em indústrias. A partir desses pontos, foi realizado o Estado da Arte para saber como estão sendo feitas as criações de dispositivos de mensuração de energia em unidades de saúde não só no Brasil, mas também no exterior.

### 1.6. Metodologia

Para realizar a análise do Estado da Arte do monitoramento do consumo de energia dos equipamentos, utilizou-se os seguintes mecanismos de busca: Scielo, CAPES, BTDT, Google Acadêmico, Google patentes, Science Direct, IEEE e Anual Review. Nesses mecanismos de busca foram pesquisados artigos, jornais, teses, revistas e revisões.

Os critérios para a inclusão dos documentos foram: mensurar o consumo de energia em uma instalação (preferência em ambientes hospitalares); análise do gasto energético; documentos a partir do ano 2000 e que correspondiam com as palavras-chave selecionadas. Convém esclarecer que descartamos pesquisas relacionadas à parte de programação ou técnicas de cálculos, pois o nosso foco é no dispositivo e em seus resultados.

As pesquisas foram feitas desde junho de 2020 até janeiro de 2021, utilizando 146 palavras-chave, tanto em inglês como em português, juntamente com lógicas booleanas para ajudar na procura nas bases de dados. As palavras-chave que conseguiram encontrar mais documentos foram: energy-management systems, energy consumption, medical equipment, remoto, monitoring, sensing, detecção.

Os documentos selecionados para a análise foram classificados em dois (02) grupos:

1. Sensoriamento de dispositivos: Esse grupo contém os documentos que fizeram a construção de um dispositivo, que consegue realizar leituras de energia de um equipamento ou de um circuito elétrico.
2. Consumo de energia: Esse grupo contém os documentos que fizeram a análise do gasto energético de dispositivos ou de circuitos, para serem aplicadas estratégias na economia de energia no estabelecimento.

Durante a busca dos documentos, a prioridade foi encontrar aplicações na área da Engenharia Clínica, sem descartar as pesquisas na área da Engenharia Elétrica, pois essas pesquisas poderiam servir de inspiração para a utilização em estabelecimentos assistenciais de saúde.

Após a divisão dos artigos em dois grupos, foi realizada uma análise individual para entender o Estado da Arte e, posteriormente, discutir como juntar os dois grupos, aproveitando as vantagens para desenvolver um projeto que fosse benéfico para a comunidade.

Para a busca de patentes, foram utilizados os seguintes mecanismos de busca: Google patentes; Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI); Escritório Europeu de Patentes (EPO); Escritório Japonês de Patentes (JPO); Escritório Norte-americano de Marcas e Patentes (USPTO); e ScienceDirect. Esses mecanismos de busca possibilitam pesquisar diretamente patentes do Brasil, Japão, Estados Unidos e Europa, enquanto o Google patentes e ScienceDirect não possuem limitações territoriais.

O interesse da pesquisa foi em algum tipo de dispositivo que não fosse invasivo para o equipamento, de pequeno porte e que tivesse o foco no monitoramento com a interação com o usuário. Essas pesquisas foram realizadas de novembro de 2020 a janeiro de 2021, com duração de 3 meses. Foram utilizadas 47 palavras-chave nas diversas pesquisas e, encontrando os resultados que mais se aproximavam das buscas, foi realizada uma leitura aprofundada para comprovação da utilidade dos dispositivos.

Após a separação das patentes úteis, foi realizada uma análise e, posteriormente, uma comparação com os projetos apresentados nos artigos selecionados do “sensoriamento de dispositivo”.

## **1.7. Resultados e discussões**

A Tabela 1, do Anexo A, apresenta o resumo dos resultados obtidos na busca de artigos, e a Tabela 2 mostra os resultados das buscas por patentes ao longo de 7 meses, começando em junho de 2020 e finalizando em janeiro de 2021.

Após a realização das buscas nas diversas plataformas de procura, os mecanismos de busca geraram, no total, 9439 resultados de documentos, sendo que 7351 relacionados a projetos e 2088 relacionados a patentes. Dentre esses resultados, foram lidos detalhadamente 55 artigos e 5 patentes, descartando os documentos que fugiam do tema principal da pesquisa. Feito esse descarte, restaram 21 artigos de interesse ao tema de monitoramento de consumo de energia, sendo 14 documentos referentes ao sensoriamento e 7 documentos relacionados ao consumo de energia, e 3 patentes.

Nessas duas tabelas (Tabela 1 e Tabela 2), apresentamos todos os mecanismos de busca que foram utilizados, as principais palavras-chave para obtenção dos resultados, que não foram descartados, a quantidade de palavras-chave nas buscas e o detalhamento da quantidade de artigos encontrados e lidos por mecanismos de busca. Isso possibilitou uma avaliação quantitativa de efetividade nas buscas, tendo o valor de 0,75% de artigos selecionados para ler. Dos 55 documentos encontrados, somente 21 documentos foram úteis para esta pesquisa, baixando a porcentagem para 0,28%, enquanto para as patentes foi de 0,14%.

#### 1.7.1. Consumo de energia

Dos documentos de consumo de energia, todos são artigos relacionados à área de Engenharia Clínica, tendo como foco analisar o comportamento do gasto energético dos setores dentro dos hospitais. Dos 7 artigos encontrados, 4 são da IEEE, 2 de conferências e 1 de revista.

A Tabela 3, do Anexo B, mostra alguns itens que foram buscados nos artigos de interesse para a pesquisa, sendo que, na segunda coluna da tabela, é apresentado qual tipo de sensor foi utilizado e as informações mais detalhadas, caso o autor tenha mencionado e, posteriormente, qual a precisão desse sensor.

Pelo fato desses documentos apresentarem uma análise dos resultados do consumo de energia, foi inserida a coluna “porcentagem do consumo de energia dos equipamentos no hospital”, para mostrar, em porcentagem, o quão representativo é o gasto de energia do parque tecnológico. Convém destacar que metade dos autores não apresentaram essas informações.

Nas colunas finais, é mencionada a localização do hospital e as informações sobre o dispositivo em si. Por exemplo, se é invasivo ao equipamento que será analisado e se possui

algum tipo de risco ao usuário. Nessa tabela, somente (CHRISTIANSE, 2016) apresentou na metodologia com qual sensoriamento foi utilizado para que fosse obtido os dados para análise, enquanto os outros autores não mencionaram. Na tabela, apresentava mais itens de interesse, como o custo de implementação, onde foi implementado, qual o processador foi utilizado para os cálculos e qual a economia que o estabelecimento de assistência de saúde obteve com a utilização do aparelho.

Apesar desses itens mencionados serem importantes para um melhor entendimento de como foram realizados o projeto e a importância de sua implementação, os autores não apresentaram em suas obras essas informações, isso fez com que as colunas das tabelas fossem retiradas.

Foi quantificado o consumo dos aparelhos médicos no total gasto pelo hospital, podendo variar 8% até 34% do total, enquanto o sistema de ar-condicionado é o responsável pelo alto consumo de energia, podendo chegar a 50% do consumo, como mencionado no artigo de (THINATE, 2017).

De acordo com (ALHURAYESS, 2012), na Arábia Saudita, o ar-condicionado e os equipamentos médicos possuem o maior consumo de energia elétrica por 3 razões:

1. Por causa do tipo do clima que, geralmente, é bastante quente e seco no verão, e úmido e frio no inverno.
2. A exigência em ter a melhor condição e conforto para o tratamento dos pacientes.
3. Profissionais da saúde dão baixa prioridade na eficiência energética.

Pelo fato de estar realizando a análise do consumo de energia, deve-se saber se o dispositivo utilizado é colocado nos equipamentos e se há algum risco para o usuário.

Nos artigos encontrados, os dispositivos foram implementados no distribuidor de energia, sem risco para o usuário, pois só é acessível para o profissional da área.

Os hospitais que foram utilizados para a análise do consumo estão localizados nos Estados Unidos, na Europa ou na Ásia. Não há pesquisas no Brasil nem na América Latina.

### 1.7.2. Sensoriamento de dispositivos

A Tabela 4, do Anexo C, apresenta 10 (dez) documentos relacionados ao sensoriamento de dispositivos, sendo que 9 (nove) sobre Engenharia Elétrica e 1 (um) sobre Engenharia Biomédica; 4 (quatro) trabalhos de conclusão de curso (TCC); 4 (quatro) artigos e 2 (duas)

dissertações de mestrado. Como os objetivos dos projetos eram relacionados à realização de um dispositivo para a medição de energia, as informações do dispositivo foram de fácil acesso.

Na Coluna 2, da Tabela 4, procuramos nos artigos o tipo de sensor que era utilizado para realizar as medições nos equipamentos. Grande parte dos autores optaram em colocar o sensor de corrente e de tensão, para que, a partir deles, pudessem encontrar o resultado de potência. Os autores (HARA, 2013) e (SAWYER, 2009) só utilizaram sensores de corrente, pois normalmente a tensão é um valor conhecido, fazendo com que não necessite a mensuração, isso possibilita com que o projeto seja barateado por não ter a despesa do sensor além de possibilitar a diminuição do dispositivo em si. Já os autores (FILHO, 2014) e (SAWYER, 2009) optaram em ter um wattímetro embutido para o cálculo da energia consumida ao longo do tempo.

A Coluna 3 apresenta o modelo dos sensores utilizados na construção, sendo mais utilizado o sensor SCT-013, para mensurar a corrente de uma forma não invasiva, além de conseguir medir correntes de até 100A e de fácil utilização, enquanto a maioria dos projetos utilizaram sensor de tensão de própria autoria, tendo assim variações de modelos. Os autores (REYNDERS, 2011) e (LI, 2020) decidiram utilizar dispositivos de sensoriamento já fabricados comercialmente.

A parte de "informações dos sensores em relação a erro" mostra o erro dos sensores, ao realizar uma medição de corrente ou tensão, dos projetos encontrados. (GOMES, 2016) obteve sensores com menor taxa de erro, sendo 0,16% na corrente e 0,19% de tensão, pelo fato da potência ser calculada a partir dessas duas variáveis, o que faz com que os sensores necessitem ter o menor erro possível para que não atrapalhe nos cálculos. A maioria dos autores utilizaram o sensor SCT-013, que possui o maior erro de medição dos componentes, chegando a até 3%, apesar de que (GOMES, 2016) em seus testes, conseguiu ter um erro médio de 95% menor do que o esperado. Essa diminuição do erro esperado para o sensor de corrente pode ter sido graças à forma que o autor organizou os circuitos, filtros, conversor ADC e blindagem contra ruídos.

Na coluna seguinte, é mostrado o erro da potência que possui ligação direta com os sensores da coluna anterior. A maior porcentagem de erro para a mensuração foi de (FONTES, 2013), obtendo erro de até 10%. Entretanto, por estar em fase de prototipagem, é aceitável ter esse valor.

Durante a leitura, observou-se que os autores analisaram a economia gerada com a utilização do dispositivo durante os testes. Entretanto, somente (SAWYER, 2009) fez a comparação da economia no consumo ao colocar em um ar-condicionado, obtendo valores relevantes de até 20% economizados quando monitorado a atividade, pois conseguia identificar

nas análises de corrente, que o filtro de ar do aparelho estava sujo ou não, para que pudesse realizar a manutenção preditiva. De acordo com (JUNG, 1987), se o filtro do ar-condicionado estiver sujo, pode ocasionar um aumento no consumo de energia de 10 a 20%, além de diminuir a vida útil do compressor. O demonstrativo da economia realizada com a implementação do dispositivo é de grande relevância para os estudos, pois tem a finalidade de demonstrar que é importante a utilização para se ter um maior gerenciamento de energia no local.

A coluna de “processamento” refere-se ao circuito integrado que foi utilizado no projeto para realizar o recebimento das informações, cálculos matemáticos, e o envio das informações para o usuário. O processador mais utilizado foi o Arduino Uno por ser um dispositivo bastante conhecido, de fácil programação, e por ser ideal para prototipagem. Apesar disso, esse processador não possui um poder de processamento comparado com ESP82 ou Arduino MEGA encontrado em outros projetos, pois os mesmos possuem um clock e resolução dos bits iguais ou superiores, o que faz com que aumente o erro na medição de potência.

Nas colunas “Implementação” e “Local”, analisa-se onde foi colocado o dispositivo que gerencia o equipamento, que pode ser em uma residência, indústria ou hospital, e onde esse dispositivo foi colocado dentro dessa instalação. A maioria dos autores fizeram a implementação em residências e a instalação em uma única tomada. Os autores (HARA, 2013), (SARIKPRUECK, 2017) e (PEREA, 2013) colocaram seus dispositivos em ambientes não residenciais, sendo, respectivamente, usina, hospital e universidade.

A coluna de “preço” diz respeito ao custo para a produção do dispositivo, seja o protótipo ou o produto final. Muitos autores não mencionaram o preço dos dispositivos nos artigos, mas os que estavam construindo o protótipo revelaram mais informações sobre o dispositivo, como preço de cada peça e o custo final para a montagem. Os preços foram de R\$96,34, no projeto de (SILVA, 2016), e de R\$617,00, no projeto de (FONTES, 2013), em modelos não comerciais/protótipos.

Nas últimas colunas, são apresentadas informações cruciais sobre o equipamento. Por exemplo, se ele é invasivo ao equipamento que está sendo monitorado, pois não é permitido realizar alterações em equipamentos sem a ANVISA aprovar e verificar se existe algum tipo de risco com relação à saúde do usuário que está manipulando-o.

No projeto de (SARIKPRUECK, 2017), marcado em asterisco, foi implementado o dispositivo, para que analisasse o consumo de energia em um hospital na Tailândia, obtendo o perfil de carga elétrica e, assim, identificar uso anormal de energia. Isso fez com que houvesse mais segurança, confiabilidade e eficiência energética no hospital estudado.

Os outros projetos têm como objetivo analisar o consumo de energia em residências ou indústrias, para que o usuário possa ter mais consciência dos seus gastos. Muitos desses projetos possuem riscos ao usuário pelo fato de serem protótipos e de não terem uma carcaça para proteger o contato do usuário com o circuito.

Em seus projetos, (DINIZ, 2017), (SENA, 2018) e (SAWYER, 2009) fizeram uma interface em *smartphones*, para que os usuários pudessem consultar as informações via *Wi-fi*, facilitando, assim, a interpretação do consumo graças aos gráficos, tabelas e figuras interativas.

A pesquisa de (REYNDERS,2011) foi a única que utilizou um dispositivo disponível no mercado (PlugWise), que possui a finalidade de sensoriamento de potência, com a opção de ligar e desligar o aparelho conectado nele, tendo um erro de 5%. Esse dispositivo possui uma margem de erro muito elevada em relação ao custo, se for comparado com os outros dispositivos encontrados no mercado.

O dispositivo com maior precisão, para a leitura de corrente e tensão, é o da pesquisa de (LIN, 2020), que possui 24 bits de resolução e o erro de, no máximo, 0,05%. Esse aparelho foi comprado e é de uso profissional. Apesar da fidelidade dos valores, é um dispositivo que não possui a finalidade de estar conectado continuamente na tomada. Além dele ter outras funções (medições em alta tensão), possui uma carcaça relativamente grande, com um custo muito elevado.

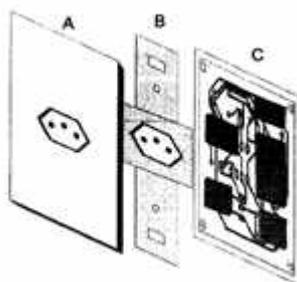
Esse monitoramento, se utilizado em hospitais, atacará a principal causa do consumo de energia. Por exemplo, na análise de (SHEN, 2019) foi identificado que a refrigeração consome 31% do total, e caso, hipoteticamente, houvesse o acompanhamento do consumo dos ar-condicionados e tivesse uma redução de 10%, como mencionado anteriormente, ocorreria a economia de 14.172kWh de consumo elétrico no hospital.

### 1.7.3. Patentes

A partir das buscas realizadas, como mostrado na Tabela 2, do Anexo A, foram encontrados 2088 resultados, de acordo com as palavras-chave, e separados, para uma leitura mais aprofundada, 5 (cinco) deles, mas somente 3 (três) patentes foram de interesse para o tema desta pesquisa. Dessas patentes encontradas no INPI e no Google patentes, todas eram brasileiras. É possível notar que, na realidade, somente 0,14% da busca foi utilizada nessa análise.

Na patente de (FORTUNA, 2015), o dispositivo apresentado (Figura 1) consiste em uma tomada com um circuito dentro, para realizar as medidas de potência, com a comunicação via *internet*, para o usuário acessá-la e ter as informações sobre consumo energético. Através desse dispositivo, consegue-se definir qual equipamento pode estar ligado nele de acordo com o padrão de consumo e o horário que pode ser ligado, para evitar sobrecarga no sistema.

**Figura 1 - Desenho da implementação da tomada inteligente. A) carcaça B) plug C) circuito.**



Fonte: Fortuna (2015)

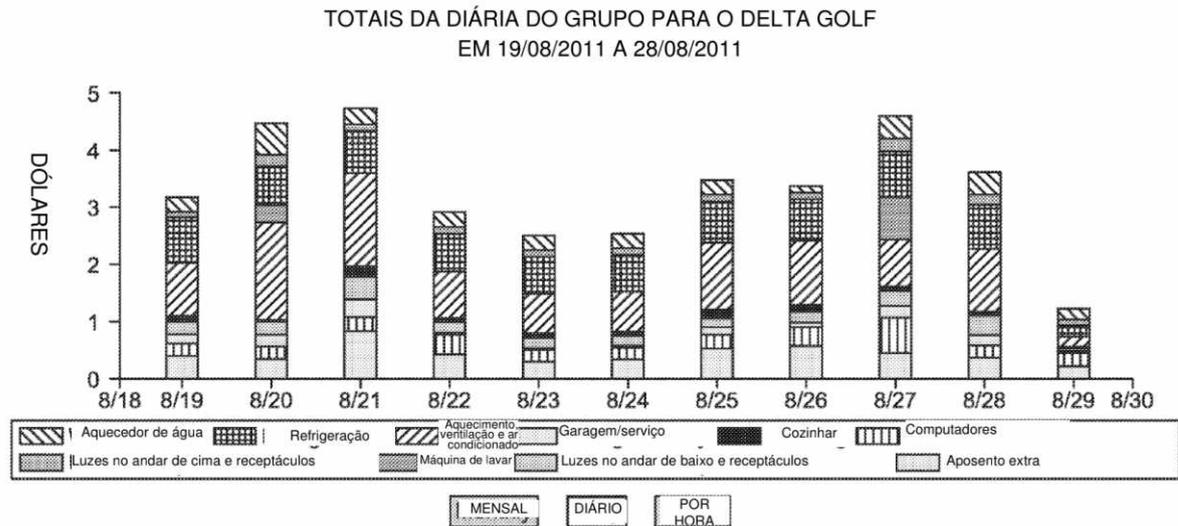
De acordo com (FORTUNA, 2015), os equipamentos em *standy-by* produzem uma falsa sensação de que não estão gastando energia, mas, na verdade, podem gerar um gasto em torno de 5 a 10% da energia consumida no total. Esse gasto se deve ao fato de que o equipamento fica ligado consumindo o mínimo de energia, para que esteja preparado para receber comando do usuário e, assim, desempenhar a sua função.

Na patente de (MARCONDES, 2019), o dispositivo estaria dentro de um gabinete fixado no equipamento, isso faz com que o dispositivo criado seja próprio para aquele equipamento, assim pode realizar análises do consumo de energia, reconhecer interrupções de energia, além de conseguir saber se o equipamento mudou de lugar. Esse dispositivo se difere do anterior pelo fato do dispositivo estar com o equipamento enquanto o outro está dentro da tomada.

Na patente de (POLLARD, 2017), o dispositivo é um adaptador que monitora a energia consumida e transmite a informação via Zigbee, para exibir o consumo de energia. É possível programar para que vários equipamentos fiquem em um ‘circuito’ de análise, assim o usuário pode analisar grupos de equipamento, sendo atualizado a cada dia, semana, mês, semestre ou ano.

A Figura 2 mostra como seria a visualização de vários circuitos e a análise do consumo por dia.

**Figura 2 - Gráfico de consumo de energia ao longo do tempo, sendo que no eixo X são os dias e eixo Y é o gasto em dólares contendo o que cada equipamento gastou.**



Fonte: Pollard, 2017.

## 1.8. Conclusão

A partir dos resultados encontrados nas diversas pesquisas relacionadas ao sensoriamento da Tabela 4, do Anexo C, percebe-se que as pesquisas relacionadas nessas áreas estão ainda na prototipagem, com testes em pequena escala, sendo a maioria em residências com foco em um único circuito. Apesar disso, no projeto de (HARA, 2013) já começou a realizar a implementação nas indústrias e auxiliou no gerenciamento do consumo e nas manutenções preventivas e preditivas dos equipamentos.

Além disso, os projetos não apresentam a economia gerada com a implementação do dispositivo, para que se comprove a vantagem de utilizá-lo. Dos custos relacionados ao dispositivo, pode-se verificar que a implementação, se for considerada pelo dispositivo mais barato dos projetos, ficaria a partir de R\$100,00 a unidade, e por conta de envolver equipamentos médicos que são extremamente caros, a vantagem com o dispositivo faz com que seja barato a implementação.

Apesar de muitos serem protótipos, a utilização do Arduino é recomendada somente para uma fase de teste inicial pela limitação de processamento, fazendo com que necessite de um melhoramento nos projetos enquanto processamento.

Nos artigos de consumo de energia da Tabela 3, do Anexo B, os autores não informaram qual ferramenta utilizaram para obter as informações de energia do hospital analisado, o que gerou uma obscuridade na metodologia. Apesar disso, as pesquisas mostraram que os equipamentos médicos e o sistema de resfriamento podem chegar a 50% do consumo de energia de um hospital.

Nas 3 patentes analisadas, verificou-se que a aplicação delas é somente em residências com a preocupação principal em saber se o aparelho está conectado na tomada e mostrar para o usuário o consumo de energia, sem ter a preocupação com manutenções. Esses dispositivos são utilizados para que o usuário se conscientize dos seus gastos. As ideias dos dispositivos em artigos e patentes são bastante parecidas, apesar de que, nas patentes, não foi possível verificar os resultados na prática.

Das patentes apresentadas, somente a de (FORTUNA, 2015) possui uma concepção que é diferente de todas as outras de monitorar um único aparelho, pois ao invés de colocar o dispositivo entre a tomada e o cabo de energia, ele foi colocado dentro da tomada. Alguns artigos mencionam que não colocaram esse dispositivo no equipamento, mas em quadros de energia, que não possuem a capacidade de mensurar um único aparelho, mas sim, um circuito inteiro.

Observando-se que existem muitos trabalhos sobre sensoriamento, que não são voltados para a parte médica, enquanto os trabalhos que analisam o consumo de energia possuem uma obscuridade de detalhamento com relação ao gasto dos equipamentos e nos setores, que surgiu o questionamento para a realização de um projeto que conseguisse juntar as vantagens de sensoriar o consumo de energia em áreas do hospital, para que se possa ter mais clareza do consumo de energia.

De acordo com (ANTUNES, 2007), é possível, por meio de análise de corrente, detectar anomalias em motores trifásicos graças às alterações na transformada de *Fourier*, podendo agir o quanto antes, para a realização da manutenção preditiva. Com base nesse tipo de análise, que detecta falhas em equipamento, pode-se realizar um estudo para detectar falhas em equipamentos biomédicos, com o objetivo não só de diminuir a manutenção corretiva, mas também de obter um maior monitoramento desses equipamentos. De acordo com (NEPOMUCENO, 1989), a manutenção preditiva consegue gerar uma redução de 15 a 20% dos custos de peças, material e mão de obra em relação à manutenção corretiva.

Segundo (PROCEL, 2011), existem dois grupos tarifários. Os hospitais são considerados Grupo A, por utilizarem média tensão (acima de 2.300 volts) em suas instalações; dentro dessa classificação existem 5 subgrupos de acordo com a tensão utilizada (A1, A2, A3,

A4 e AS). No Grupo A, os estabelecimentos estão sujeitos a 3 (três) tipos de modalidades: estrutura tarifaria convencional, horo-sazonal verde e horo-sazonal azul. Em cada uma delas, a tarifa é cobrada de forma distinta.

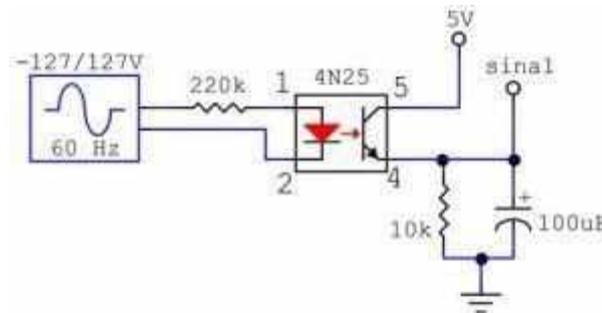
## 2. CAPÍTULO 3 - CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Para monitorar a potência de um equipamento, é necessário que haja um circuito de aquisição das variáveis de tensão e de corrente, para que, a partir dos valores obtidos, os cálculos de potência possam ser realizados. Além disso, é necessário ter um microcontrolador, para adquirir a informação e enviar para o computador realizar o processamento de sinal. Sabendo das informações a serem analisadas, é necessário ter os sensores para realizar a transdução de uma grandeza para a outra.

### 2.1. Sensor de tensão

Para aferir a tensão do circuito analisado, pesquisamos técnicas de baixo custo para que pudéssemos obter o resultado. Os modelos mais encontrados na *internet* utilizam divisor de tensão, para rebaixar a tensão da rede que será analisada, além de passar por um fotoacoplador para mandar o sinal para o microcontrolador. A Figura 3 mostra o circuito de aquisição.

**Figura 3 - Desenho esquemático do circuito de aquisição de tensão da rede elétrica.**



Fonte: Página do *site* “lab de garagem”. Disponível em:

<https://labdegaragem.com/forum/topics/ajuda-circuito-para-detec-o-de-tens-o-com-o-ic-4n25> .

Acesso em: 8 fev. 2023

Como mostrado na Figura 3, esse tipo de circuito não é possível de ser implementado ao projeto por conta da insegurança que ele gera no restante do circuito e pelo sinal de saída que proporciona. Colocar uma tensão alta (220V) na entrada e realizar o controle de corrente, através de resistores de baixa potência, pode fazer com o circuito pegue fogo, caso uma das resistências falhe. Além disso, o fotoacoplador utilizado possui a tecnologia de fototransistor que, de acordo com a intensidade que a luz transmite, o transistor de saída envia uma corrente equivalente, mas esse valor não é proporcional à intensidade luminosa, tendo curvas no gráfico

de iluminância por corrente, fazendo com que o sinal que está sendo recebido seja distorcido (no caso, a senoide de 60Hz da rede elétrica). A aplicação desse projeto visa apenas identificar se a tensão de entrada é 220, 110 ou 0V, para que o usuário possa verificar se o circuito está ligado ou não. O resistor em paralelo com o capacitor na saída do circuito mostra que é utilizado um filtro passa baixa, para que se possa detectar os picos de tensão e retirar altas frequências, tendo, assim, um sinal com valor constante.

Outra técnica analisada, para realizar a medição de tensão, foi a utilização de um transformador de baixa potência, para converter a tensão de 220V para tensão por volta de 6V, mas, por se tratar de transformador, poderia fazer com que o sinal produzido por ele pudesse dar interferências no microcontrolador e até danificá-lo. Em razão da grande dificuldade de encontrar um meio de realizar a aquisição desse sinal, e por não ser uma variável tão crítica para este projeto, optou-se por não utilizá-lo, pois o sinal da rede é uma variável que será conhecida, além de ser comum a utilização da tensão de 220V, para alimentação do equipamento.

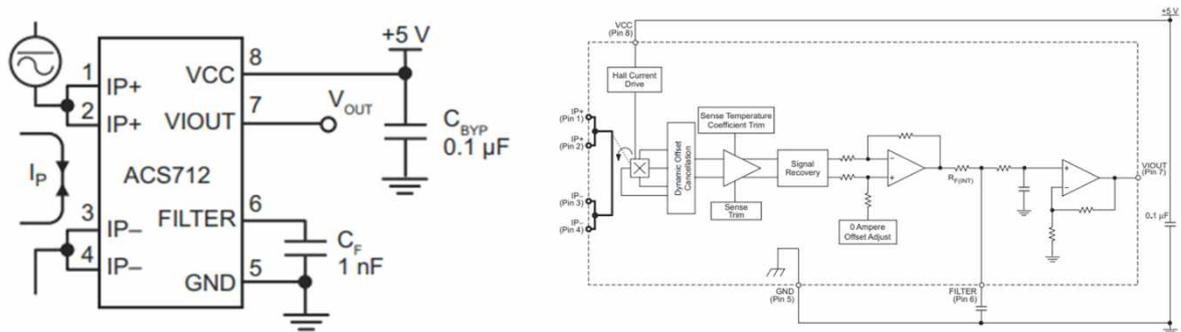
## **2.2. Sensor de corrente**

Uma vez que os equipamentos médicos são colocados em tomadas que suportam 10A de corrente, optamos por um monitoramento de equipamentos que liga diretamente na tomada convencional. Convém esclarecer que os equipamentos de imagens e de centros de materiais esterilizados foram descartados por serem de alta potência e por alguns possuírem tensões trifásicas. Para a escolha do sensor de corrente, definimos as seguintes características: sensor deveria ser de até 10A, ser de baixo custo, ter um formato menor e ser compatível com o microcontrolador de baixo custo.

Os sensores de corrente possuem 2 tipos de modelos: os sensores invasivos para o circuito de análise, que consiste em colocá-lo em série com o circuito que será medido, tendo uma impedância mínima para que não tenha queda de tensão, provocando alterações na análise; e os sensores não-invasivos, que, através do enrolamento em torno do fio, que pretende analisar a corrente, capta o campo magnético provocado pela corrente alternada e, por consequência, gera internamente uma corrente proporcional. Nos dois casos, o sensor vai captar a corrente diretamente, mas pelo fato dos microcontroladores trabalharem com tensão, há a necessidade de que essa corrente captada tenha uma queda de tensão e, a partir dessa queda de tensão proposital, o microcontrolador consiga ler o sinal corretamente.

Caso fosse escolhido o sensor invasivo para a medição, o paciente poderia ser colocado em risco, pois se o sensor sofresse algum tipo de avaria, como a queima do componente, fazendo com que deixasse de conduzir corrente por ele, o equipamento, por consequência, iria parar de ser alimentado pela rede elétrica e, dependendo do equipamento médico, poderia levar o paciente a óbito. Um dos sensores que foi estudado para a utilização, por causa do alcance de leitura e do tamanho reduzido, foi o sensor ACS712; um CI SMD (Circuito Integrado de Dispositivo de Montagem Superficial) que possui a capacidade de suportar 30A de corrente, tendo uma tensão de alimentação de 5V, e o sinal analógico na saída. A Figura 4, a seguir, mostra a aplicação típica e o diagrama funcional de bloco.

**Figura 4 - Imagem da esquerda são as ligações elétricas do sensor ACS712 para o funcionamento adequado. Imagem da direita é um diagrama do funcionamento interno do circuito integrado.**

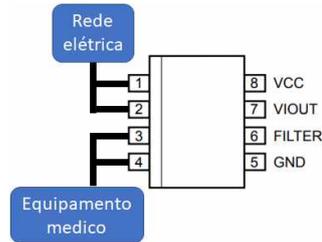


Fonte: Página do *site* “spark fun”. Disponível em:

<<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2023

Pelo diagrama funcional, percebe-se que é utilizado o efeito hall, para captar o sinal da corrente, além de, ao longo do CI, o sinal passar por ajuste do sinal comparando com a referência, filtro passa baixa, além de dar um ganho no sinal com amplificador operacional. Apesar dessas qualidades, a Figura 4 mostra como é feita a conexão na parte da rede elétrica, que seria medida. Para tanto, seria necessário que “cortasse” o fio para colocar o CI em série entre a rede elétrica e o equipamento medido. O Pino 1 e 2 é responsável por receber o sinal de entrada, no caso a rede elétrica, enquanto no Pino 3 e 4 seria ligado ao equipamento médico. O dispositivo possui 2 pinos com a mesma função, provavelmente, para que a corrente possa disseminar por uma área maior para que diminua a resistência elétrica de contato. A Figura 5 mostra como seria essa ligação mencionada anteriormente.

**Figura 5 - Ligação elétrica da entrada do sensor para mensurar a corrente a ser analisada. A entrada é conectada em 2 pinos tanto na entrada do circuito integrado quanto na saída da corrente.**



Por causa dessa insegurança, optamos por utilizar um sensor não-invasivo que não afete o funcionamento do equipamento médico. Após verificar no mercado os modelos que existem, escolhemos o sensor SCT-013-010, não só por ser de baixo custo, ter um erro de precisão de 1%, ser um sensor linear, tendo uma relação de 10A:1V, mas também por possuir uma resistência interna que proporciona uma queda de tensão necessária para o microcontrolador ler. A Figura 6 mostra o sensor utilizado, que se comporta como se fosse um alicate amperímetro, podendo ser aberto para colocar o fio que se deseja medir. Se a corrente for muito pequena, e se desejar aumentar o sinal de saída do sensor, será preciso apenas passar o fio quantas vezes quiser, para que o sinal fique multiplicado pela quantidade de vezes que o fio passou pelo sensor, melhorando, assim, a qualidade do sinal analisado.

**Figura 6 - Sensor SCT-013 fechado e aberto. O furo que ele possui é para passar o fio.**

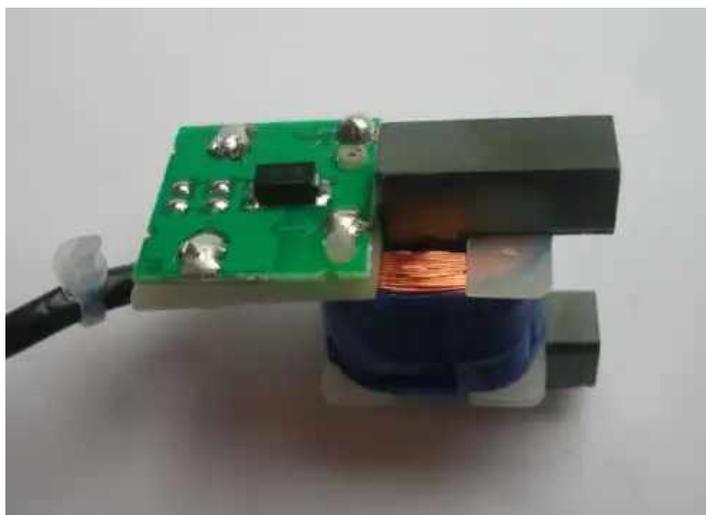


Fonte: Retirado do datasheet do sensor. Disponível em: <<https://bc-robotics.com/datasheets/yhdc.pdf>> Acesso em: 8 fev. 2023

O sensor SCT-013 consiste em um resistor em paralelo com uma bobina de fio de cobre que terá dois terminais que estão enrolados em um ferrite, como mostrado na Figura 7. Quando se coloca um fio dentro da parte de alicate do sensor, esse fio, ao passar corrente, faz com que haja um campo magnético em volta dele, isso faz com que o campo magnético passe pelo ferrite

sem que haja grandes perdas do campo e entre pela bobina, promovendo o aparecimento de uma corrente proporcional, nos terminais do fio, às quantidades de voltas que foram colocadas na bobina.

**Figura 7 - Sensor SCT-013 sem a carcaça azul, tendo a vista como ele é por dentro.**



**Fonte:** Página do site “Vida de silício”. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>> Acesso em: 8 fev. 2023

Essa placa de circuito impresso, apresentada na Figura 7, possui duas variações: a primeira com uma resistência, que realiza a queda de tensão, para que possa ser lida; a segunda consiste em um diodo TVS (Supressor de Tensão de Transiente), para proteger o circuito posterior de tensões altas causadas por ruídos ou transientes.

O fenômeno, que ocorre nesse sensor, é explicado pela física. De acordo com (HALLIDAY,2012), o campo magnético, quando passa por um fio de cobre, faz com que os elétrons no interior realizem a movimentação em uma determinada direção, sendo chamado de corrente. A partir dessa ação, podemos entender que a corrente (movimentação de elétrons) gerará um campo magnético e o inverso será válido também, mas isso só ocorre quando existe corrente alternada (AC), o que não vale para a corrente contínua (DC).

### 2.3. Circuito de aquisição

Possuindo o sensor de corrente e sabendo a relação de transformação de corrente para tensão, além de saber o sinal da rede, que vai ser lida, é necessário realizar um circuito, para que elimine os ruídos decorrentes de artefatos ou fora da banda de passagem do sinal. O circuito de aquisição foi construído de acordo com um modelo base, como mostrado na Figura 8. Será falado sobre cada bloco de forma detalhada. Veja a seguir:

**Figura 8 - Diagrama de blocos dos processos para o processamento do sinal analógico**



**Entrada:** Consiste no sinal que será tratado a partir do que foi obtido na saída de um sensor, para que possa ser lido corretamente por um dispositivo digital (microcontrolador/computador), pois dependendo da amplitude do sinal analógico e da quantidade de ruído contido, não é possível fazer a leitura correta da informação.

**Acondicionamento:** É comum a utilização nas entradas de circuito, para ter uma impedância extremamente alta, pois protege o sinal adquirido de ser atenuado, além de não deixar ter uma corrente de fuga para o circuito, prejudicando, assim, o sinal.

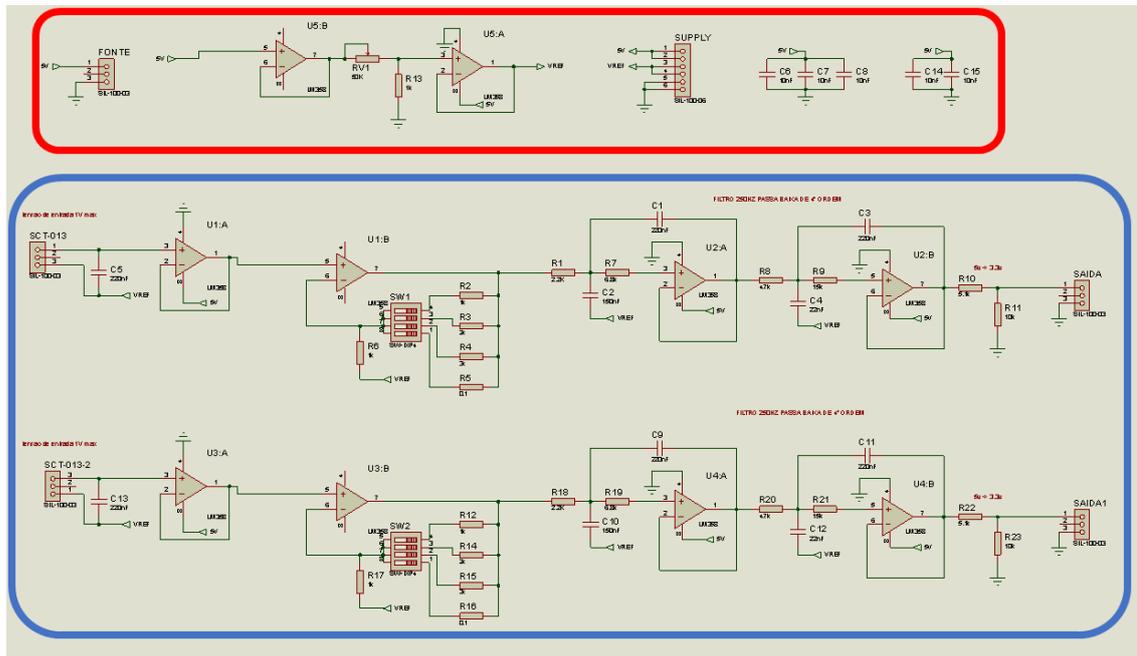
**Ganho:** Necessário para que o sinal, que entrará no circuito, tenha um ganho de amplitude, para se adequar ao conversor analógico/ digital na saída do circuito, pois quanto maior o sinal, mais *bits* do conversor poderá representá-lo. É necessário saber qual a faixa de leitura do conversor, para que o sinal tenha a amplitude máxima dele dentro dos limites para que não seja ultrapassado, fazendo com que corte o sinal ou não tenha amplitude adequada ao conversor, ocasionando em uma baixa resolução.

**Filtro:** É fundamental para que se tenha um sinal apropriado para leitura, pois delimita a frequência de banda que será analisada e funciona como filtro anti-aliasing por retirar frequências altas. Essas frequências poderiam fazer com que o conversor A/D realizasse a leitura errada por falta de amostragem suficiente para interpretá-la.

**Ajuste de sinal:** É utilizado para readequar o sinal, que estava sendo tratado, para uma amplitude apropriada para o sistema que receberá no próximo estágio. Por ser um sistema passivo, ou seja, que não depende de amplificadores operacionais, não tem perigo de o sinal ser prejudicado por saturação.

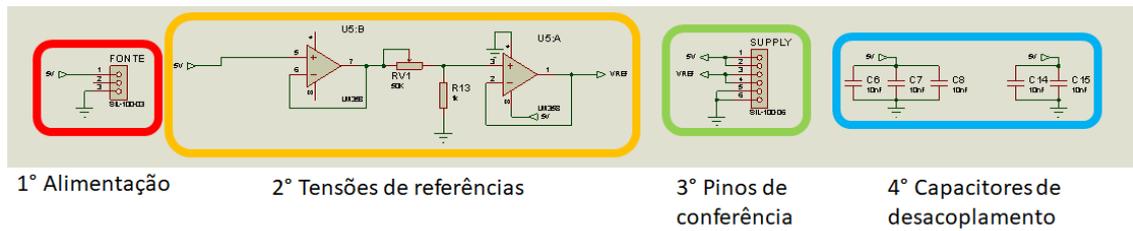
A partir de cada bloco, com suas particularidades, construiu-se o circuito como mostrado na Figura 9:

**Figura 9 - Esquemático do circuito de aquisição. A região vermelha é a parte de alimentação e a região azul é o circuito de aquisição.**



O circuito é dividido em dois grupos: o quadrado vermelho corresponde à parte de alimentação e tensão de referência, para que o circuito principal possa funcionar corretamente; o quadrado azul refere-se ao circuito de aquisição de sinal. Na ideia inicial deste projeto, haveria dois circuitos de aquisição de sinal, para que pudessem captar tanto a corrente de entrada do equipamento quanto a corrente de fuga que vai para o terra. Entretanto, não foi utilizado o circuito para análise de corrente no terra. A Figura 10 mostra as funções de cada parte do circuito de alimentação:

**Figura 10 - Análise de cada bloco do circuito de alimentação.**

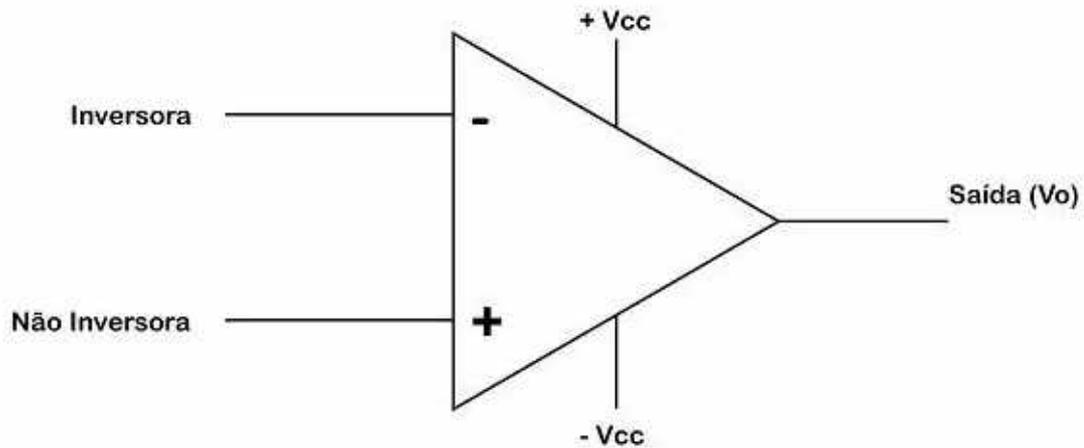


O primeiro quadrado da Figura 10 consiste na entrada de alimentação do circuito a partir de uma fonte de tensão externa, podendo ser de uma fonte ou de uma bateria, desde que a saída da fonte de energia seja regulada em 5V, pois os amplificadores operacionais necessitam desse valor. O sensor de corrente não precisa ser alimentado.

O segundo quadrado da Figura 10 consiste em pegar a tensão de entrada, passar pelo amplificador operacional da configuração *Buffer*, que, por conta da impedância alta de entrada e da impedância baixa na saída, faz com que o sinal se mantenha além de possuir a finalidade de isolador de estágio, casador de impedância e reforçador de corrente, como mencionado por (PERTENCE,2007). Isso fará com que o sinal não tenha fuga de corrente e o sinal produzido sirva como referência para o circuito de aquisição, assim ele não produzirá potência e não servirá para realizar alimentação de componentes ativos. Logo após, há um divisor de tensão composto pelo potenciômetro (RV1) e pelo resistor (R13), para que a tensão, que até agora era de 5V, possa variar entre aproximadamente 0V a 5V, passando novamente por uma configuração *Buffer*. Esse sinal, que pode ser variado, será conectado à referência do circuito principal. Caso quisesse alimentar um componente com uma tensão variável como essa produzida, teria que utilizar um CI regulador de tensão depois da fonte de alimentação, pois esse componente consegue entregar potência para carga.

Para se ter a configuração *Buffer* mencionada, é necessário que haja um amplificador operacional, que é simbolizado no desenho com um triângulo, tendo entrada “+” (não-inversora), entrada “-” (inversora), uma saída e 2 pinos de alimentação, como mostrado na Figura 11.

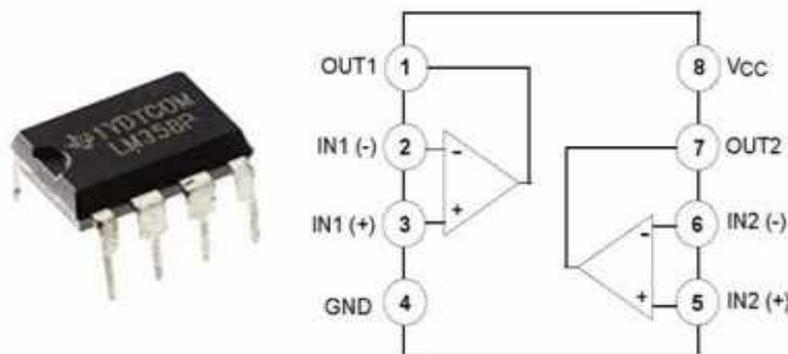
**Figura 11 - Simbologia do amplificador operacional**



Fonte: Página do *site* “Mundo da elétrica”. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-amplificadores-operacionais/>>. Acesso em: 8 fev. 2023

Para a escolha do circuito integrado, deve ser levado em consideração os seguintes itens: baixo custo, alimentação de até 5V, rejeição de modo comum de, pelo menos 70dB, e ser fácil de ser encontrado no mercado. Tendo essas características definidas, foi selecionado o LM358, para a utilização no circuito, com 2 (dois) amplificadores operacionais no encapsulamento, fazendo com que o tamanho da placa do circuito seja diminuído. Além de ser um componente de fácil acesso, a Figura 12 mostra como é o componente e qual a função de cada pino. Pode-se verificar, na Figura 2, que existe dois amplificadores em um único encapsulamento.

**Figura 12 - Circuito integrado LM358 e sua respectiva pinagem**

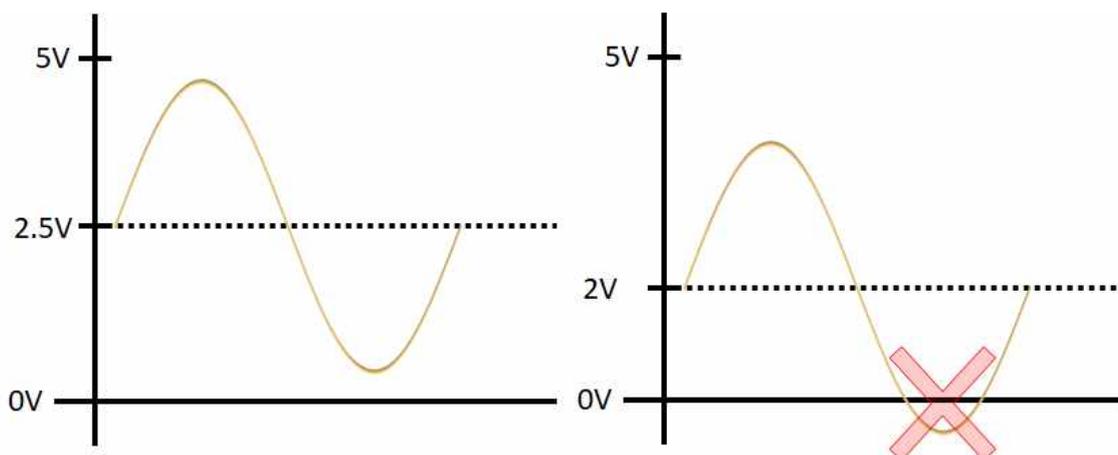


Fonte: Página do *site* “Electronic clinic”. Disponível em: <<https://www.electronicclinic.com/lm358-ic-pin-configuration-working-lm358-circuit-examples/>>. Acesso em: 8 fev. 2023

Essa configuração mencionada possibilita que se crie um nível DC no sinal principal, podendo deslocar o sinal para que se tenha um melhor aproveitamento. Nesse caso, foi colocado o sinal para variar na tensão 2.5V, assim esse sinal consegue variar a mesma amplitude tanto

para a parte negativa como para a parte positiva. É necessário que haja esse deslocamento do sinal, pois o microcontrolador não pode receber tensões negativas na sua entrada. Para melhor entendimento, na Figura 13 é mostrado os 2 (dois) casos mencionados anteriormente. Para que não ocorra a queima do microcontrolador, os amplificadores operacionais são uma ótima forma de limitar a tensão de saída, visto que eles só conseguem produzir sinais dentro da faixa de alimentação, assim, caso o sinal ultrapasse esses valores, ocorrerá a saturação, pois o amplificador não consegue entregar uma tensão fora do valor da sua alimentação. Por esse sinal ser utilizado, como referência do circuito principal e não como uma forma de alimentação, não há problemas em danificar os componentes.

**Figura 13 - Gráfico de tensão (eixo Y) e tempo (eixo X) demonstrado como que o sinal poderia se comportar e sua faixa de atuação. A imagem da direita mostra que, dependendo do nível, o DC fará com que alcance tensões negativas.**



O terceiro quadrado, da Figura 10, são 2 (dois) pinos para cada tensão: a tensão de 5V, referência (0V); e a tensão de referência do circuito ( $V_{ref}$ ), para que fique mais fácil de medir se o circuito está sendo alimentado de forma correta, através do multímetro, e para realizar o ajuste do  $V_{ref}$  mais facilmente. Também pode-se utilizar os pinos, menos  $V_{ref}$ , para alimentar algum circuito externo.

O quarto quadrado da Figura 10 são capacitores que ficam conectados ao lado do pino de alimentação dos amplificadores operacionais, responsáveis por desacoplamento, que consiste em eliminar os transientes/ ruídos que a fonte de alimentação pode gerar durante o funcionamento, e até a falta de alimentação em um curto período de tempo, para que o amplificador não tenha o seu funcionamento comprometido e, assim, não atrapalhe o sinal que está sendo analisado, sendo aconselhado a implementação dele pelo próprio fabricante. Cada capacitor é para cada um dos amplificadores operacionais. Os fabricantes orientam colocá-los

o mais próximo possível na placa de circuito impresso, para que se tenha um melhor aproveitamento, como mostrado na Figura 14:

**Figura 14 - Região em azul mostra o capacitor de desacoplamento ligado perto do pino de alimentação do amplificador operacional.**

Layout Example

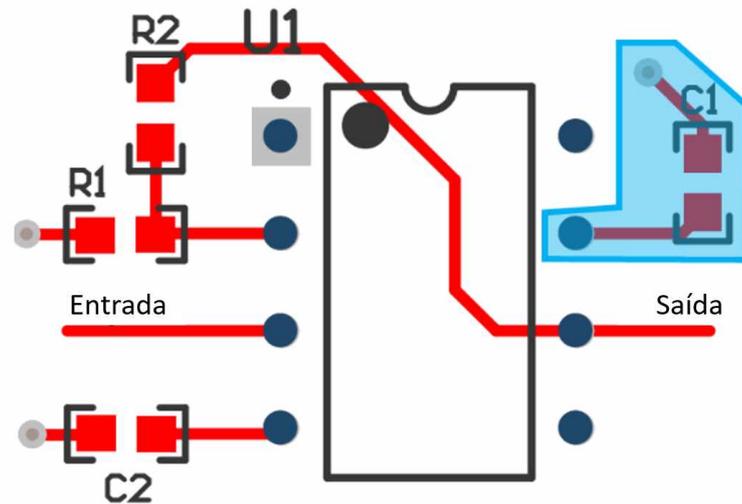
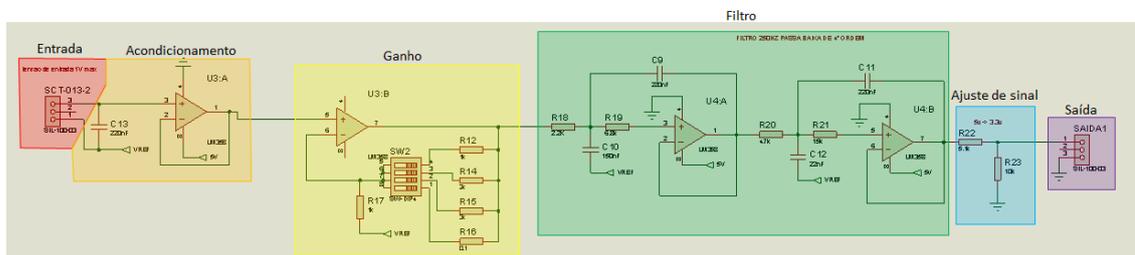


Figure 3. LM741 Layout

Fonte: Página do site “texas instruments”. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>> . Acesso em: 8 fev. 2023

Já o circuito principal será explicado através de um dos circuitos mostrados na Figura 9, pois os dois circuitos são iguais. A Figura 15 mostra como está sendo dividido o circuito principal por blocos, assim como foi mencionado anteriormente, mas agora será feito o aprofundamento dos elementos.

**Figura 15 - Análise de cada bloco do circuito de aquisição.**



A primeira parte do circuito, denominada “Entrada” (Figura 15), representa as entradas dos fios do sensor de corrente SCT-013, não tendo polaridade esse sensor por produzir um sinal AC (Corrente Alternada). Na segunda parte, temos o “Acondicionamento”, que consiste em utilizar um amplificador operacional na configuração *Buffer*, que possui uma realimentação negativa, para estabilizar o ganho unitário do sinal, além de conseguir fazer com que tenha uma

impedância alta para que o sinal seja preservado. O capacitor de 220nF(C13) é uma recomendação para esse tipo de sensor por ser um indutor e captar o campo magnético. Por captar esse tipo de onda, ele fica sujeito a captar sinal do ambiente, tendo como exemplo as lâmpadas e outros equipamentos que estiverem próximos. Assim, nesses primeiros estágios, conseguimos ter um sinal com poucos ruídos de alta frequência por causa do capacitor e não ter o sinal atenuado por causa do *Buffer*.

A segunda parte do circuito, denominada “Ganho”, utiliza a realimentação negativa para estabilizar o ganho de tensão total. Quando o ganho de malha aberta variar, a tensão da realimentação se opõe a esse ganho, fazendo com que a saída fique estável (MALVINO, 2016) através dos valores colocados nos resistores. Além disso, no circuito, foi colocado um ganho que o usuário seleciona graças ao *switch* com diferentes resistências, tendo resistência de 1k, 2k, 3k e 0.1 ohm para que, ao selecionar uma das resistências, respectivamente, consegue ter ganhos de 2, 3, 4 e 1 vezes o sinal de entrada. Por ser uma configuração não inversora, o valor mínimo de ganho é de pelo menos 1. Não optamos por ter ganhos abaixo de 1 pelo fato de que, se o sinal for maior que a alimentação dos amplificadores operacionais, ele já chegaria saturado nessa parte do circuito. Uma forma de diminuir o sinal seria dar uma volta a menos do fio que ficaria enrolado ao sensor.

Na terceira parte do circuito, denominada “Filtro”, foi utilizado o *software* disponibilizado pela texas instruments, de forma gratuita, chamado “filterpro”. Nesse *software*, ao se colocar os dados da ordem do filtro, a frequência de corte, ganho desejado, se for do tipo inversor, tipo de filtro, tipo de resposta e a sua topologia, ele realiza os cálculos e fornece as ligações elétricas necessárias e os componentes com os valores necessários para a realização do filtro na prática.

Para a construção do filtro, foram realizadas nas seguintes condições: filtro passa baixa para eliminar o efeito *aliasing* no sinal, ganho unitário, pois o estágio de ganho já havia feito o ganho necessário, e a frequência de corte foi colocada em 250Hz, já que grande parte do sinal estaria contido próximo de 60Hz. Pelo Teorema da amostragem de Nyquist–Shannon, o sinal de aquisição tem que ser, pelo menos, o dobro do sinal que quer ser analisado, para que não ocorra uma má interpretação da parte computacional. Na ordem do filtro, foi utilizada a quarta ordem, para que tivesse uma atenuação das altas frequências provocadas por ruído eletromagnético, eliminadas de uma forma mais eficiente. Na resposta do filtro, foi selecionado Butterworth, por se ter um *ripple* mais controlado, além da frequência de corte não sofrer tanto com a variação do ganho e de ser um tipo de resposta bem conhecida. Por fim, a topologia do

filtro foi a Sallen-key, por ser não-inversora, e caso precisasse, conseguiríamos dar ganho no sinal por ser uma topologia que aceita dar ganho além de filtrar.

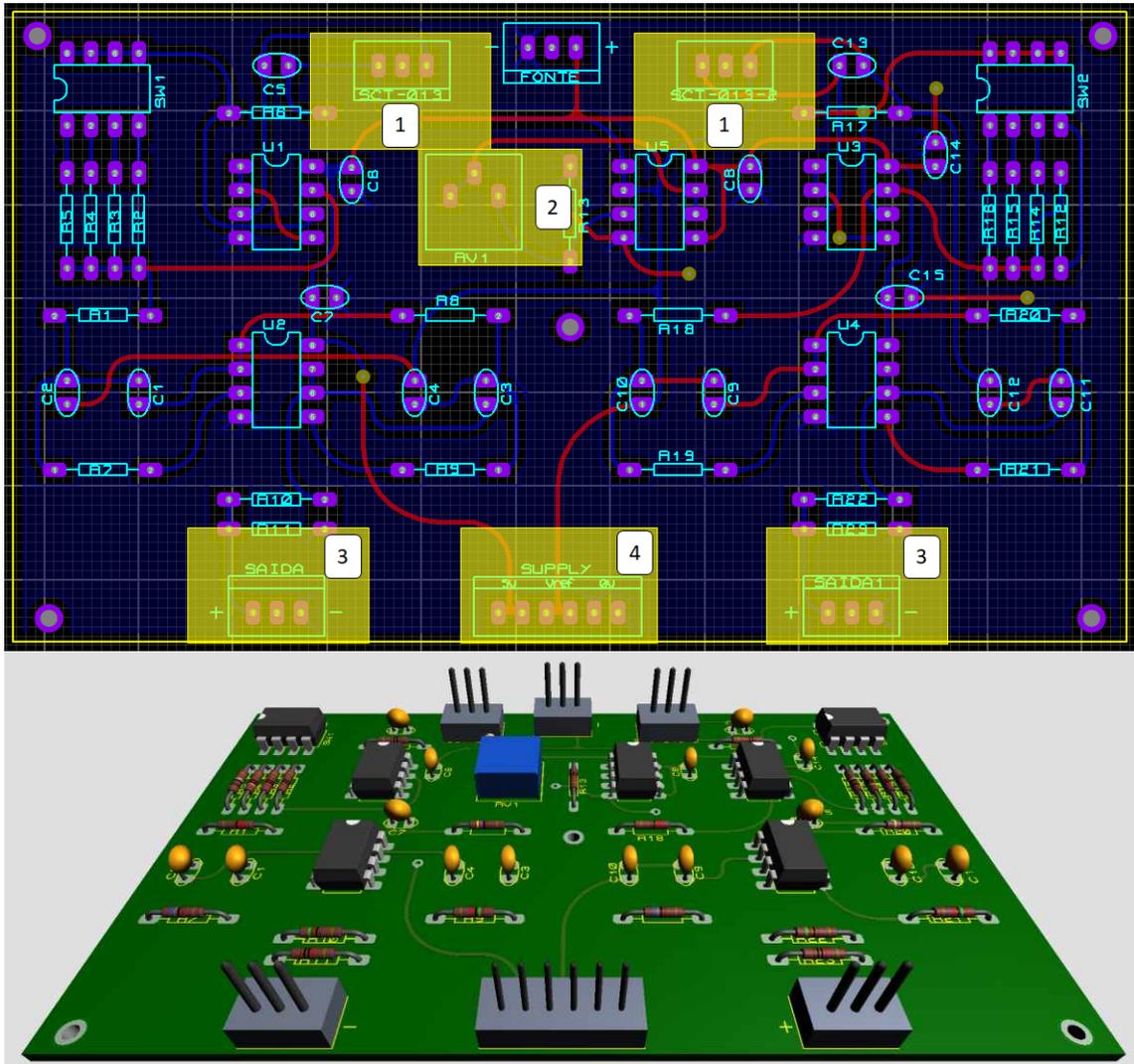
No último estágio do circuito, denominado “Ajuste de sinal”, pois não adianta fazer o tratamento do sinal e ser incompatível com o dispositivo, que vai ser conectado na saída do circuito de aquisição. No caso, o circuito construído foi alimentado com a tensão de 5V, pois os amplificadores operacionais escolhidos necessitavam de uma fonte única. O microcontrolador, que iremos tratar posteriormente, possui uma alimentação de 3.3V e, por consequência, não pode receber tensões superiores, pois pode queimar a porta A/D.

Por causa disso, foi criado um divisor de tensão, tendo a saída multiplicada por 0.66, o que faz com que o sinal tenha essa atenuação proporcional para que seja possível de ser lido pelo microcontrolador, sendo que, caso a entrada do divisor seja de 5V, a saída será 3.3V. Apesar de atenuar o sinal, é uma forma de proteger o próximo circuito e caso fosse utilizado o diodo zener como forma de limitar a tensão máxima, sendo que não funciona com tensões baixas, pois não trabalha corretamente, por isso, não é indicado para esta aplicação.

## **2.4. Layout**

Com o circuito criado, foi necessário colocar em um programa de criação de layout de placas de circuito impresso para que pudéssemos desenhar como seria a placa. Após colocar os componentes nas posições e criar as trilhas que os interligam, o resultado foi uma placa de 12x7cm de área, contendo dois circuitos de aquisição de corrente, sendo de terra e fase da rede elétrica, como mostrado na Figura 16:

Figura 16 - Na imagem superior, esquemático da placa, mostrando em amarelo os pinos e os pontos de interesse, enquanto, na imagem inferior, a placa do circuito simulado.

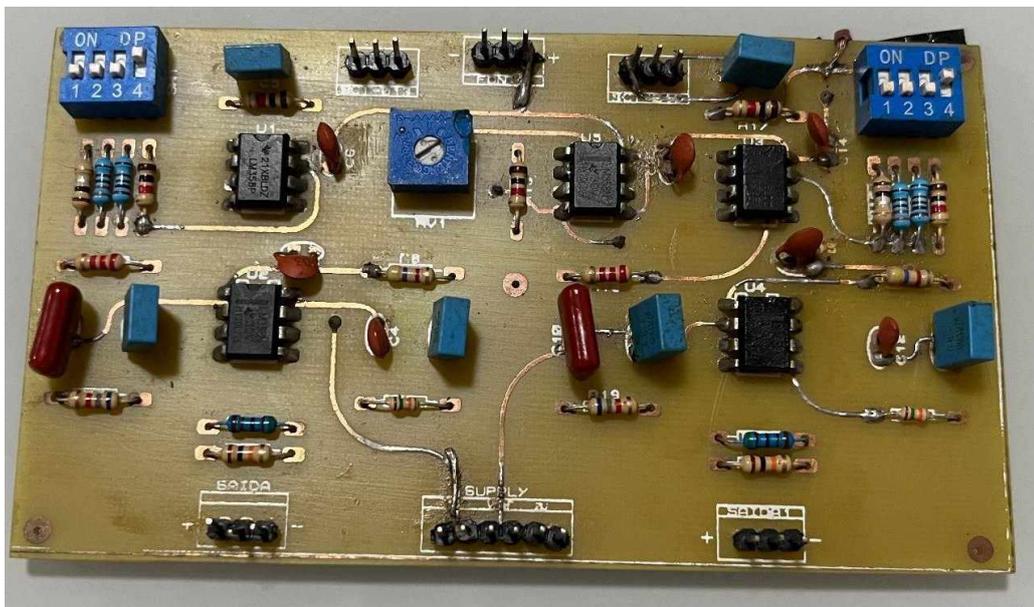


É possível notar que, se passar uma reta na vertical do meio do circuito, há um “espelho” nas duas regiões formadas, sendo feita propositalmente, pois o circuito é o mesmo de aquisição de corrente. A região marcada como “1” refere-se aos pinos que são conectados ao sensor de corrente; a região “2” refere-se ao trimpot, que é responsável por variar a tensão de referência do circuito, sendo pré-ajustado com 2.5V; a região “3” é a saída do sinal, que será conectado na referência do microcontrolador e no pino responsável pela leitura do sinal; e a região “4” refere-se aos pinos de 0, 2.5 e 5V, caso seja necessário realizar a leitura ou alimentar outro circuito externo.

Com o layout de duas vias concluído, foi realizada a confecção da peça por uma outra pessoa, por causa de falta de recurso. Os furos foram também realizados por essa pessoa. Em seguida, os componentes necessários foram comprados e foi realizada a soldagem desses componentes. Durante o processo de solda, foi verificado que algumas trilhas tinham

dificuldade de ter contato, por isso, foi preciso realizar algumas intervenções, através de jumpers na PCI (placa de circuito impresso). A Figura 17 mostra como ficou o circuito impresso após a soldagem dos componentes.

**Figura 17 - Placa de circuito impresso de aquisição de corrente.**



## 2.5. Microcontrolador

Tendo o sensor, para realizar a medida, e tendo o circuito, para realizar o melhoramento do sinal, há a necessidade de se ter um circuito, que irá realizar a conversão dos dados analógicos para dados digitais, realizar um processamento no sinal, que a forma analógica não consegue além de fazer a análise, através de cálculos matemáticos, e ter uma interface com o usuário para se obter um melhor aproveitamento.

Para tanto, foi escolhido o microcontrolador ESP32, pois possui um *clock* maior que o Arduino, uma resolução do conversor A/D de 12 bits, que faz com que o sinal seja mais definido e, além disso, possui funções de *wi-fi* e *bluetooth*, caso seja necessário utilizar essas funções, posteriormente. Esse é um tipo de equipamento que a programação se assemelha bastante ao Arduino, sendo assim, é possível não ter muita dificuldade para a realização da programação, apesar de ser uma programação de linguagem de alto nível, que impacta na complexidade do código criado, mas isso não prejudica o desempenho em um primeiro momento.

Para a aquisição dos dados, é necessário que haja a captação do sinal do circuito de aquisição, de forma determinada, ao longo do tempo, com uma taxa de amostragem fixa para

que a informação, em relação ao tempo, seja correta para a análise do sinal. Uma forma, para a realização de uma taxa de amostragem correta, seria utilizar a interrupção por *software*, que consiste em, a cada intervalo de tempo, o *software* interromper tudo que está fazendo, para realizar uma ação. Normalmente, como o foco é a utilização da ação da interrupção, o código de *loop* da função principal é colocado em branco, para que não pese na *performance* do processador, assim o código fica mais leve e a parte de leitura fica concentrada na interrupção.

Devemos nos atentar, ao utilizar a interrupção, em não ter muitas linhas de código, ou ter muito gasto do tempo, pois, caso o tempo, para fazer a ação, seja maior que o tempo entre interrupções, durante a execução, a leitura será interrompida e começa novamente a leitura desde do início do código. Por causa disso, é preferível realizar a leitura e o envio das informações para o computador durante a interrupção, enquanto a parte de filtragem digital do sinal deixaria para o computador realizar, por não ter um tempo limite.

No início dos testes, foi definida a taxa de amostragem do ESP32 em 500Hz, porque o filtro analógico está em 250Hz e, além disso, essa taxa obedece ao Teorema da Amostragem de Nyquist–Shannon, que deveria ser de, pelo menos, o dobro do sinal de análise, mas após análises essa taxa foi trocada para 1kHz. De início, a transmissão das informações será através da porta serial que, além de ter uma passagem de sinal mais rápido, diminui o código, caso fosse utilizado os meios de *bluetooth* e *wi-fi*.

O Anexo D possui a linha de código utilizada no ESP32, para a aquisição dos dados registrados nos testes deste projeto. Na primeira parte do código, até chegar no “void loop()”, tem-se a configuração da interrupção do código, para que, em cada intervalo de tempo, seja acionado o que está escrito na condição dentro do “loop()”. Pelo fato do microcontrolador ter 12 bits, ele possui 4096 pontos( $2^{12}$ ), para registrar tensões diferentes na faixa de aquisição de 0 a 3.3V. Sendo assim, podemos fazer uma proporção direta, para transformar qual o valor que leu em bits para tensão, pois existe uma linearidade, assim temos que:

$$\left(\frac{4096}{(valor\ i\ d\ d)}\right) = \left(\frac{3.3}{(tensão\ correspondente)}\right)$$

$$(tensão\ correspondente) = (valor\ i\ d\ d) * \left(\frac{3.3}{4096}\right)$$

$$(tensão\ correspondente) = (valor\ i\ d\ d) * (0,0008058608)$$

Em seguida, tem-se a conversão para corrente. Como o sensor de corrente lê até 10A, ele foi multiplicado por este valor, para obter o valor em amperes, mas por ter os cálculos dentro

do loop, que seria rodado constantemente, preferiu-se, para poupar processamento, deixar essa linha comentada e enviar direto para o serial em bits, através da leitura da porta analógica 35.

## 2.6. Softwares utilizados

Com o microcontrolador, fazendo a conversão do analógico para digital, o próximo passo é enviar via comunicação serial, utilizando a conexão USB, que tanto no ESP32 e o computador possui. Para a realização da leitura, de forma rápida, por conta da taxa de amostragem, no primeiro instante, foi realizada a tentativa de leitura, através do *software* Matlab. Entretanto, por ser um *software* que demanda grande processamento, a leitura não foi rápida o suficiente para captar o sinal, por isso foi preciso buscar outra ferramenta disponível para realização essa captação.

Após pesquisas, foi encontrado o *software* específico, para captação de dados via serial, chamado “coolterm”. Esse *software* tem a possibilidade de configurar como será o baud rate, que normalmente é configurado em 9600. Para se ter uma melhor *performance*, foi adotado 115200, quantos bits a enviar, além de outras configurações mais aprofundadas. Na configuração, definimos criar um bloco de notas com a data, a hora, que está sendo registrado com os dados que foram enviados pelos ESP32.

Como o dispositivo não entende o quanto de tensão ele está lendo e sim, quantos bits que estão sendo representados, é necessário que haja uma conversão de bits para o valor desejado que, no caso, é em corrente. Para isso, só é preciso que encontre a equação da reta linear que representa essa conversão, sendo que, o sensor de corrente 10A corresponde a 1V, portanto é uma equação com o eixo, passando pela coordenada cartesiana (0,0) e por (1,10), tendo assim a fórmula de conversão. No caso, foi implementado no ESP32, por se tratar de uma multiplicação de uma constante e não pesar no processamento.

Já tendo o bloco de notas com os valores que o sensor de corrente forneceu, o *software*, que será responsável por realizar o processamento do sinal, tem a capacidade de criar filtros digitais, para refinar mais ainda o sinal, cálculo de transformada de fourier e outras análises, foi escolhido o Matlab, por se tratar de uma referência nesse quesito. Dessa forma, o sinal do bloco de notas será lido e mostrado para o usuário, por meio de gráficos os sinais. O Anexo E mostra qual o código utilizado, para o processamento dos sinais obtidos.

No código, é feita uma matriz com duas colunas: a primeira refere-se ao tempo de cada aquisição, enquanto, a segunda coluna seria o sinal adquirido. Convém esclarecer que não foi estipulado o valor de quantidade de pontos a serem registrados na matriz, pois dependeria de

quanto tempo o usuário deixou o “coolterm” aberto registrando. Ao colocar esses valores na matriz, foi possível não só mostrá-los em gráficos, através da função “plot”, mas também realizar o cálculo do RMS e apresentar o valor.

Para retirar o nível DC do sinal, foi realizado uma média dos valores da matriz(eixo X), pois o sinal de corrente contínua é possível de ser obtido através desse cálculo, assim ao subtrair todos os pontos do gráfico pela média, o gráfico se deslocaria em torno do ponto  $y=0$ . O nível DC do sinal é por conta do valor acrescentado, propositalmente, na placa de aquisição, além de que, pelo fato da tensão de alimentação ser alternada, a corrente, conseqüentemente, será também. Outro fato que deve ser levado em consideração é que não é captado o sinal DC, pois o sensor de corrente só capta corrente que foi gerada por campo magnético e, para que isso seja possível, a corrente deve ser necessariamente alternada.

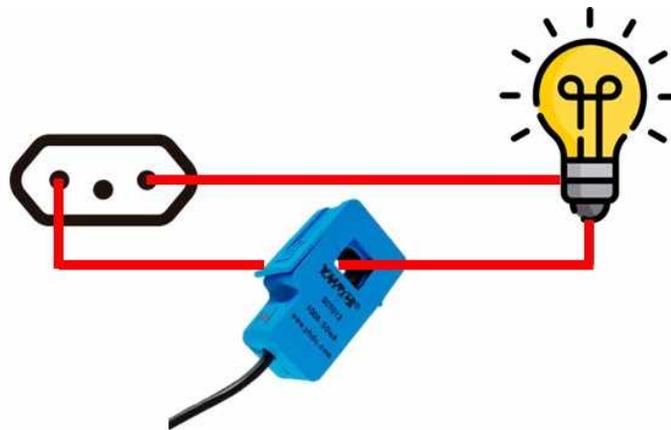
### 3. CAPÍTULO 4 - MENSURAÇÃO E TESTES

#### 3.1. Teste do sensor de aquisição

Antes de realizar os registros dos equipamentos eletrônicos, foi realizado o teste do sensor com uma carga resistiva de fator de potência 1, pois o sinal que é esperado por esse tipo de carga é uma senoide de 60Hz, que acompanha a tensão da rede, pois se trata de uma resistência pura, assim não possui atrasos ou distorções do sinal. Por saber das características do sinal, é possível ter uma análise crítica do desempenho do sensor e assim com os resultados previsíveis, realizar a construção do circuito de aquisição se atentando a filtros e ganhos a serem utilizados.

Para a realização do teste, foi colocada uma extensão ligada na rede elétrica de 220V, com o sensor de corrente em um dos fios que alimenta a lâmpada, como mostrado na Figura 18:

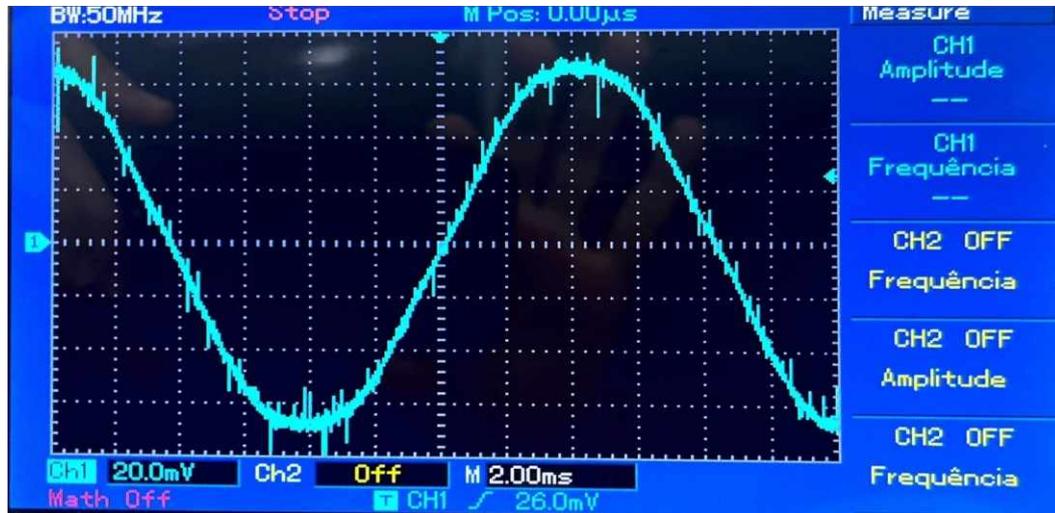
Figura 18 - Conexão do sensor na alimentação da carga analisada.



As informações, que foram fornecidas pela empresa, que produziu a lâmpada, foram as seguintes: corrente nominal = 550mA, fator de potência = 1, tensão nominal = 220V e potência = 120W. Para que pudesse ser visualizado o sinal, que está sendo gerado, foi utilizado o osciloscópio nos terminais de saída do sensor de corrente e, além disso, foi utilizado um alicate amperímetro na mesma configuração que o sensor de corrente, para que, posteriormente, pudesse comparar o cálculo realizado com o que o amperímetro mede.

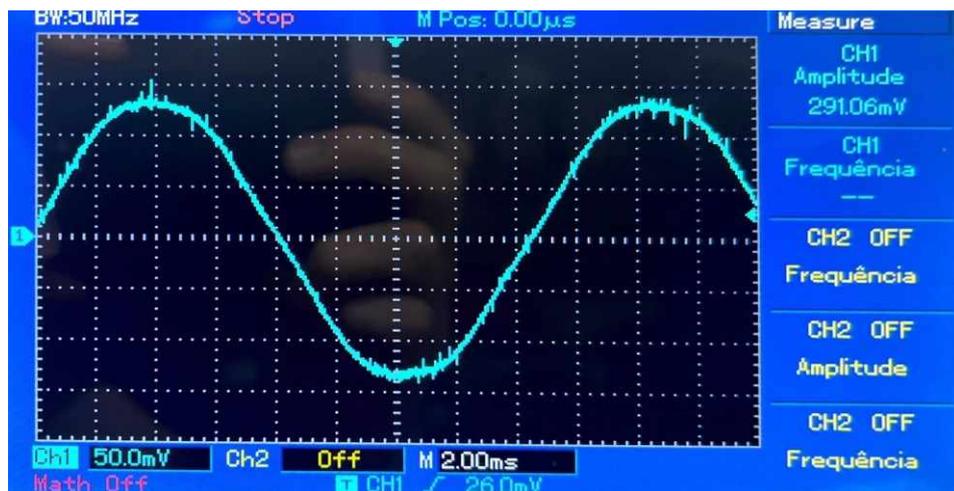
Ao realizar a primeira medição, não tendo nenhuma volta no sensor, pode-se obter o seguinte sinal da Figura 19:

**Figura 19 - Gráfico do osciloscópio obtido na saída do sensor em decorrência do sinal gerado pela corrente de uma lâmpada com 1 volta de fio no sensor SCT-013.**



Nesse sinal, pode-se observar que a frequência da onda é de 60Hz, com uma amplitude, por volta dos 68mVp, e com grande quantidade de ruídos, causados pela interferência eletromagnética. Ao colocar o sensor com mais uma volta no fio, para que o sinal fique com maior amplitude, pode-se ter um resultado melhor que o anterior, de acordo com a Figura 20:

**Figura 20 - Gráfico do osciloscópio obtido na saída do sensor em decorrência do sinal gerado pela corrente de uma lâmpada com 2 volta de fio no sensor SCT-013.**



Por ter passado a corrente duas vezes no sensor, houve um ganho de 2 vezes ao comparar o sinal anterior com sinal de 140mVp, com menos ruídos, aproximando-se mais ainda de uma senoide pura.

Apesar do resultado obtido pelo osciloscópio ter uma resposta em tensão de milivolts, é possível fazer os cálculos para se obter o valor em corrente. Para isso, pega-se o valor de pico do sinal obtido, tendo como valor 68mVp, realiza-se a regra de três, para obter o valor em corrente de pico, pois a relação que possui nesse sensor é de que 10A corresponde à 1V de forma linear, assim é obtido o valor de 680mAp.

Com esse valor, é calculado o RMS e, por esse sinal ser uma senóide, pode-se usar a fórmula pronta, que corresponde à  $A_{RMS} = A_{pico} * \sqrt{2}$ , tendo como resultado de  $480mA_{RMS}$ , e multiplicando pela tensão da rede, 220V, chega-se ao resultado de potência de 105W. No alicate amperímetro obteve-se o valor de 0,45 Ap, com um valor próximo e com a potência igual a 99W.

Apesar da potência esperada no teste ser de 120W, deve-se levar em conta que a lâmpada não estava acesa por muito tempo, assim a potência que é consumida é menor quando ocorre um aquecimento, pois o calor altera o valor da resistência e impacta no consumo.

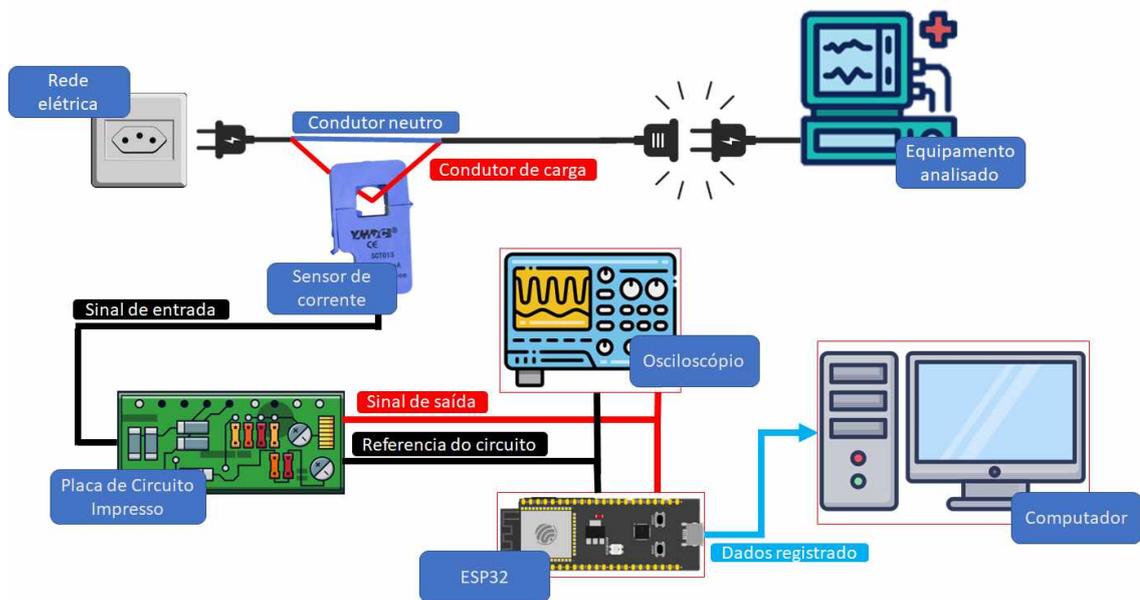
Portanto, o experimento foi bem sucedido, pois aproximou-se do resultado do amperímetro utilizado, dado a circunstância da lâmpada, e o sinal, que é obtido pelo circuito, é fidedigno ao que é esperado.

### **3.2. Teste do *software* e registro de aquisição dos equipamentos**

Uma vez que o teste passado foi realizado e identificado as características do sensor de aquisição, foi realizado a criação da placa de aquisição como mencionado no Capítulo 2, o próximo passo é realizar a aquisição do sinal com o microcontrolador (ESP32), para comparação com o sinal do osciloscópio.

Para este ensaio, foi utilizado o computador, juntamente com o circuito de aquisição de sinal de corrente, com o osciloscópio com a ponta de prova colocada na entrada analógica do ESP32/saída da placa de aquisição, para que possa comparar o sinal de entrada do microcontrolador, por meio do osciloscópio, com o sinal processado pelo computador, através da entrada serial do computador, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Esquema de ligações do teste registrando sinal de equipamentos



Esse teste consegue analisar como é o sinal obtido pelo circuito além de avaliar o quão próximo o sinal é processado no computador com o do osciloscópio, para que, assim, possa realizar intervenções nas linhas de código.

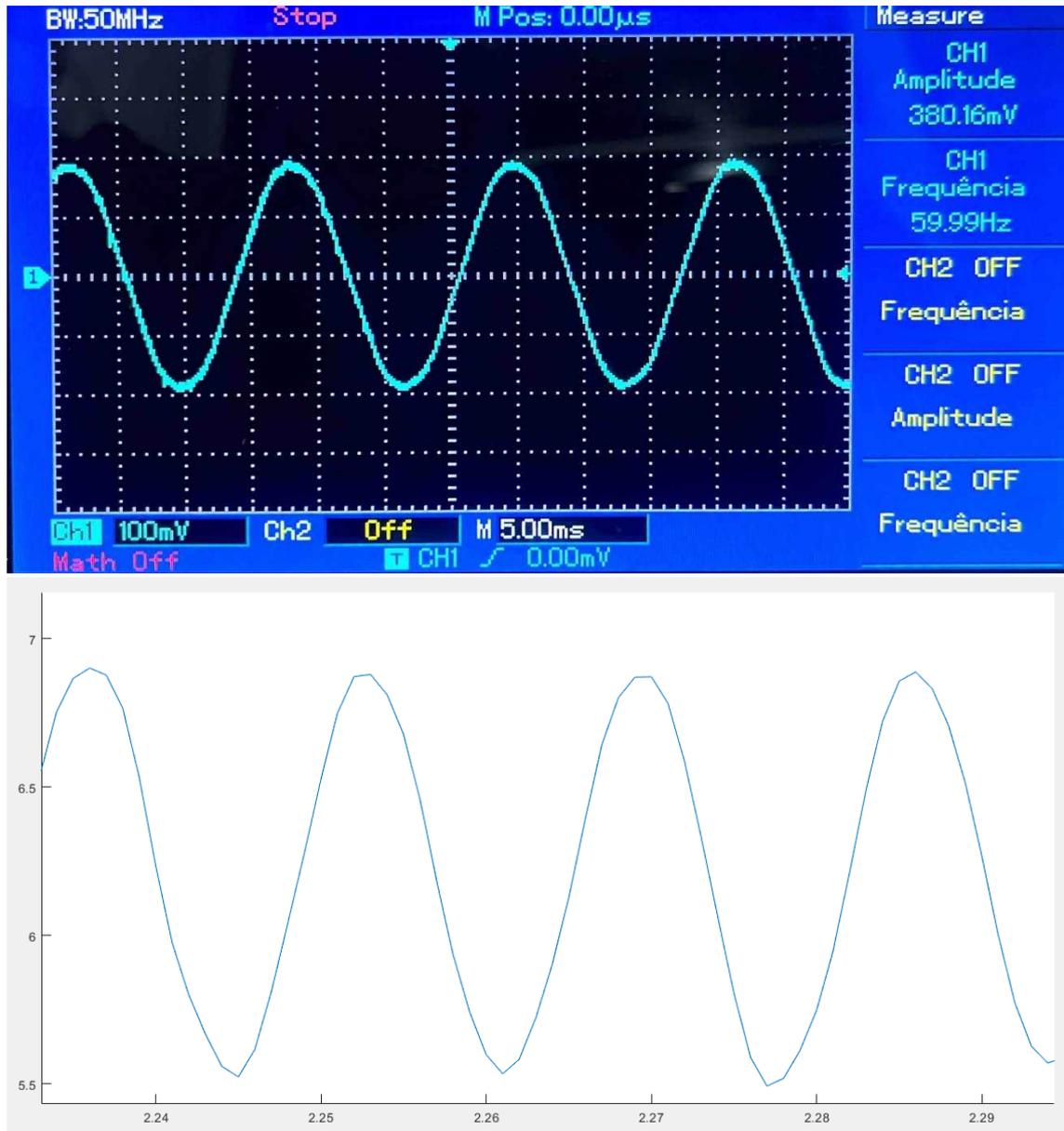
Nos testes, foram registrados 7 sinais de corrente de equipamentos: 4 são equipamentos médicos; 2 são equipamentos de bancada; e 1 lâmpada. Nos testes não foram colocados ganhos no sinal ( $G=1$ ). O sinal produzido pelo computador foi através do *software* Matlab.

### 3.2.1. Teste com equipamento genérico

#### 3.2.1.1. Teste com lâmpada halógena

No primeiro registro, foi utilizado a lâmpada halógena, a mesma utilizada no teste de verificação do circuito de aquisição. Nesse registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 22, é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 22, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

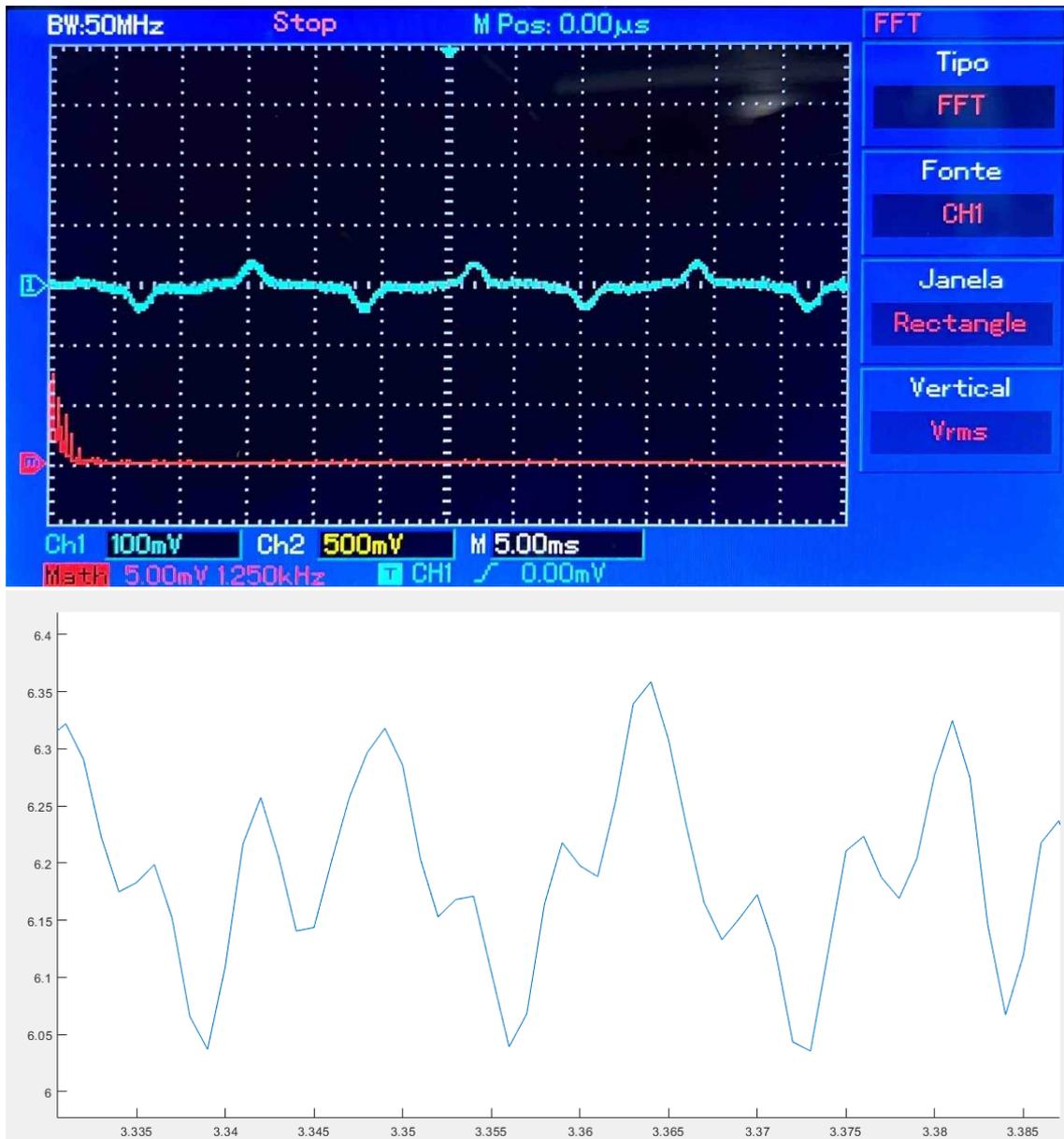
Figura 22 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente da lâmpada halógena, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.



### 3.2.1.2. Teste com fonte de tensão variada

No segundo registro, foi utilizado a fonte de tensão variada. No caso, o equipamento se encontrava em *stand-by* com a tela ligada e, além disso, a partir desse e dos próximos registros, foi ativada a função FFT (Transformada Rápida de Fourier) do osciloscópio. Nesse segundo registro foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 23, é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 23, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

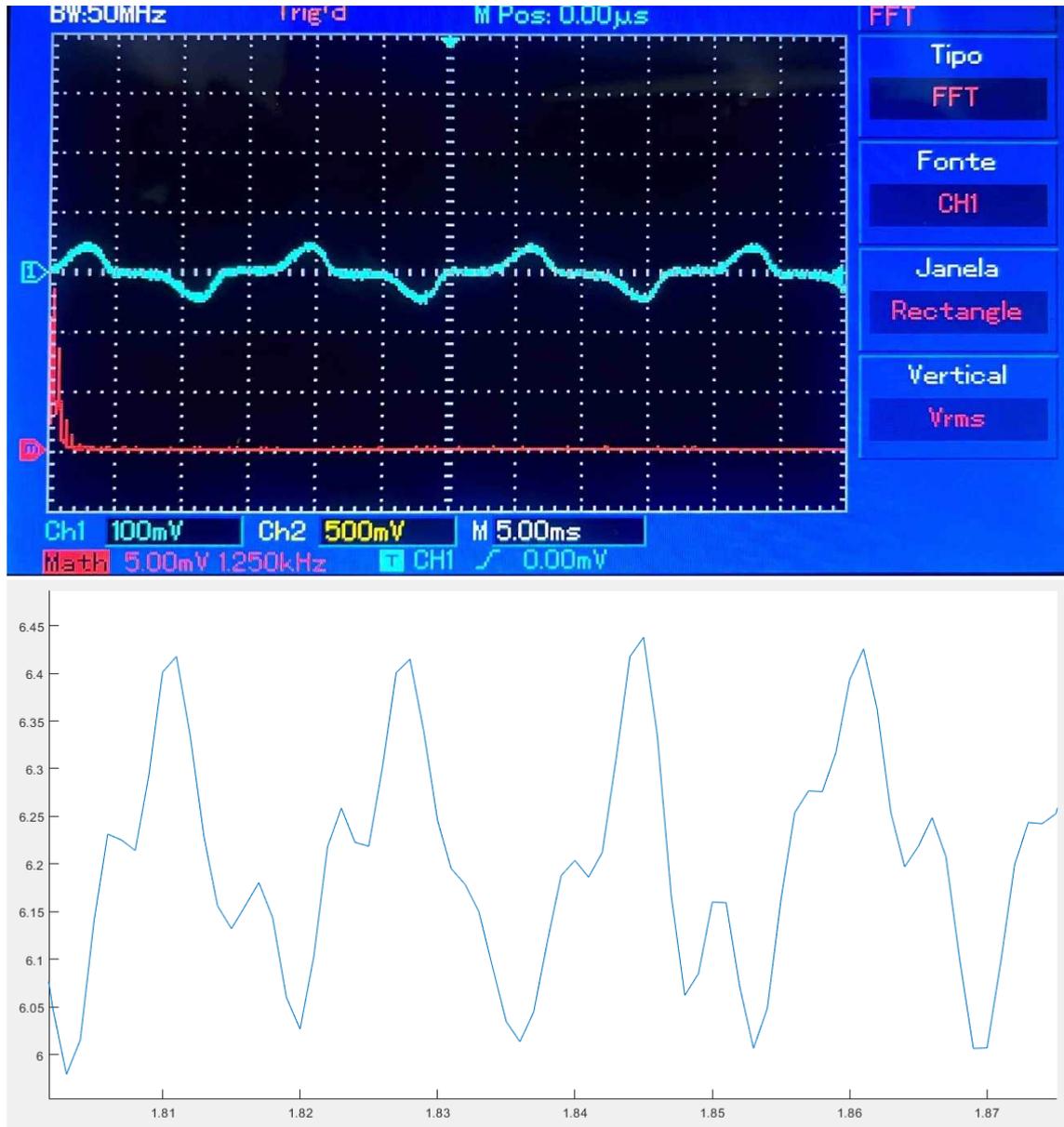
Figura 23 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente da fonte de tensão variada, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.



### 3.2.1.3. Teste com gerador de sinal

No terceiro registro, foi utilizado o gerador de sinal, sendo medida a corrente de entrada do equipamento. No caso, o equipamento se encontrava em *stand-by* com a tela ligada. Nesse terceiro registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 24, é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 24, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

Figura 24 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente do gerador de sinal, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.



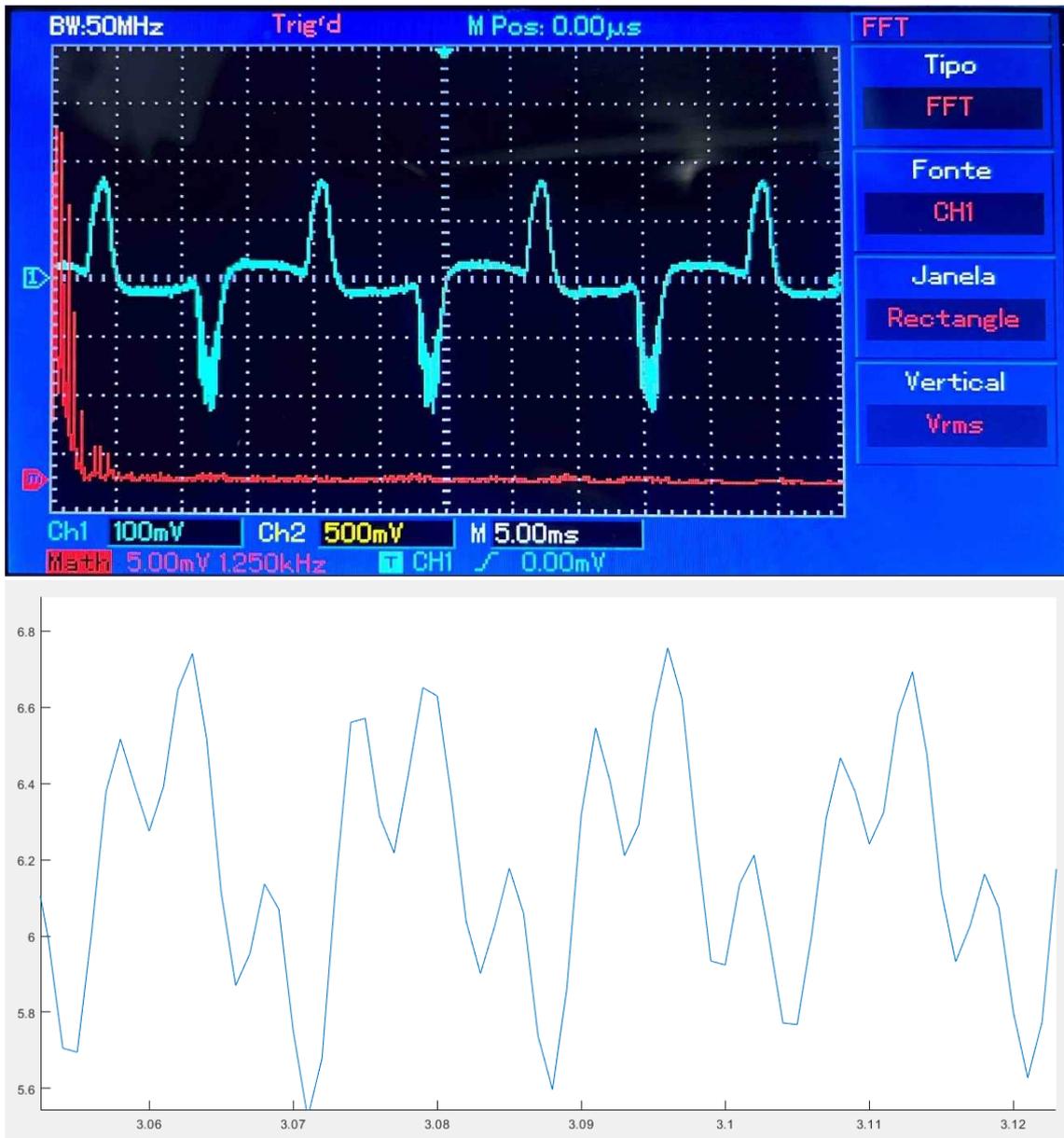
### 3.2.2. Teste com equipamento médico

#### 3.2.2.1. Ventilador pulmonar

No quarto registro, foi utilizado o equipamento médico responsável pela ventilação mecânica de paciente, que necessita do auxílio externo para realizar a respiração, chamado ventilador pulmonar. Nesse caso, o equipamento se encontrava em *stand-by* com a tela ligada. Nesse quarto registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 25, é o

sinal obtido na entrada do ESP32 e a parte inferior, da Figura 25, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

Figura 25 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente do ventilador pulmonar, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.

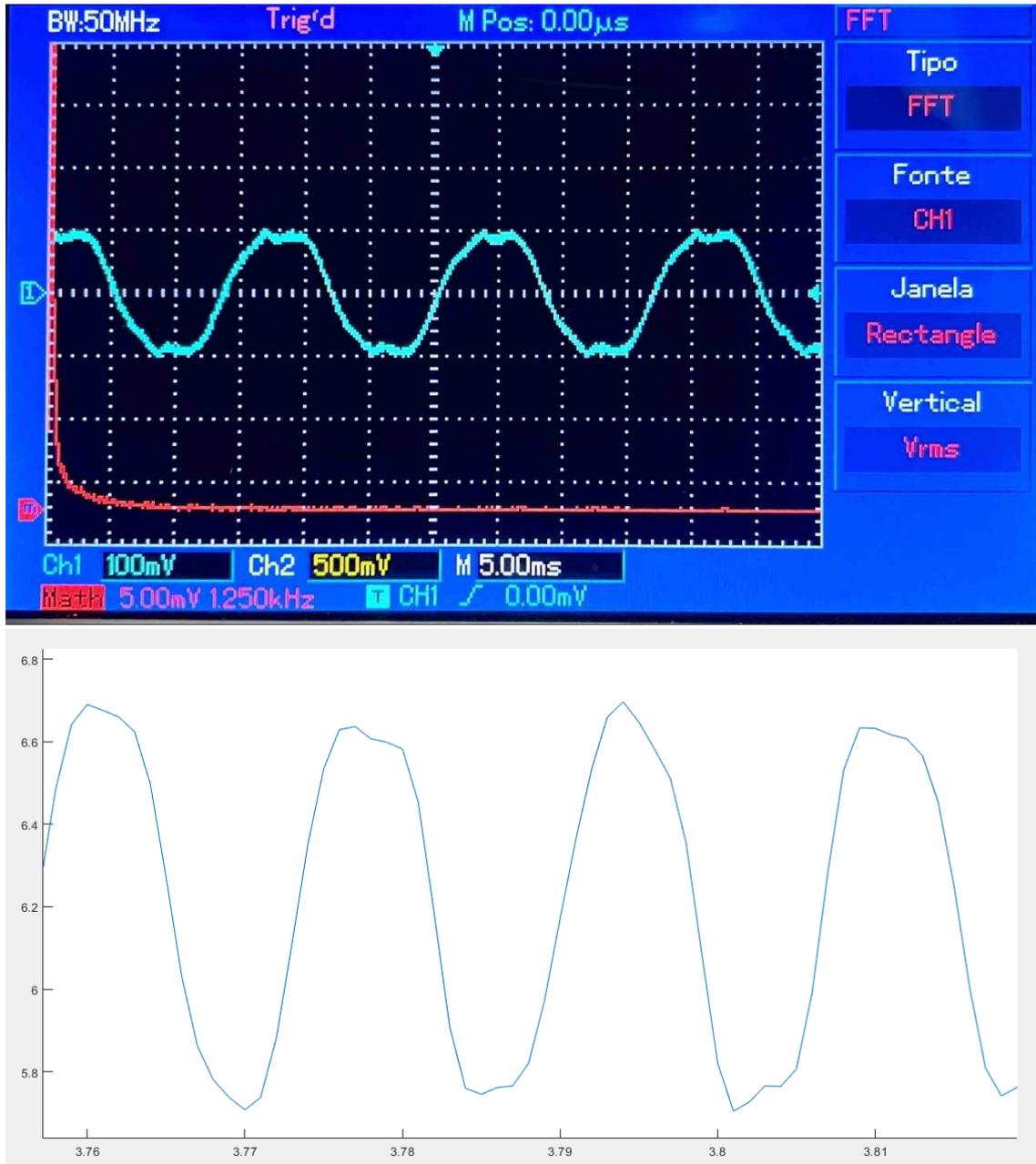


### 3.2.2.2. Ondas curtas

No quinto registro, foi utilizado o equipamento denominado ondas curtas. Esse equipamento é utilizado na área de fisioterapia para realizar o aquecimento de tecidos específicos para tratamento. No caso, o equipamento se encontrava em *stand-by*. Nesse quinto

registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 26, é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 26, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

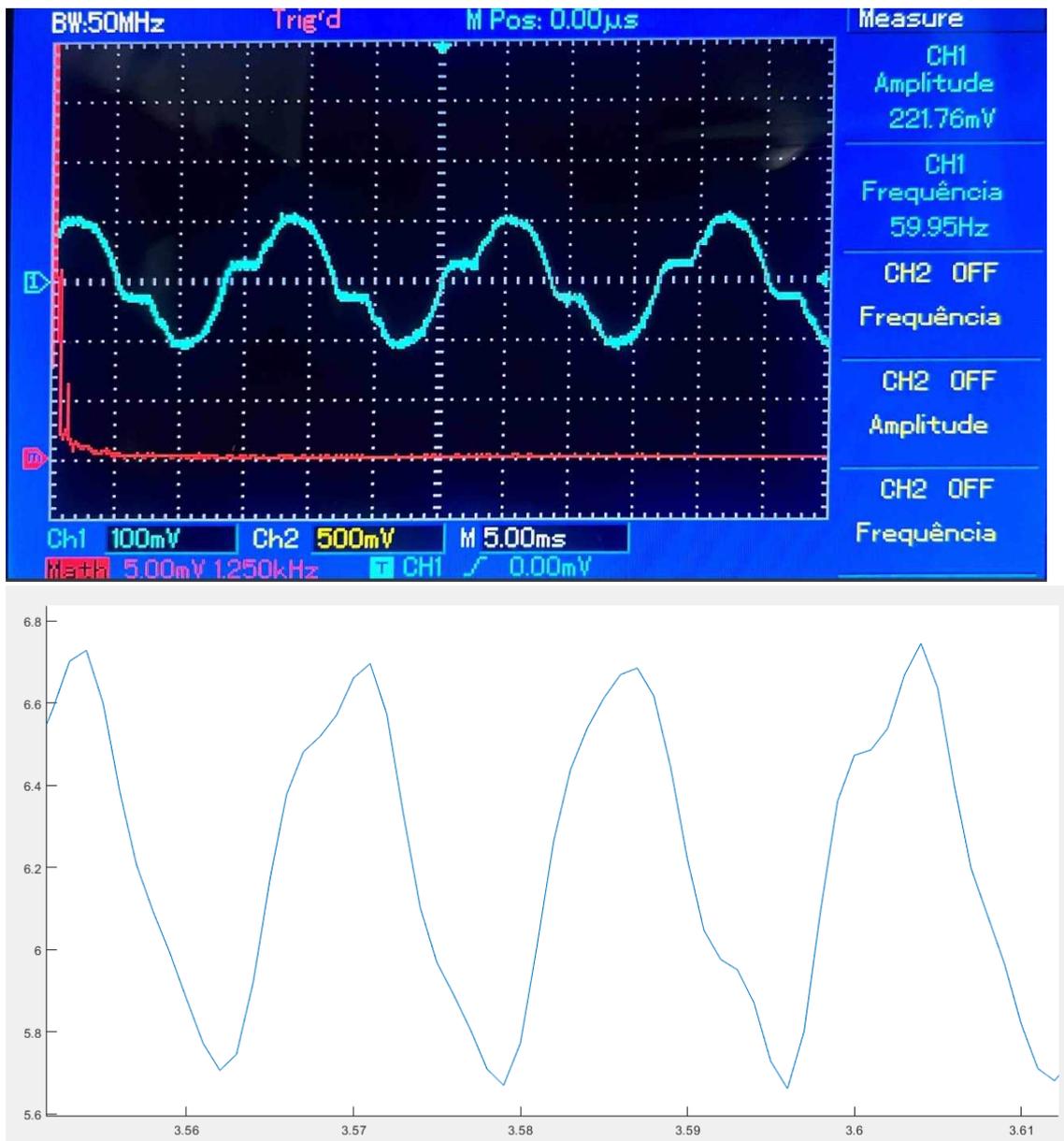
**Figura 26 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente das ondas curtas, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.**



### 3.2.2.3. Desfibrilador

No sexto registro, foi utilizado o equipamento médico denominado desfibrilador, que é utilizado em pacientes que estão com parada cardíaca ou fibrilação. É muito comum encontrar esse equipamento em setores críticos como UTIs (Unidade de Tratamento Intensivo), em salas cirúrgicas e salas de hemodinâmica. No caso, o equipamento se encontrava em *stand-by*. Nesse sexto registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior da Figura 27 é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 27, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

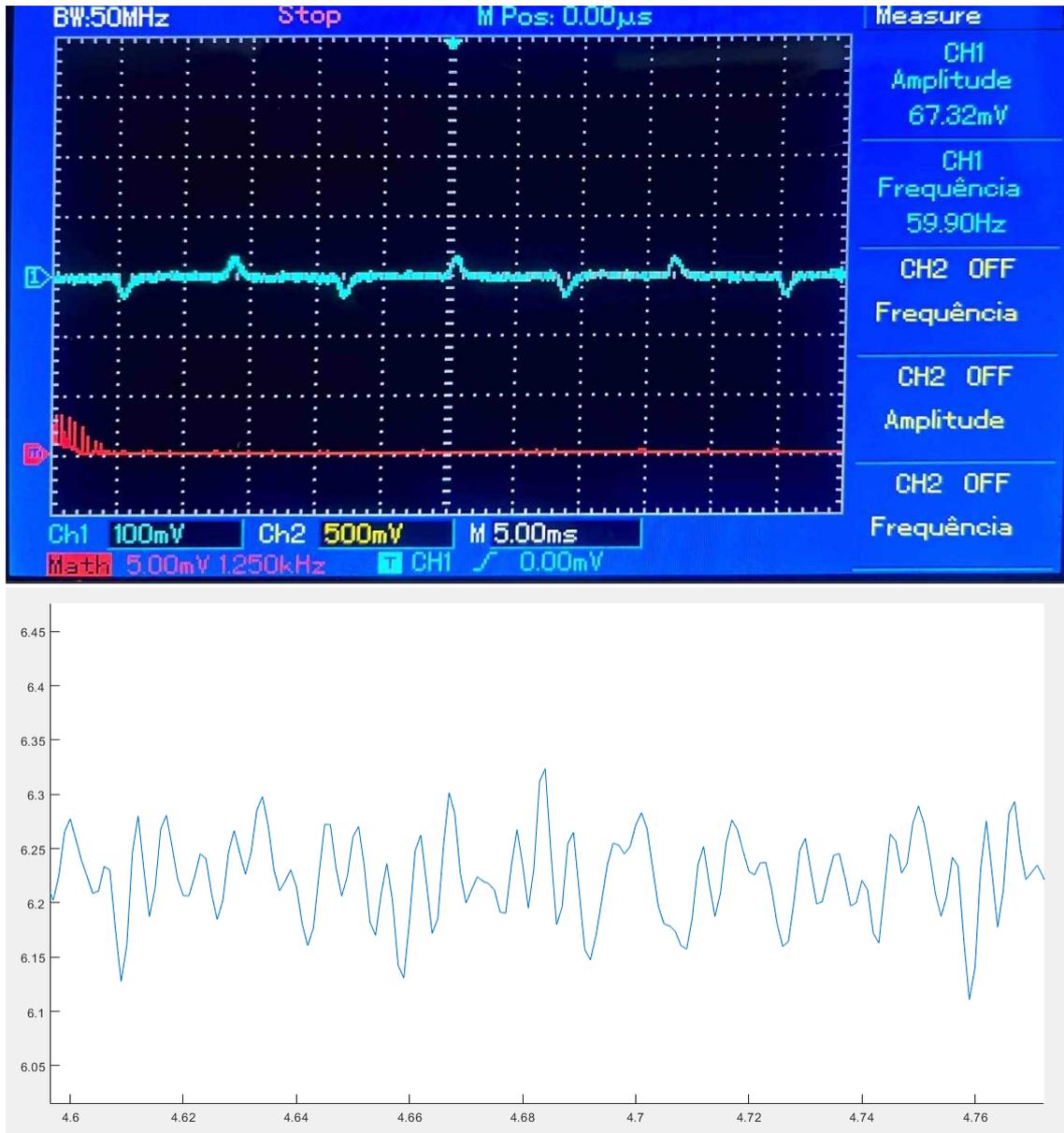
**Figura 27 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente do desfibrilador, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.**



#### 3.2.2.4. Micromotor

No sétimo registro, foi utilizado o equipamento médico denominado micromotor, que é utilizado na área de odontologia para realização de modificações em próteses. No caso, o equipamento se encontrava em *stand-by*. Nesse sétimo registro, foram obtidos os seguintes resultados: a parte superior, da Figura 28, é o sinal obtido na entrada do ESP32, e a parte inferior, da Figura 28, é o sinal obtido pelo *software* Matlab, ao realizar o gráfico dos pontos obtidos.

Figura 28 - Imagem superior é o gráfico do osciloscópio obtido na saída da placa de condicionamento de sinal, monitorando o sinal de corrente do micromotor, enquanto, na imagem inferior, é o gráfico reproduzido pelo programa no computador.



### 3.3. Cálculo dos resultados de potência

Tendo o sinal de corrente, podemos retirar o nível DC (Corrente Contínua), através da subtração da média ao longo do tempo, e a partir do nível AC (Corrente Alternada), realizar o cálculo de RMS (Raiz Quadrada Média) do sinal e, assim, obter a potência média, a partir do período do sinal. Caso queira saber a energia consumida, é só multiplicar pelo tempo (em horas) decorrido do equipamento em funcionamento.

Para calcular a potência, através do Matlab, foi utilizada a função “rms()” do próprio programa, para se ter a corrente eficaz. Sabendo a tensão da rede elétrica, que é 220V, basta fazer o produto das duas variáveis para se ter a potência.

A partir desse cálculo, obtivemos os seguintes resultados, de acordo com a Tabela 1:

**Tabela 1 - Resultados a partir do cálculo de RMS e potência média.**

Nome do equipamento	Corrente em RMS(A)	Potência média(W)
lâmpada halógena	0,4846	106,61
fonte de tensão	0,0915	20,1406
gerador de sinal	0,1807	39,7582
ventilador pulmonar	0,3618	79,5896
ondas curtas	0,3820	84,0435
desfibrilador	0,3456	76,0428
micro motor	0,056	12,3103

Ao observar o resultado da lâmpada halógena, percebemos que, se compararmos com o primeiro teste realizado ao validar o funcionamento do circuito de aquisição, a potência registrada, novamente, foi a mesma que se obteve por meio de cálculos, mas, convém esclarecer, que, dessa vez, foi através de *software*. Pelo fato dos equipamentos estarem em *stand-by*, o consumo está menor do que o consumo normal do equipamento, pois, neste estado, há uma economia de energia por considerar que não estão sendo utilizados, tendo configurações desabilitadas para minimizar a corrente drenada.

A Tabela 2 mostra qual é o consumo de potência esperado pelo equipamento, de acordo com o manual de usuário. Essa potência, que é divulgada para o público, é a potência máxima que o equipamento pode consumir, e essa potência máxima que é divulgada ocorre quando o equipamento já está mais tempo ligado, fazendo com que os componentes estejam quentes e tendo todas as configurações ativadas.

Em relação às unidades utilizadas de potência, possui, na tabela, a potência ativa (W) e a potência aparente (VA). Convém esclarecer que elas possuem diferença, pois a potência ativa só considera a parte resistiva da carga mensurada, enquanto a potência aparente considera tanto a corrente resistiva quanto a corrente reativa, fazendo com que o cálculo da potência ativa não seja tão simples, não podendo, assim, considerar a fórmula padrão  $U=R*I$ .

**Tabela 2 - Valores obtidos através dos manuais de serviço/ usuário dos equipamentos.**

nome do equipamento	corrente máxima	potência de consumo total
lâmpada halógena	0.55A	120W
fonte de tensão	não consta no manual	350W
gerador de sinal	não consta no manual	10VA
ventilador pulmonar	1.6A	não consta no manual
ondas curtas	3.5A	762VA
desfibrilador	não consta no manual	300VA
micro-motor	não consta no manual	40W

É possível fazer uma comparação entre os valores que possuem a potência em Watts. Na lâmpada halógena, como a carga é puramente resistiva e não tem um circuito que regula o funcionamento da lâmpada, a potência foi próxima do que está sendo relatado na Tabela 2, com apenas 12% de erro. No caso da fonte de tensão e do micromotor, temos de 70% a 95% de diferença entre a potência média encontrada com a do manual.

Apesar de ter uma grande diferença, vale ressaltar que existe um circuito interno, que desabilita funções para economizar o consumo de energia e, por conta desses registros terem sido medidos no modo *stand-by*, há sentido em ter um valor tão baixo assim.

## 4. CAPÍTULO 5 - DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

### 4.1. Discussões sobre resultados

A partir dos resultados obtidos, através dos experimentos, notamos que, ao medir a lâmpada halógena, obteve-se um sinal puramente com a frequência de 60Hz sem haver ruídos eletromagnéticos, mostrando, assim, que a parte do circuito responsável por filtrar o sinal de alta frequência conseguiu desempenhar o papel satisfatório, ainda mais por se tratar de um sinal de grandezas em milivolts.

Nos equipamentos mais complexos em comparação com a lâmpada, que possui circuitos eletrônicos, é possível notar que a corrente produzida tem a frequência de 60Hz bem aparente por causa da tensão de alimentação vinda da rede elétrica. Apesar de apresentar essa característica em comum em todos os equipamentos, a análise do FFT de todos os equipamentos mostra que os sinais, além dessa frequência similar, apresentam frequências bastante variadas, podendo chegar na grandeza de kilohertz, como mostrado no gráfico do micromotor (Figura 28).

Ainda que o gráfico apresente essas frequências altas, devemos entender que o sinal visto não é fidedigno ao real sinal produzido pelo equipamento, pois o filtro no circuito foi ajustado em 250Hz, tendo o elemento de 4º ordem, o que fez com que o sinal sofresse grande atenuação a partir dessa frequência. Esperávamos que o sinal de corrente estivesse em torno dos 60HZ dos equipamentos, por isso colocamos a frequência de corte 4 vezes maior, para garantir a aquisição de todo o sinal, mas fomos surpreendidos com essas frequências altas característico de cada equipamento.

Já o sinal que o microcontrolador obteve, ainda não está registrado corretamente, pois o sinal, que foi registrado pelo osciloscópio, é o que está na entrada do conversor A/D do ESP32, sendo assim, o sinal esperado seria esse, mas na prática isso não ocorreu. Em muitos registros realizados, é possível notar traços característicos de cada onda. Assim, é necessário realizar melhorias e a revisão do código de aquisição, para que se possa chegar a um resultado próximo ao do osciloscópio.

Além disso, no sinal da lâmpada halógena, cada crista e vale registrado deveria estar igual, pois o sinal se repete e isso não ocorre. Possivelmente, pode ser que a interrupção no código não esteja sendo realizada da forma correta, pegando pontos de forma desordenada, mas, por outro lado, obedecendo a quantidade de valores por segundo que foi estipulado, no caso 1kHz. Percebe-se que as aquisições que ficaram mais prejudicadas foram as que possuíam um FFT com frequências altas.

Para se ter um sinal o mais fidedigno do real, é necessário que a taxa de amostragem do microcontrolador seja bem maior do que o sinal registrado. No caso da lâmpada, obtivemos um sinal melhor, uma vez que taxa de amostragem foi 16 vezes maior que a frequência do sinal. Sendo assim, será necessário aumentar a taxa de amostragem, pois os equipamentos possuem frequências maiores.

Portanto, este projeto obteve resultados satisfatórios, mas é extremamente necessário que haja a melhoria tanto na parte do *hardware* quanto do *software*, sendo elas:

#### *Hardware*

1. Colocar um amplificador de instrumentação no começo do circuito, para filtrar ruídos eletromagnéticos, para que os filtros posteriores possam ser de maior frequência;
2. Inserir, na parte de ganho analógico, uma chave seletora de posição para facilitar a mudança de ganho no sinal;
3. Aumentar, no filtro, a frequência de corte na casa de kilohertz, para que se consiga atenuar os ruídos e não promova o aliasing na aquisição.
4. Fazer uma carcaça para o circuito.

#### *Software*

1. Rever a parte do código responsável por realizar as interrupções e aquisição
2. Aumentar a taxa de amostragem para dezenas de kilohertz, para melhorar o sinal.

## 5. CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO DO PROJETO

### 5.1. Conclusão

Muitos documentos pesquisados sobre sensoriamento não estão avançados. Ao comparar este projeto com outros, houve um avanço por ter realizado a mensuração de corrente de um equipamento médico, onde não era possível observar, até o momento das buscas, como é o formato do sinal da corrente, como apresenta o esquemático do circuito projetado, dentre as pesquisas, com filtros ativos, que não foram mencionados nos artigos. Este foi o único projeto que utilizou o ESP32, para a aquisição do sinal.

Os documentos sobre consumo de energia não mencionam com qual ferramenta os pesquisadores obtiveram as informações com relação ao registro do consumo dos equipamentos. Esses pesquisadores conseguiram realizar uma análise ao longo do tempo, enquanto, no projeto que foi desenvolvido, não foi capaz de fazer um estudo do sinal ao longo do tempo, para medir a potência consumida, mas sim, a potência média no momento em que foi analisada.

Já as patentes encontradas referem-se a aparelhos que possuem como objetivo conscientizar o usuário dos seus gastos, por isso, são destinados aos ambientes de residências sem ter o foco em realizar um processamento do sinal e identificar anomalias ao longo do tempo. Sendo assim, este projeto tem uma funcionalidade diferente se comparado aos documentos pesquisados.

Em um primeiro instante, os resultados deste projeto foram satisfatórios, pois conseguimos obter, na parte analógica, o sinal com bastante eficiência. Por outro lado, ainda estamos com dificuldade com relação à parte digital. Para solucionar essa questão, será necessário “pegar” o sinal analógico para transformá-lo em digital, pois o sinal analógico possui infinitos pontos e, com a conversão do digital, terá que trabalhar com números finitos pelo fato do equipamento não conseguir registrar infinitos valores na memória.

A partir das comparações e dos resultados que obtivemos com o Estado da Arte, concluímos que o projeto está bem encaminhado. Entretanto, será preciso realizar o melhoramento da parte digital, para que, nos projetos futuros, a mensuração da corrente possa ser realizada por um tempo maior, para se ter não só o valor de consumo ao longo do tempo, uma aquisição de sinal, com uma taxa de amostragem maior e um sinal mais próximo ao real, mas também para que se possa realizar o processamento do sinal captado, para chegar a métodos de análise que consigam enxergar detalhes que o usuário não consegue perceber ao olhar para um gráfico.

## REFERÊNCIAS

- ALHURAYESS, S.; DARWISH, M. K.. Analysis of energy management in hospitals, **47th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)**, London, 2012, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2012.6398665>
- ANTUNES, H. A.; ROCHA, R. H.; FILHO, J. O.; SPINASSÉ, A.; CALENTE, A.. A aplicação da técnica de análise de corrente para detecção de barras quebradas nos motores de indução trifásicos na arcelormittal tubarão. In: **Pssoluções**. Itajubá, 2007. Disponível em: &lt;<https://www.pssolucoes.com.br/downloads/artigo-arcelormittall-barras-quebradas-abraman-09.pdf>&gt;. Acessado em: 30 de jun. de 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 50001, p.1-24, 2011.
- COSTA, C. M.; OLIVEIRA, L. E.; SOUZA, W. G.. Medição de grandezas elétricas com acesso remoto e em tempo real para estimação de consumo energético, **Jornal de engenharia, tecnologia e meio ambiente (JETMA)**, vol.1 , n.2, 2017, ISSN: 2526-060X
- DINIZ, B. R. A.; EVANGELISTA, A. A. ; ALEXANDRIA, A. R. . Projeto e desenvolvimento de um medidor digital de energia elétrica monofásico para aplicação residenciais, **Holos**, vol. 07, p. 55-68, Nov. 2017. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.5118>, ISSN 1807-1600.
- CHRISTIANSE, N.; KALTSCHMITT, M.; DZUKOWSKI, F.. Electrical energy consumption and utilization time analysis of hospital departments and large scale medical equipment, **Elsevier Science**, vol. 131, p. 172-183, Nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.023>
- ÇAKMAK, B.; YOL Ş.. Medical device energy consumption analysis, 2019 **Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)**, Izmir, Turkey, 2019, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO.2019.8895048>
- DUMS, J. F.. **Desenvolvimento de um sistema para medir potência ativa em equipamentos eletrocirúrgicos em tempo real**, 2017, 91 f. Dissertação (Doutorado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- ESMAEILI, M. A.; JAHROMI, A. S.; et al.. Hospital radiology department overhead energy estimation, **IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology**, Chicago, IL, 2011, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2011.5936896>
- FILHO, G. P. R.. **Um sistema de alerta para o monitoramento remoto do consumo de energia usando redes de sensores sem fio**, 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Carlos, 2014.
- FONTES, M. J. C.. **Automação de sensores de corrente elétrica**, 2013. 67 f. Dissertação (TCC). Centro Universitário de Brasília(UniCEUB), Brasília, 2013.
- FORTUNA, E. M.. “**Tomada elétrica inteligente com transmissão de dados**”, BR 102013015438-5 A2, jul. 30, 2015.

GOMES, C. H.; GOMES, C. C. M.; TAGLIARI, S.L.. **Sistema supervisorio para acompanhamento de consumo de energia elétrica residencial**, 2016. 66 f. Dissertação (TCC), Universidade tecnológica federal do Paraná, Curitiba, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v.3. 353 p.

HARA, E. C. P.. **Infraestrutura de aquisição de dados por redes de sensores sem fios e barramentos para monitoramento do consumo de energia elétrica**, 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

HUSSAIN, S.; IKRAM, M. J.; ARSHAD, N.; A low cost implementation of home area networks for home energy management systems, **IEEE Fourth International Conference on Big Data and Cloud Computing**, p. 688-695, Washington, United States, 2014. <https://doi.org/10.1109/BDCcloud.2014.58>

JUNG, L.. Impacto of air-filter condition on HVAC equipment, **Martin marietta**, 1ª Edição, Tennessee, 56 f., p. 19-25, 1987. <https://doi.org/10.2172/814094>

LI, Y. H.; Trainingless multi-objective evolutionary computing-based nonintrusive load monitoring: Part of smart-home energy management for demand-side management, **Journal of build engineering**, v.33, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101601>

NEPOMUCENO, L. X.. **Técnicas de manutenção preditiva – volume 2**, Blucher, 1ª Edição, São Paulo, 1989.

NOURDINE, B.; SAAD, A.; Energy consumption in hospitals, **4th International conference on electrical and information Technologies ICEIT'2020**, p. 1-6, Salé, Marrocos, 2020. <https://doi.org/10.1109/ICEIT48248.2020.9113177>

MALVINO, A. **Eletrônica Volume 2**. AMGH, 8a ed., Porto Alegre,, 2016, 1009 p.

MARCONDES, S. M. M.. “**Sistema de supervisão remota automática do uso de equipamentos**”, BR 102017023767-2 A2, jul. 4, 2019.

PEREA, M. T.; MORENO, G. J. R.; MIRANDA, A. C.; VÁZQUEZ, D. V.; SERRANO, R. V. C.; RUIZ, G. H.; Development of a real time energy monitoring platform user-friendly for buildings, **Procedia Technology** 7, v.7, p. 238-247, Apr., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.04.030>

PERTENCE JÚNIOR, Antonio. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos**. 6ª ed. São Paulo: Artmed. 299 p.

POLLARD, G.; WASHINGTON, R.. “**Sistema de monitoramento de energia doméstico sem fio**”, BR 112014010608-8 A2, abr. 25, 2017.

PROCEL, Manual de Tarifação da Energia Elétrica. **ELETROBRAS**, 2011. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa\\_files/te344%20aula%2009%20-%20manual%20de%20tarif%20en%20el%20-%20procel\\_epp%20-%20agosto-2011.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te344%20aula%2009%20-%20manual%20de%20tarif%20en%20el%20-%20procel_epp%20-%20agosto-2011.pdf)>. Acesso em: 30 de maio de 2021.

REYNDERS, J.; SPELIER, M.; MAES, N.; HAM, G. V.; MEERSSCHE, B. V., DECONINCK, G.; Practical use of energy management systems, **10th International Symposium on Ambient Intelligence and Embedded Systems**, Chania, Crete, 2011.

RUIZ, E.; PACHECO-TORRES, R.; CASILLAS, J.. Energy consumption modeling by machine learning from daily activity metering in a hospital, **22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**, Limassol, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/ETFA.2017.8247667. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2017.8247667>

SARIKPRUECK, P.; LUMYONG, P.; ATTAPHONG, C.; NGAMWATTHANASILPA, B.. Analyzing technique for electrical energy monitoring system in Thailand hospital, **2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)**, Milan, 2017, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977465>

SAWYER, R. L.; ANDERSON, J. M.; FOULKS, E. L.; TROXLER, J. O.; COX, R. W.. Creating low-cost energy-management systems for homes using non-intrusive energy monitoring devices, **IEEE Energy Conversion Congress and Exposition**, San Jose, CA, 2009, pp. 3239-3246. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2009.5316132>

SENA, G. E. O.. **Medidor de consumo de energia elétrica com acesso local e remoto usando plataforma ESP8266**, 2018. 113f. Dissertação (TCC), Universidade federal do Pampa, Alegrete, 2018.

SHEN, S.; ZHAO, K.; GE, J.; ZHOU, Q.. Analysis of building energy consumption in a hospital in the hot summer and cold winter area, **10th International Conference on Applied Energy**, Hong Kong, China, vol. 158, p. 3735-3740, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.883>

SILVA, I. A. D.. **sensor tensão-corrente inteligente com monitoramento e controle on-line por smartphone**, 2016. 52f. Dissertação (TCC), Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

THINATE, N.; WONGSAPAI, W.; DAMROGSAK, D.. Energy performance study in Thailand Hospital Building, **4th International Conference on Power and Energy Systems Engineering**, Berlim, Alemanha, vol. 141, p. 255-259, Dec. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.102>

## ANEXO A – RESULTADOS ENCONTRADOS NA BUSCA DE ARTIGOS E PATENTES

Tabela referente aos resultados encontrados de artigos e patentes pelos mecanismos de buscas disponíveis.

**Tabela 1 – Resultados encontrados na busca de artigos através dos mecanismos de busca**

Mecanismos de busca	Principais palavras-chaves	Quantidade de palavras-chaves	Quantidade de artigos encontrados	Leitura aprofundada	Efetividade
Annual Review	Energy consumption, medical equipment	25	131	0	0%
Biblioteca UFU	Rede inteligente, sistema de gestão de energia	15	230	0	0%
BDT	gerenciamento, hospital, detecção, preditiva	26	1454	9	0,61%
Capes	Acompanhamento de consumo elétrico	14	1597	2	0,12%
Google acadêmico	Equipamento, remoto, detecção	23	1158	18	1,55%
IEEE	Consumption energy, medical equipment, energy-management systems	10	631	11	1,74%
Pubmed	Smart grid, medical equipment	0	0	0	0%
Science Direct	Sensing, medical equipment, monitoring, maintenance, consumption	25	2144	15	0,7%
Scielo	Consumo de energia, remoto	8	6	0	0
<b>Total</b>		<b>146</b>	<b>7351</b>	<b>55</b>	<b>0,75%</b>

**Tabela 2 – Resultados encontrados na busca de patentes através dos mecanismos de busca**

Mecanismos de busca	Principais palavras-chaves	Quantidade de palavras-chaves	Quantidade de artigos encontrados	Leitura aprofundada	Efetividade
Google patentes	Avaliação, remoto, preditivo, power consumption, management, hospital	24	1162	1	0,08%
INPI	Consumo de energia, remoto	12	129	2	1,55%
EPO	Wattmeter, power management, plug	11	372	2	0,53%
ScienceDirect	Wattmeter, biomedical		36	0	0%
USPTO	Energy-management system, power consumption, hospital, medical		253	0	0%
JPO	Power management, medical equipment, wattmeter		136	0	0%
<b>Total</b>		<b>47</b>	<b>2088</b>	<b>5</b>	<b>0,23%</b>

## ANEXO B – RESULTADOS DOS ARTIGOS RELACIONADOS A CONSUMO DE ENERGIA

Tabela referente à análise de artigos encontrados sobre o consumo de energia.

**Tabela 3 – Artigos de consumo de energia**

Autor	Tipo de sensoramento e detalhes	Precisão do sensor	Porcentagem do consumo de energia dos equipamentos no hospital	Local	Invasivo ao equipamento?	Risco ao usuário?
ALHURAYESS (2012)	?	?	30%, 2%, 3,4%	Hospital na Arábia Saudita, Estados Unidos, Malásia	não	não
ÇAKMAK (2019)	?	?	38% o setor da radiologia dos 100% do consumo dos equipamentos médicos	Hospital na Turquia	?	?
CHRISTIANSE (2016)	Tensão, corrente, potência reativa e diferença de fase. Nome do produto: Chauvin Arnoux PEL 103	0,2% erro	?	Hospital na Alemanha	Não	Não
ESMAELI (2011)	?	?	?	Hospital nos Estados Unidos	?	?
RUIZ (2017)	?	?	?	Hospital da Espanha	?	?
SHEN (2019)	?	?	8%	Hospital na China	Não	Não
THINATE (2017)	?	?	32,17%	Hospital na Tailândia	Não	Não
<b>PREDOMINANCIA</b>	Chauvin Arnoux PEL 103	0,2%	Mediat: 26%	Estados Unidos	Não	Não

## ANEXO C – RESULTADOS DOS ARTIGOS RELACIONADOS À SENSORIAMENTO

Tabela referente à análise de artigos encontrados sobre o sensoriamento de dispositivos.

Tabela 4 – Artigos de sensoriamento

Autor	Tipo de sensoriamento	Detalhe do sensor	Informação dos sensores em relação a erro	Erro (potência)	Economia	Processamento	Implementação	Local	Custo	Invasivo ao equipamento?	Risco ao usuário?
COSTA (2017)	Sensor de corrente e tensão	Corrente: SCT-013 Tensão:?	Corrente: 3% Tensão: ?	?	Não medido	Arduino uno	Extensão( tomada)	Residência	?	Não	Sim (placa exposta)
DINIZ (2017)	Sensor de corrente e tensão	Corrente: ACS712-30 Tensão: Autor	Corrente: 1,5% Tensão: ?	5%	Não medido	PIC18	Quadro de distribuição	Residência	?	Não	Não
FILHO (2014)	Wattmetro	?	Não medido	Não medido	Não medido	Arduino Uno	Tomada	Residência	?	Não	Não
FONTES (2013)	Sensor de corrente e tensão	Corrente: SCT-013 Tensão: Autor	Corrente: 3% Tensão: ?	10%	Não medido	Arduino Uno	Poste de luz	Rua	R\$617,00/unidade	Não	Não
GOMES (2016)	Sensor de corrente e tensão	Corrente: SCT013-030 Tensão: Autor	Corrente: 0,16% Tensão: 0,19%	Não medido	Não medido	Arduino Mega	Quadro de distribuição	Residência	R\$203,10/unidade	Não	Sim (placa exposta)
HARA (2013)	Sensor de corrente	Efeito Hall	Não medido	Não medido	Não medido	PIC	Quadro de energia	Usina termoeletrica	?	Não	Não*
SARIKPRUECK (2017)*	Wattmetro	?	Não medido	Não medido	?	?	Distribuidor de energia	Hospital em Bangkok	?	Não*	Não*
SAWYER (2009)	Sensor de corrente	?	Não medido	Não medido	10-20% no ar condicionado	?	Gabinete de disjuntor	Residência	?	Não	Não
SENA (2018)	Sensor de corrente e tensão	Corrente e tensão: PZEM-004T	Corrente: 0,5% Tensão: 0,5%	?	Não medido	ESP8266	Somente bancada	Somente bancada	R\$160,90/unidade	Não	Sim (placa exposta)
SILVA (2016)	Sensor de corrente e tensão	Corrente: ACS712-20 Tensão: P8	Corrente: 1,5% Tensão: ?	Não medido	Não medido	Arduino uno	Tomada	Residência	R\$96,54/unidade	Não	Sim (placa exposta)
PEREIRA (2013)	Sensor de corrente e tensão	Transformador de corrente e tensão	?	1,54%	?	?	Tomada e iluminação	Universidade(salas)	?	Não	Não
REYNDERS (2011)	Sensor de corrente e tensão	PlugWise	?	5%	?	XAP2b	Tomada	Residência	€ 59,00 = R\$400,00	Não	Não
HUSSAIN (2014)	Sensor de corrente e tensão	?	?	1,49%	Não medido	MSP430F2274	Tomada	Residência	US\$30,00	Não	Não
LIN (2020)	Sensor de corrente e tensão	NI-9225	?	0,05%	Não medido	Computador	Tomada	Residência	\$2.090	Não	Não
PREDOMINANCIA	Sensor de corrente e tensão	Corrente: SCT013 Tensão: Autor	Corrente: 1,5 e 3% Tensão: 0,19 a 0,5%	5%	10-20% no ar condicionado	Arduino UNO	Tomada	Residência	R\$200	Não	Não

## ANEXO D – LINHA DE CÓDIGO CRIADO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DO ESP32

```
// referencia = https://techtutorialsx.com/2017/10/07/esp32-arduino-timer-interrupts/

volatile int interruptCounter;
hw_timer_t * timer = NULL;
portMUX_TYPE timerMux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;

void IRAM_ATTR onTimer() {
    portENTER_CRITICAL_ISR(&timerMux);
    interruptCounter++;
    portEXIT_CRITICAL_ISR(&timerMux);
}

int x = 0;
void setup() {

    pinMode(35, INPUT);

    Serial.begin(115200);

    timer = timerBegin(0, 80, true); // clock do timer. 80Mhz/80 = 1MHz de clock
    timerAttachInterrupt(timer, &onTimer, true);
    timerAlarmWrite(timer, 1000, true); // o tempo que sera acionado em microsegundos por
    // causa do timerbegin // 4000 = 250Hz de frequencia de aquisicao 1428 = 700hz
    timerAlarmEnable(timer);
}

void loop() {

    if (interruptCounter > 0) {
```

```
portENTER_CRITICAL(&timerMux);
interruptCounter--;
portEXIT_CRITICAL(&timerMux);

// x = analogRead(35);
//x = x * 0.0008058608; // conversor de bit para tensão
//x = x * 0.008058608; // conversor para CORRENTE

Serial.println(analogRead(35));

}

}
```

## ANEXO E – LINHA DE CÓDIGO CRIADO PARA PROJETAR OS PONTOS PELO COMPUTADOR

```
clc;
clear;
close all;

% o nivel DC é 1816(media do sinal). entao subtrai do sinal. lembre que o trimpot nao pode
% ser mudado de posicao se nao tem que desconsiderar esse numero

%x = importdata('teste.xlsx');
x = importdata('micromotor de bancada teste osci.xlsx');
tensao = 220;

tamanho = size(x.data); % quantidade de valores
dado = zeros(tamanho(1),2);% cria o vetor que ficara o sinal e tempo
tempo = 0.001;
timevector = zeros(1,tamanho(1));

for i=1:tamanho(1) % criando o tempo
    timevector(i) = i*tempo;
    %dataVetor(i) = dataVetor(i);
end

for i=1:tamanho(1) % colocando o tempo e o sinal no vetor "dado"

    dado(i,1) = timevector(i);
    %dado(i,1) = x{i,1};
```

```
dado(i,2) = (x.data(i));  
%%dado(i,2) = str2double(x.data(i));  
end  
  
dado(:,2) = dado(:,2)*0.008058608/2; % convertendo bit pra corrente  
%dado(:,2) = dado(:,2) - 6.13; % tirando o nivel DC  
dado(:,2) = dado(:,2) - median(dado(:,2));  
%%plot(dado(:,1),dado(:,2));  
  
%CALCULO DA POTENCIA  
corrente_RMS = rms(dado(:,2));  
potencia = (corrente_RMS) * tensao; % potencia é o rms da corrente vezes a tensão de  
alimentação
```