

CENTRO PAULA SOUZA

FATEC SANTO ANDRÉ

EDUARDO DA SILVA AMARAL

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA

MARCUS EDUARDO OLIVEIRA SANTANA

GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL

SANTO ANDRÉ

2019

EDUARDO DA SILVA AMARAL
GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA
MARCUS EDUARDO OLIVEIRA SANTANA

GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Fatec Santo André
como requisito parcial para obtenção
do título de Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial.
Orientador: Prof. Me. Murilo Zanini
de Carvalho.

SANTO ANDRÉ

2019

Ficha catalográfica

A485g

Amaral, Eduardo da Silva

Gerenciamento de consumo de energia elétrica residencial / Eduardo da Silva Amaral, Gustavo Henrique de Oliveira, Marcus Eduardo Oliveira Santana. - Santo André, 2019. 103f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2019.

Orientador: Prof. Me. Murilo Zanini de Carvalho

1. Mecatrônica. 2. Redes de energia elétrica. 3. Sistemas eletrônicos. 4. Rede WI-FI. 5. Banco de dados. 6. Medidores de consumo de energia. 7. Software. 8. Controlador lógico. I. Oliveira, Gustavo Henrique de. II. Santana, Marcus Eduardo Oliveira. III. Gerenciamento de consumo de energia elétrica residencial.

005.13

Folha de aprovação



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 18 de Junho de 2019

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
"GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:
PROF. MURILO ZANINI DE CARVALHO

MEMBROS:
TECNÓLOGO ÁLVARO CESAR GARCIA

PROF. FERNANDO GARUP DALBO

ALUNOS :

EDUARDO DA SILVA AMARAL

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA

MARCUS EDUARDO OLIVEIRA SANTANA

Agradecimento

A esta faculdade, corpo docente, direção e administração que possibilitaram uma oportunidade no ensino superior de qualidade.

O orientador Prof. Me. Murilo Zanini de Carvalho, pelo suporte, correções e incentivo.

O professor Fernando Garup Dalbo pelo suporte na produção desse documento e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de nossa formação, obrigado.

Ao auxiliar docente Mauricio Oliveira pelo suporte na produção da parte física do projeto.

Resumo

Medidores de consumo inteligentes são uma forma de trazer a capacidade de comunicação e o fornecimento de dados do consumo energético de forma instantânea para o consumidor. Essa inovação permite melhorar a qualidade do serviço fornecido para ele, pois possibilita que a distribuidora de energia elétrica possa trabalhar com uma entrega personalizada para cada cliente, além de atuar imediatamente quando alguma falha de distribuição ocorrer. Com os dados disponíveis, técnicas mais avançadas de monitoramento podem ser utilizadas para determinar quais são os comportamentos do usuário que mais impactam em seu consumo energético. A principal contribuição do trabalho foi a construção do sistema de coleta de dados e posterior armazenamento em uma nuvem. As principais características do protótipo e suas limitações são apresentadas ao longo do trabalho junto dos principais resultados obtidos

Palavras chaves: Redes de energia elétrica, eletrônica, redes WI-FI, banco de dados, medidor de energia inteligente.

Abstract

Intelligent consumption meters are a way of bringing the power of communication and the supply of energy consumption data instantly to the consumer. This innovation allows to improve the quality of the service provided, since it allows the electric power distributor to work with a customized delivery for each customer, and to act immediately when some distribution failure occurs. With the data available, more advanced monitoring techniques can be used to determine which user behaviors most impact on their energy consumption. The main contribution of the work was the construction of the system of data collection and later storage in a cloud. The main characteristics of the prototype and its limitations are presented along the work, plus, the main results obtained.

Keywords: Electrical power networks, electronics, WI-FI networks, database, intelligent energy meter

Lista de ilustrações

Figura 1. Medidor de energia de ponteiro	20
Figura 2.Registrador do medidor tipo ponteiro	23
Figura 3.Medidor de energia ciclométrico	24
Figura 4. Medidor de energia digital	24
Figura 5. Esquema da entrada adc no esp32	32
Figura 6.Circuito equivalente seguidor de tensão.....	32
Figura 7.Divisor de tensão.....	33
Figura 8.Esquema elétrico da fonte usado neste trabalho.....	36
Figura 9.Entrada do sinal no amplificador	39
Figura 10.Fonte para o amplificador operacional.....	40
Figura 11.Fonte para o amplificador operacional.....	41
Figura 12.Sensor de corrente	46
Figura 13.Esquema simplificado.....	46
Figura 14. Sensor aberto	47
Figura 15.Resistor em paralelo.....	48
Figura 16. Circuito de offset.....	48
Figura 17. Circuito Completo	49
Figura 18. Trilha do circuito impresso.....	50
Figura 19. Transferência térmica	51
Figura 20. Corrosão com percloro de ferro	51
Figura 21.Placa pronta	52
Figura 22.Montagem provisória para testes	53
Figura 23.Sistema de alimentação com backup	54
Figura 24.Plataforma NodeMcu-32S	55
Figura 25.Arquitetura	61
Figura 26.Acesso ao servidor	62
Figura 26.Acesso do Arduino ao banco de dados	63
Figura 27.medição tensão do medidor	64
Figura 28.Digitando credito.....	65
Figura 29.Fornecimento estabelecido.....	66
Figura 30.Diagrama conexões do site	67

Figura 31.página inicial.....	68
Figura 32. Menu pré-pago	68
Figura 33. Menu pós-pago.....	69
Figura 34. Menu O&M	70
Figura 35. Contatos	71
Figura 36. tela acesso pré-pago	72
Figura 37. Tela de acesso O&M	73
Figura 38.Tela de acesso O&M pós-pago	74
Figura 39. Tela de acesso O&M fornecedores	75
Figura 40.Diagrama de conexões.....	76

Lista de Quadros

Quadro 1. Tensão padronizada igual ou inferior a 1KV	43
Quadro 2.Tensão não padronizada igual ou inferior a 1KV	43
Quadro 3 .Características ESP266 vs. ESP32	56
Quadro 4 . Estrutura da tabela Controle pré-pago.....	77
Quadro 5. Estrutura da tabela Fornecedor	78
Quadro 6.Estrutura da tabela o&m	79
Quadro 7.Estrutura da tabela pre	80

Lista de siglas e abreviaturas

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AES	Advanced Encryption Standard
CA	Computer Associates
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COBOL	Common Business Oriented Language
CODASYL	Conference On Data Systems Languages
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CSS	Cascading Style Sheets
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IDMS	Integrated Database Management System
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMS	Information Management System da IBM Corp
JS	Javascript
LAN	Local Area Network
LDL	Logic Data Language
MME	Ministério de Minas e Energia
RMS	Root mean square
PHP	Personal Home Page
SGBD	Sistema gerenciador de banco de dados
SQL	Structured Query Language
PC	Personal computer
PDO	PHP Data Objects
CLP	Power Line Communication
PROLOG	PROgrammation en LOGique
Procon	Programa de Proteção e Defesa do Consumidor
WAN	Wide Area Network
WAP	Wireless Application Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPS	Wi-Fi Protected Setup

Lista de Equações

Equação 1. Potência de uma carga.....	19
Equação 2. Constante de disco	21
Equação 3. Rotação por minuto	21
Equação 4. Integral da potência	21
Equação 5. Rpm em relação a integral da potência	22
Equação 6. Velocidade angular	22
Equação 7. Lei de Ohm	33
Equação 8. Corrente total.....	34
Equação 9. Corrente no resistor	34
Equação 10. Igualdade da corrente em R2 em relação a corrente total.....	34
Equação 11. Divisor de tensão para R2	34
Equação 12. Divisor de tensão para R1	35
Equação 13. Tensão de pico	36
Equação 14. Corrente no diodo	37
Equação 15. Capacitância	37
Equação 16. Tensão de referência.....	38
Equação 17. Resistor zener	40
Equação 18. Constante de conversão.....	44
Equação 19. Resolução do adc.....	44
Equação 20. Calculo da tensão no microcontrolador	45
Equação 21. Resistência	47
Equação 22. Valor de calibração	49
Equação 23. Potência rms.....	49

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Motivação	15
1.2.	Objetivos	16
1.3.	Estrutura do trabalho	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.	Energia elétrica no Brasil	17
2.2.	Perdas de Energias	18
2.3.	Redes de energia elétrica	18
2.4.	Leitura da energia consumida	19
2.4.1.	Medidor de energia de ponteiros	20
2.4.2.	Medidor de energia ciclométrico	23
2.4.3.	Medidor de energia digital	24
2.5.	Energia Pré-Paga	25
2.6.	Sistemas pré-pagos no Brasil	27
2.7.	Vantagens e Desvantagens do sistema pré-pago	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1.	Leitura de tensão	31
3.1.1.	Desenvolvimento do circuito de leitura de tensão	33
3.1.2.	Tratamento do sinal de tensão	42
3.1.3.	Leitura de Corrente	46
3.2.	Hardware	50
3.2.1.	Sistema de alimentação do microcontrolador	53
3.2.2.	NodeMcu-32	55
3.2.3.	Wi-fi	56
3.2.4.	Acesso local via Bluetooth	57
3.3.	Software	57

3.3.1. Programação	57
3.3.2. Banco de dados MYSQL	57
3.3.3. ThingSpeak	58
3.3.4. PHP	59
3.3.5. HTML	59
3.3.6. Implementação servidor WEB	60
3.3.7. Apresentação da ferramenta WEB	61
3.3.8. Plataforma IOT	62
4. RESULTADOS	64
4.1. Hardware	64
4.1.1. Testes de placa e conexão.	64
4.2. Software	66
4.2.1. Back-End	75
4.2.2. PHP/Mysql	77
5. CONCLUSÃO	81
6. BIBLIOGRAFIA	82
7. APÊNDICE	87

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se de importância ímpar em nossas vidas e, por se tratar de uma energia altamente versátil, foi sendo inserida gradativamente no cotidiano popular. Atualmente estamos constantemente em contato com esta energia, pois sempre utilizamos de algum dispositivo eletrônico alimentado por eletricidade.

Existem diversas formas de geração e distribuição de energia elétrica, sendo esta última essencial no funcionamento desde pequenas estruturas e residências até cidades inteiras. Sendo assim, as empresas distribuidoras assumem uma grande importância para a manutenção da rotina em todos os setores da sociedade, todavia os sistemas de distribuição atuais são compostos por estruturas que permanecem expostas a condições climáticas, estando sensíveis a adversidades naturais como ventanias, chuvas, bem como fenômenos naturais mais extremos, tornando-se os elementos mais frágeis do sistema.

As deficiências atuais de infraestrutura expõem uma gama de oportunidades para atuar no monitoramento das redes de distribuição, desde a qualidade da energia entregue até a forma como a manutenção pode ser prestada quando alguma falha acontece. As inovações apresentadas pela nova revolução industrial, a indústria 4.0, tornaram possíveis visualizar sistemas de troca de dados e permitindo que informações importantes, as quais levariam semanas para ser coletadas, possam ficar disponíveis quando são geradas.

O desafio de implantação de um sistema em tempo real ainda é grande, mas o controle bidirecional dos dados favorece tanto consumidores finais, que recebem o benefício de gerir conscientemente seus gastos quanto para as empresas distribuidoras, que a partir de dados atualizados em tempo real poderiam fazer um planejamento mais adequado de sua rede.

1.1. Motivação

Diante das possibilidades apresentadas, ficou claro que as novas tecnologias de comunicação, como a Internet das Coisas, Computação em Nuvem e Aprendizado de Máquina podem ser utilizadas dentro do cenário de consumo e medição de energia

elétrica.

O consumidor residencial surgiu como o cliente que não tem essas informações a todo instante, precisando utilizar os dados mensais globais para tentar determinar quais ações ele poderia tomar para melhorar a forma de como o consumo de energia elétrica ocorre em sua residência.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é construir um medidor de consumo de energia elétrica monofásico residencial, com opção de pré ou pós pagamento. Esse dispositivo transmite os dados para uma plataforma na nuvem onde através de um banco de dados a concessionária conseguira obter informações como consumo e desvio de energia e fraude no medidor, e o cliente podendo monitorar o seu consumo em tempo real da casa.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em Fundamentação Teórica, Metodologia, Desenvolvimento, Resultados e Discussão, Considerações Finais e Trabalhos Futuros. No capítulo da fundamentação teórica, foi utilizado as principais referências do tema gerenciamento de consumo de energia elétrica residencial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste capítulo, os principais trabalhos relacionados a medidores de energia, troca de informações com internet das coisas, consumo inteligente e medidores bi-direcionais foram consultados.

2.1. Energia elétrica no Brasil

A energia elétrica é fundamental para o progresso de um país, sendo a qualidade e a capacidade das fontes de energia de uma determinada região os indicativos para avaliar o seu grau de desenvolvimento local. Seguindo o padrão de todos os países desenvolvidos e emergentes, o Brasil tem se tornado uma nação paulatinamente mais dependente de energia elétrica, por conta de sua alta versatilidade e capacidade de conversão em luz e calor, e com a tendência de redução de uso de energias provenientes de combustíveis fósseis e biocombustíveis que provocam um impacto socioambiental maior que a eletricidade.

Segundo Iguazu Energia (2018), o Brasil apresenta 560 usinas e subestações e 1079 linhas. Segundo Correia (2018), a fonte de geração de energia dominante no Brasil são as usinas hidrelétricas, responsáveis pela produção de 62% da energia consumida no país. Uma usina hidrelétrica funciona captando energia pelo aproveitamento de energia potencial que existe em um rio ou mar, ou seja, a força corrente da água induz a movimentação da turbina gerando energia cinética, a partir da energia potencial, em seguida um gerador transforma a energia cinética em elétrica.

Segundo Itaipu Binacional (2018), uma das maiores responsáveis de captação de energia com as hidrelétricas no país é a usina de Itaipu localizada no rio Paraná que faz fronteira com o Paraguai, foi erguida na época de 1975 a 1982.

2.2. Perdas de Energias

Segundo ANEEL (2018), para que a eletricidade esteja disponível ao consumidor final, é necessárias três etapas: geração, transmissão e distribuição. Durante a geração, uma corrente alternada em forma de onda senoidal com amplitude variável é produzida, em seguida é realizada a transmissão, ou seja, o transporte desta energia para próximo das residências e por fim é feita a distribuição para o consumidor. Este sistema funciona por meio de cabos aéreos e geralmente percorre grandes distâncias, o que inevitavelmente resulta em perdas técnicas, associadas pela forma de transmissão como exemplo das perdas por aquecimento (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores e perdas dielétricas.

Além de perdas técnicas, existem perdas não técnicas, resultantes da diferença entre perdas totais e perdas técnicas. Estas perdas estão relacionadas a fraudes, furtos, erros na hora de leitura e digitação dos dados.

2.3. Redes de energia elétrica

O transporte da energia elétrica gerada nas usinas é realizado por um meio físico. Os cabos aéreos que recebem um tratamento para que suporte as tensões a longo prazo. Este tratamento consiste em envolver os cabos com uma estrutura de vidro e porcelana (ABRADEE, 2018) diminuindo descargas elétricas durante o percurso, isto reduz o risco de perdas técnicas bem como de acidentes. Os cabos aéreos são fixados em altas torres, denominadas rede de transmissão, utilizando-se de altas tensões até os locais de distribuição que levará esta energia aos consumidores finais em baixas tensões.

Linhas de transmissão são constituídas por altas torres metálicas com a finalidade de suspender e sustentar os cabos aéreos metálicos para garantir uma excelente condução da eletricidade. Em geral, possuem três conjuntos de cabos de cada lado, complementando por um cabo mais elevado que é chamado de cabo guarda, com função de para-raios. Possuem grande extensão, conectando as usinas às distribuidoras e grandes indústrias; no país são classificadas conforme sua demanda.

Segundo ABRADÉE (2018) as possíveis demandas são:-

A1 – tensão de 230 kV ou superior;

A2 – tensão de 88 kV a 138 kV;

A3 – tensão de 69 kV.

2.4. Leitura da energia consumida

Segundo Punaro Bley (2018), o consumo da potência ativa (KW) em um intervalo de tempo, tem o seu valor expresso em quilowatt-hora (KWh), este valor tem como base o produto da somatória das potências ativas, o produto entre tensão e corrente eficazes, multiplicado pelo período de utilização (equação 1), seja para uma residência, comércio ou indústria.

$$KWh = \sum_{T=1}^{\infty} v(t) * i(t) \quad \begin{array}{l} \text{Equação 1.} \\ \text{Potência de uma carga} \end{array}$$

Sendo:

KWh: potência ou energia de uma carga

v: tensão

i: corrente

t: tempo ou período

Segundo Pagliccio (2018), para a medida da potência de consumidores do GRUPO B (baixa tensão) e seus subgrupos, é utilizado medidores de potência específicos, sendo realizadas as leituras do mês pelos técnicos das distribuidoras. Atualmente são utilizados três tipos de medidores de energia:

- de ponteiros;
- ciclométrico;
- digital.

2.4.1. Medidor de energia de ponteiros

Segundo a concessionária de energia Light, esse tipo de medidor ainda é usado em algumas residências, é um dos modelos mais antigos com instalações residenciais com mais de 20 anos. Composto por uma bobina pela qual passa toda corrente elétrica da residência, gerando um campo magnético que mobiliza seu disco, movendo uma relação de engrenagens ao eixo do disco e por fim, movendo os ponteiros.

Conforme a figura 1, o sentido de leitura é dado da direita para a esquerda, porém o primeiro e segundo marcadores estão em sentido anti-horário, promovendo uma leitura confusa e mais propensa a erros.

Figura 1. Medidor de energia de ponteiro



Fonte. vidadeleiturista.blogspot.com/2016/03/?m=1

Segundo Punaro Bley(2018), as principais partes que constituem este tipo de medidor são:

- Disco: Uma estrutura metálica circular que permanece girando, onde existe uma relação de potência consumida com o número de rotações do disco, denominada constante Kd (constante de disco), que deve estar em lugar visível (conforme a NBR 8733/1995; pg5).

A constante é verificada por meio de um medidor padrão, seguindo a equação 2.

$$Kd = \frac{P * T}{3600 * N}$$

Equação 2.
Constante de disco

Sabendo que:

Kd: constante de disco

P: potência

T: tempo

N: rotação por minuto

Para garantir essa proporção, o número de rotações do disco deve ser diretamente proporcional a energia consumida, conforme a equação 3.

$$N = Ke * W$$

Equação 3.
Rotação por minuto

Sendo:

Ke: constante do medidor da concessionária dada por KW/pulsos

W: potência ativa, medida em watts (W)

N: rotações por minuto (RPM)

A sua velocidade angular para cada instante de consumo, pode ser obtida através da equação 4, que é a integral em relação ao tempo da potência:

$$E = \int_0^t W(t) dt$$

Equação 4.
Integral da potência

Onde:

E : energia consumida no tempo

t : tempo ou período

Substituindo na equação 3, logo temos:

$$N = Ke \int_0^t W(t) dt$$

Equação 5.
Rpm em relação a integral
da potência

Por último derivando N em relação a t (tempo):

$$\omega = \frac{dN}{dt} = \frac{d}{dt} [Ke \int_0^t W(t) dt]$$

Portanto, temos obtemos a equação 6:

$$\omega = Ke * W(t)$$

Equação 6.
Velocidade angular

Conclui-se pela equação 6 que a velocidade angular é proporcional à potência consumida.

- Registrador: Componente que mostra a leitura da energia consumida (figura 2) em um intervalo de tempo, nesse tipo de medidor de energia também pode ser chamado de mostrador.

Figura 2.Registrador do medidor tipo ponteiro



Fonte .PDF informativo leitura de consumo de energia elétrica AES Eletropaulo

A figura 2 mostra o valor que corresponde: 6 milhares, 3 centenas, 4 dezenas, 2 unidades.

- Elemento sensor de corrente: Parte onde será medida a corrente elétrica do cliente, nesse caso uma bobina para gerar o campo magnético e fazer o disco girar.
- Tampa: proteção para os circuitos internos, além de dificultar adulterações. A tampa é fechada com um lacre, que pode ser de metal ou policarbonato.

2.4.2. Medidor de energia ciclométrico

Atualmente o mais usado nas residências, esse medidor segue o mesmo princípio de funcionamento do medidor tipo ponteiro, como mostra a figura 3 a diferença no seu mostrador, e na relação de engrenagens acopladas ao eixo do disco, fazendo com que seja mostrado o valor de energia integrado ao período corrente, isto o torna de fácil leitura.

Figura 3. Medidor de energia ciclométrico



Fonte: <https://www.assimquefaz.com/como-ler-o-medidor-de-luz/>.

2.4.3. Medidor de energia digital

A figura 4 mostra o medidor de energia elétrica digital possui o mesmo princípio de funcionamento, uma bobina eletromagnética para a realização de sua leitura, a diferença está no relógio digital, como mostrado na figura 4 que facilita a leitura, que pode ser obtida por meio de interfaces ou até mesmo de forma remota.

Figura 4. Medidor de energia digital



Fonte: <https://fastseg.blogspot.com/2015/11/como-funciona-o-relogio-medidor-de-energia-eletrica.html>

2.5. Energia Pré-Paga

A cada ano, o mundo busca mais inovações e facilidades em áreas de utilidade pública como o abastecimento de água, de gás e energia elétrica. Neste contexto, o setor de energia elétrica tem sido bastante explorado, recebendo investimentos continuamente para melhoria da qualidade, desde a geração até a distribuição, com melhores tecnologias para auxiliar na eficiência energética com máximo de retorno financeiro, fazendo despontar o setor elétrico como preferencial dos investidores globais (epocanegocios,2018).

Ao redor do mundo, já existem algumas experiências bem-sucedidas com o investimento de tecnologias para um melhor gerenciamento das perdas no sistema de energia elétrica (técnicas e não técnicas), sendo os sistemas de pré-pagamento do consumo de energia uma das que afetam diretamente os consumidores finais. Tal sistema de pré-pagamento de energia, destina-se principalmente a pessoas de baixa renda, visando a redução da inadimplência por permitir melhor controle de gastos com energia e assim, incentivando o consumo consciente, o que pode vir a reduzir as perdas técnicas nas redes, principalmente em horários de pico.

- África do Sul: Os consumidores pagam pela energia por meio de cartões pré-pagos, semelhantes aos de telefonia móvel para adquirir créditos. As empresas paraestatais como a distribuidora de energia Eskom, implantaram este sistema em meados dos anos 90, utilizando tokens criptografados. Mais tarde, outras ideias também foram implementadas, como cartões inteligentes e teclados para entrada do código dos cartões pré-pagos de créditos. Investindo juntamente com energias renováveis, a África do Sul instalou placas fotovoltaicas domiciliares, que para ter energia elétrica o consumidor insere um cartão magnético na forma de pré-pagamento (CANAES,2006);
- Inglaterra: É pioneira em sistemas de pré-pagamento, desde os anos 80, já possuíam um sistema pré-pago para abastecimento de gás, usando moedas, semelhante aos antigos telefones públicos, mais tarde

foram substituídos por *tokens*, chaves e cartões. De acordo com o relatório trimestral da Ofgem (2009), na metade do ano de 2008 contabilizou-se 3,7 milhões de consumidores no sistema pré-pago (CANAES,2006);

- Irlanda do Norte: Desde o ano 2000, a NIE (principal companhia de energia elétrica da Irlanda do Norte), tem utilizado um medidor pré-pago com um teclado numérico, para inserir um código de 16 dígitos para liberação dos créditos, semelhante aos celulares pré-pagos. Esse sistema permite ainda que o cliente coloque créditos por meio da internet ou pelo celular, e devido a uma imposição do órgão regulador da Irlanda do Norte, os consumidores não podem ser desconectados da rede entre 16:00 e 8:00 horas se estiverem sem créditos, o que dá uma maior confiança e segurança aos consumidores para aderir ao sistema pré-pago (CANAES,2006);
- Argentina: País que utiliza um medidor semelhante ao da Irlanda do Norte, com teclado para inserir um código de 20 dígitos para liberar a energia elétrica ao consumidor, sendo que ele precisa ir até um estabelecimento credenciado para fazer a recarga (CANAES,2006);
- Belgina: Na região de Flanders, os consumidores recebem um subsídio de 100 kwh/ano do governo, ficando a critério dos consumidores recargas dos valores excedentes em departamentos do governo. Os países que aderiram pela disponibilização do sistema de pré-pagamento de energia como opção para demanda de consumo, obtiveram um nível bom de satisfação por parte dos consumidores, mesmo havendo problemas técnicos, como cortes inesperados ou demora na liberação de energia. Os governos junto aos órgãos responsáveis de cada país continuam a investir em tecnologia e automação, principalmente em redes de comunicação de dados dos medidores inteligentes, para melhor atendimento aos consumidores e evitar qualquer problema (CANAES,2006).

2.6. Sistemas pré-pagos no Brasil

O sistema de pré-pagamento e pós-pagamento eletrônico entrou em discussão entre 2012 e 2014, por meio de manifestações e contribuições de entidades não governamentais como a Proteste, Indec, Fundação PROCON-SP. Em 01/04/2014 a diretoria da ANEEL aprovou a resolução do sistema pré-pago e pós-pago eletrônico (ANEEL,2014). A adesão ao sistema pré-pago é opcional, ou seja, o consumidor pode escolher por manter sua conta por fatura ou escolher uma das modalidades por meio dos medidores eletrônicos, de acordo com a disponibilidade das distribuidoras.

No Brasil, houve um avanço inicial a partir do ano de 2005, por meio da resolução nº 391, de 22 dezembro, no qual a ANEEL, em caráter experimental, a implantação do sistema de faturamento pré-pago a concessionária AMPLA – Energia e Serviços S.A. (atual Enel Distribuição Rio), em sua área de concessão. A concessionária AMPLA acabou abandonando depois de quatro anos do projeto, segundo entrevista dada ao site da ogoblo.com, falta um sistema de tarifa específica, regras gerais para o gerenciamento de energia no cliente, o que ocasionou processos judiciais devido a inadimplência, e uma tarifa que oferecesse vantagem ao pagamento adiantado.

O estado do Amazonas foi o primeiro a conseguir autorização para o comércio de energia pré-paga, com as comunidades locais usando pequenas usinas fotovoltaicas, e com o gerenciamento feito pela Eletrobrás. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, o sistema funciona com o cliente que adquire um cartão com um código impresso, podendo ser vendido em qualquer comércio, que dá direito a 30 KWh por R\$ 5,70. O consumidor digita o código, que vem impresso no cartão, no medidor residencial e passa a consumir aquela quantidade de energia contratada.

No estado do Pará, a concessionária Celpa, no final ano de 2011, recebeu autorização da ANEEL para instalação como projeto piloto para 11 comunidades, num total de 220 unidades consumidoras atendidas por meio de mini-usinas de geração fotovoltaica. Por algum motivo não definido, o projeto foi descontinuado.

No Paraná, por meio de uma associação com a empresa fabricante de medidores de energia pré-pagos Lndis+Gyr, a concessionária COPEL, em 2010, se propôs a fazer testes com os medidores pré-pagos. De acordo com a concessionária COPEL, foi realizado um breve estudo das cargas de cada instalação, para estimar a

média mensal e a quantidade de energia permitida. A concessionária começou um grande investimento ao longo do processo, começando pela automação de rede e de subestações, tendo um investimento elevado de aproximadamente 20 milhões de reais.

Percebe-se que o Brasil ainda tem um movimento em direção a energia pré-paga, pois apesar de alguns planos pilotos terem falhado, houve experiências positivas com os projetos que foram continuados, com excelente retorno, como o caso da Copel, no Paraná, ou da Eletrobrás no Amazonas. Mas, mesmo tendo uma boa perspectiva, ainda existe burocracia de regras mais específicas para o controle da energia consumida e, também casos com a segurança dos direitos do consumidor que estão sendo avaliados desde o início das pesquisas. Entretanto, os medidores de energia estão tendo ótimas respostas em campo, cumprindo com a função como deveriam e ajudando a vida de quem consome e de quem distribui.

2.7. Vantagens e Desvantagens do sistema pré-pago

Segundo Ofgem (2008), pressupõe-se que quaisquer sistemas venham trazer vantagens e desvantagens, tanto para o consumidor final, quanto por quem está oferecendo o serviço, os sistemas de pré-pagamento também seguem essa regra. A seguir será apresentado as vantagens e desvantagens de um sistema pré-pago para consumo de energia elétrica. Como o conceito de pré-pagamento é igual para todo e qualquer sistema, temos algumas vantagens e desvantagens em comuns com as outras áreas, onde o sistema é aplicado como a telefonia móvel ou sistemas de abastecimento de água.

As vantagens apresentadas podem ser aplicadas em qualquer conceito de pré-pagamento, como o de telefonia móvel ou de água, tanto para as empresas que prestam o serviço como para os consumidores.

- Dispensa o compromisso de pagamento de boletos ou débito automático;
- Maior facilidade na detecção de desperdício de energia, pois o usuário poderá a todo instante verificar o consumo de energia através do medidor;
- Redução das fraudes, também devido ao controle do medidor;
- Controle diário, pelo usuário, da quantidade de energia consumida e quanto ainda tem para utilizar, possibilitando melhor planejamento do uso;
- Compra de energia conforme a disponibilidade financeira, sem excessos;
- Eliminação da leitura presencial e impressão de contas, conseqüentemente, eliminando erros que causam transtornos aos usuários;
- Redução da inadimplência.
- Aumento dos cortes, devido à falta de condições financeiras para o pagamento antecipado;
- Uso de recarga várias vezes, devida a falta de controle do consumo;
- Aumento da exclusão dos que não tem acesso à energia elétrica;
- Diminuição dos postos de trabalho, pois haverá eliminação da leitura e impressão de contas.

Segundo Jeitto (2018), considerando as concessionárias, espera-se uma diminuição de custos de operação como o técnico que vai realizar a leitura, a redução

de inadimplência, erros de leitura, cortes indevidos e religação fora do prazo. Mesmo com essas vantagens, ainda tem os gastos com o custo de implantação do sistema, e processos judiciais em relação ao corte de energia, devido à falta de uma legislação mais clara e definida.

Por outro lado, o consumidor terá uma certa liberdade tanto para o controle do seu gasto com o quanto ele quer pagar naquele período, facilidade de pagamento sem precisar sair de casa. Ao mesmo tempo que, atualmente no Brasil, não ter uma legislação definida sobre o sistema pré-pagamento de energia, o consumidor fica à mercê das concessionárias, e a falta de condições para pagamento dos créditos podem complicar a situação do consumidor. Sendo assim, o consumidor decidirá qual o melhor sistema para ele, pois devido a diversas condições financeiras e culturais do país, ainda não há um método que somente dê vantagens para todos, sempre em algum lugar haverá uma perda e outro lado um ganho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um sistema de gerenciamento de consumo de energia elétrica residencial. Inicialmente será desenvolvido um protótipo com sensores para demonstração do sistema. Para produção do protótipo foram utilizados NodeMcu esp-32 do fabricante Espressif, juntamente com o sensor SCT-013 que faz a medição da corrente e um circuito de controle.

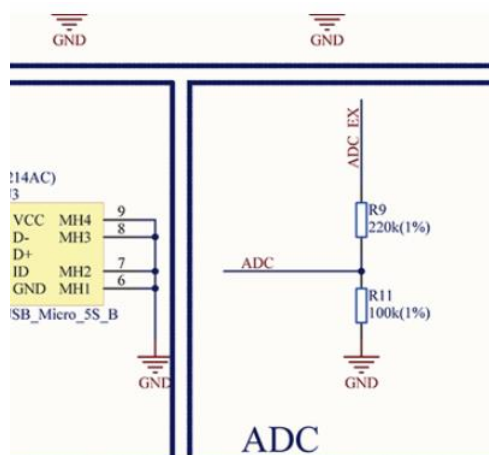
O projeto está dividido em medição e transporte de dados, com o Sensor SCT-013 do fabricante YHDC, onde mediremos a corrente seguido de um cálculo a partir da tensão da concessionária (127 volts), dependendo da configuração do sistema que pode ser tanto pré-pago como pós-pago, será calculado o consumo ou desconto do crédito do usuário. Em seguida, os dados foram enviados por wi-fi para um controlador, e ele enviará para a plataforma de banco de dados, assim o usuário pode ter acesso aos dados de consumo.

3.1. Leitura de tensão

Amplificadores operacionais são circuitos integrados que contém uma impedância muito alta na sua entrada e uma impedância muito baixa na saída, amplificam um sinal de tensão com um ganho muito alto de acordo com sua configuração (sendo esse ganho milhares de dezenas ou centenas), com o objetivo conseguir excitar algum circuito com um certo nível de tensão na sua saída.

Para este projeto será utilizado a configuração em malha fechada com realimentação negativa, na sua aplicação de seguidor unitário e como o amplificador é um elemento ativo, nos causará uma mínima atenuação no sinal de saída, pois a sua saída não dependerá só da alimentação de suas entradas, ao contrário dos circuitos passivos que causam quedas de tensão com a interação das etapas seguintes dos circuitos, como mostra a figura 5, o ADC do esp32.

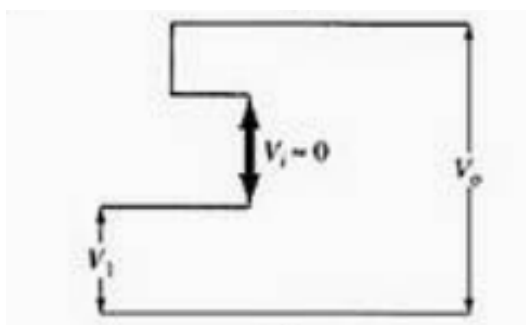
Figura 5. Esquema da entrada adc no esp32



fonte.<https://www.filipeflop.com/blog/trabalhando-sinais-analogicos-no-nodemcu-esp8266/>

O seguidor de tensão é um circuito que possui um ganho unitário, portanto temos $V_o = V_i$, com uma saída sem inversão de polaridade, logo um sinal de 3.2V, usado para este projeto, pode ser facilmente monitorado na sua entrada inversora. A figura 6 mostra o circuito equivalente.

Figura 6.Circuito equivalente seguidor de tensão



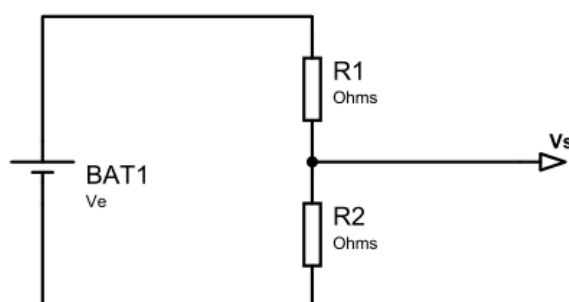
Fonte. Boylestad et. al(2005, p. 460).

3.1.1. Desenvolvimento do circuito de leitura de tensão

O CI escolhido para a leitura de tensão é o LM358. Conforme o seu datasheet o LM358 possui um range de 3 V a 36 V, mais do que suficiente para a aplicação, e baixo *offset*, no máximo 3 mV em altas temperaturas.

Aplicando o modelo de seguidor de tensão, por sua simplicidade e fácil aplicação é calculado uma tensão de referência que vai ser copiada através de um divisor de tensão conforme mostra a figura 7.

Figura 7.Divisor de tensão



Fonte. Autor

O divisor de tensão é um dos circuitos mais básicos da eletrônica e uma de suas principais funções é fornecer uma pequena tensão de saída (V_s) proporcional a uma tensão maior na sua entrada (V_e), seguindo a lei de Ohm:

$$I_t = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \text{Equação 7.} \\ \text{Lei de Ohm}$$

Onde:

E : tensão de pico da fonte

I_t : corrente total do circuito

$R_1 + R_2$: resistência equivalente (R_{eq}) do circuito série

Como corrente total é a razão da tensão sobre resistência equivalente do sistema, conforme a equação 8 abaixo:

$$I_t = \frac{E}{R_{eq}} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 8.} \\ \text{Corrente total} \end{array}$$

Onde:

R_{eq} : resistência equivalente do circuito

Como o divisor de tensão é um circuito em série, a corrente se mantém a mesma ao longo do caminho, assim podemos calcular a queda de tensão do resistor dois, considerando a corrente total igual a corrente que passa em R_2 ($I_t = I_{R_2}$), com as equações a seguir temos:

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 9.} \\ \text{Corrente no resistor} \end{array}$$

$$\frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 10.} \\ \text{Igualdade da corrente em } R_2 \text{ em} \\ \text{relação a corrente total} \end{array}$$

$$V_{R_2} = \frac{E * R_2}{R_1 + R_2} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 11.} \\ \text{Divisor de tensão para } R_2 \end{array}$$

Onde:

V_{R_2} : queda de tensão em cima do resistor R_2

Chegando na equação acima, é escolhido um valor qualquer para R2, nesse caso um valor comercial e facilmente encontrado, escolhamos de 10 KΩ, evidenciando o R1:

$$R1 = \frac{E * R2}{VR2} - R2 \quad \text{Equação 12.}$$

Divisor de tensão para R1

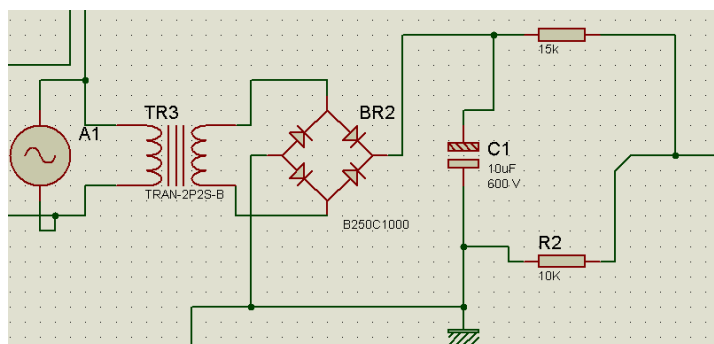
Como queremos fornecer um valor máximo de 3,0 V, proporcional a uma tensão de aproximadamente 127 Vac (dependendo da região), deixando uma pequena margem de segurança em caso de pico de tensão, aproveitando a equação 12 com valores:

$$R1 = \frac{(127 * \sqrt{2}) * 10.000}{3,0} - 10.000$$

$$R1 \approx 589K\Omega$$

Nos teste percebe que o resistor R1 precisa dissipar uma grande parte da energia, portanto causando uma maior queda de tensão em cima dele, o que tornou os testes com o projeto um pouco arriscado, então baseado nos circuitos de fontes de tensão, é rebaixado a tensão da rede através de um transformador, continuando a manter a proporção através da relação de espiras do transformador. Essa tensão menor é retificada e filtrada para assim trabalharmos com uma melhor segurança para fazermos os testes nesse projeto. Concluindo temos na parte de entrada das amostras o mesmo esquema de uma fonte não regulada (figura 8).

Figura 8. Esquema elétrico da fonte usado neste trabalho



Fonte. Autor

Para o cálculo do circuito de entrada das amostras, é separado cada componente e calculado os seus valores em cima dos seus limites elétricos, com exceção do transformador, onde escolhemos um valor arbitrário para trabalhar com uma tensão segura no secundário até o amplificador operacional.

Primeiro componente para o dimensionamento é o transformador, onde foi escolhido um valor de tensão de saída no secundário e sua respectiva corrente, a princípio foi escolhido uma tensão no secundário para 5V a 50mA, mas por falta de disponibilidade no mercado só foi possível encontrar 6V a 100mA.

Sabendo a sua tensão no secundário, é calculado o valor de pico, conforme a equação 13:

$$V_p = 6 * \sqrt{2}$$

Equação 13.
Tensão de pico

$$V_p = 8,48 V$$

A partir do valor da tensão de pico (V_p), vamos para a etapa da retificação do sinal, sendo a mais simples de todo o sistema. Obtendo V_p , encontra-se um diodo que suporte a tensão de pico inversa, ou seja a tensão máxima nominal do diodo deve ser maior que a tensão de pico inversa, causada quando a carga no capacitor está em um nível de tensão de pico maior do que a do sinal de entrada (Boleystad,2005).

Por consequência de usarmos uma ponte de diodos, temos uma queda de tensão de 1,4V.

O valor da corrente é bem baixo, conforme podemos ver pela equação 14 aplicada no circuito, considerando R a resistência equivalente do divisor de tensão:

$$I_{dt} = \frac{(V_p - 1,4)}{2 * (\sqrt{2}) * R} \quad \text{Equação 14.} \\ \text{Corrente no diodo}$$

$$I_{dt} = 100 \mu A$$

Conforme o datasheet do LM358, a entrada possui um valor de impedância muito alto, entre $M\Omega$ e $G\Omega$, portanto é certo que essa corrente não causará nenhum dano a entrada do amplificador.

Depois de Retificada da tensão, ainda temos oscilações na tensão vcc, conhecida como *ripple*. Para diminuir o *ripple* é utilizado o capacitor C1, conforme a figura 54 da página 22, onde ocorre o processo de filtragem da tensão. Como a tensão depois dos diodos é pulsante, tem se na metade do primeiro ciclo da tensão na saída da ponte retificadora o carregamento do capacitor até a tensão de pico V_p . Nesse instante, a tensão de pico está ligeiramente maior que a tensão no secundário do transformador, fazendo com que os diodos fiquem reversamente polarizados, não conduzindo, e a carga que está no capacitor começa a ser descarregada em um período de tempo maior que a do sinal de entrada (Boleystad,2005).

Seguindo várias referências pesquisadas chegamos à fórmula (Boleystad,2005) da equação 15 que relaciona o capacitor desejado em função da corrente de carga e do valor de *ripple* desejado:

$$C = \frac{V_{dc} * I_{dc}}{4\sqrt{3} * V_{m\acute{a}x} * V_{ref} * f} \quad \text{Equação 15.} \\ \text{Capacit\^encia}$$

$$C = 5,41 \mu\text{F}$$

Considerando que:

$I_{dc} = 10\text{mA}$, limite máximo da corrente definido em relação a entrada do AmpOp

$$V_{dc} = 0,318 * V_{m\acute{a}x}, \text{ portanto } V_{dc} = 2.25V_{dc}$$

$$V_{m\acute{a}x} = V_{pico}, \text{ portanto } V_{m\acute{a}x} = 7,08\text{V}$$

$V_{ref} =$ Tensão de *ripple* eficaz, considerando 10% do sinal de entrada = 0,708V

$f =$ Frequência da retificação de onda completa, 120Hz

Com o valor comercial mais próximo encontrado, 10 μF por 16V, mas pela própria equação 16 isolando os termos C e I_{dc} , consegue se prever uma diminuição no *ripple* pela equação 16:

$$V_{ref} = \frac{V_{dc} * I_{dc}}{4\sqrt{3} * V_{m\acute{a}x} * C * f} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 16.} \\ \text{Tensão de referência} \end{array}$$

$$V_{ref} = 0,382 V_r$$

Agora que temos os valores do nosso filtro capacitivo, recalcularemos o divisor de tensão para o novo valor contínuo da fonte, adotando R_2 para 10K Ω :

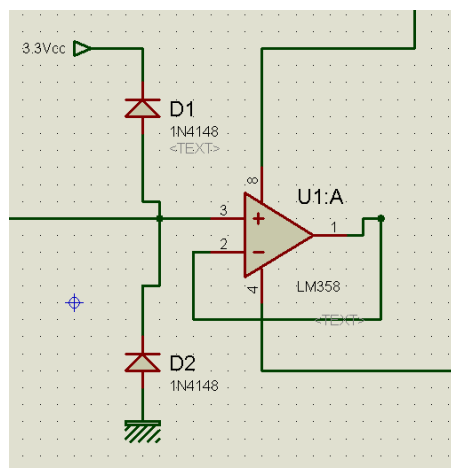
$$R_1 = \frac{7,08\text{V} * 10\text{k}\Omega}{3\text{V}} - 10\text{K}\Omega$$

$$R_1 \approx 13600\text{K}\Omega$$

Finalizando esta etapa, esse sinal é enviado para a entrada não inversora do AmpOp (pino 4), onde a entrada é grampeada através dos diodos D1 e D2 (figura 9),

e enviado para o esp32 onde será tratado o sinal de amostragem, calculado e por fim enviado ao sistema de monitoramento da tensão.

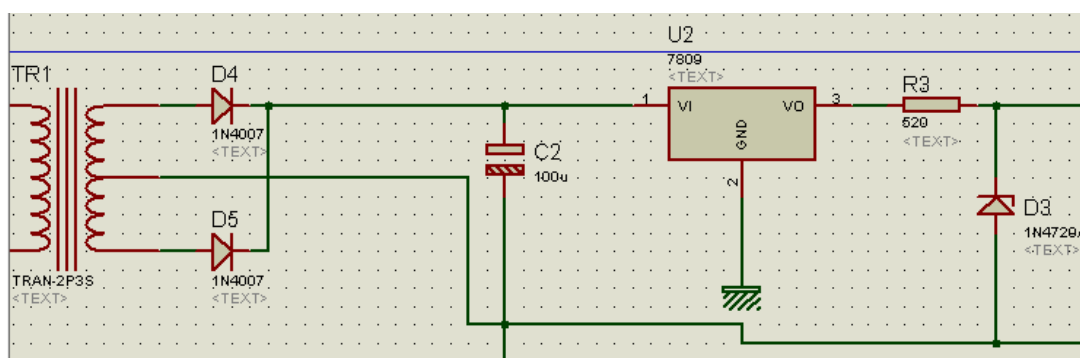
Figura 9. Entrada do sinal no amplificador



Fonte. Autor

Como o amplificador mantém sua saída até o limite da sua entrada de alimentação, criamos uma fonte regulada com um regulador de tensão 7809 e na sua saída um diodo zener 1N4729A, o qual mantém uma tensão de 3.6 Vdc (conforme o seu datasheet) que está dentro dos limites das *GPIO's* do esp32. Usamos novamente um esquema de fonte de retificação de onda completa (figura 10), seguindo os mesmos cálculos que anteriormente, mas agora implementando o cálculo do resistor para o diodo zener (equação 17).

Figura 10. Fonte para o amplificador operacional



Fonte. Autor

A alimentação do amplificador operacional não passa a casa dos mA (conforme o datasheet, pg. 10, LM358, Texas Instruments), fixamos um valor arbitrário para uma corrente máxima de 10mA, mais do que suficiente para alimentar o amplificador.

$$R_z = \frac{V_e - V_z}{I_{zm\acute{a}x}}$$

Equação 17.
Resistor zener

$$R_z = \frac{9 - 3,6}{10 * 10^{-3}} \rightarrow R_z = 540 \Omega$$

Onde :

V_e : tensão da fonte

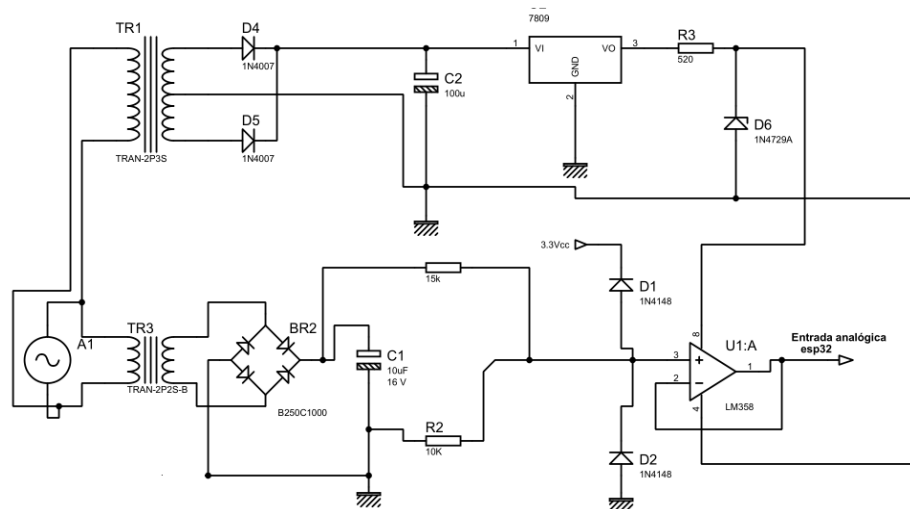
V_z : tensão zener

$I_{zm\acute{a}x}$: corrente zener

R_z : resistor zener

Finalizando a figura 11 mostra o *layout* final do circuito com todos os componentes aqui citado e feito simulador ISIS Proteus e impresso em papel glossy somente a trilha do circuito conforme a figura 11.

Figura 11. Fonte para o amplificador operacional



Fonte. Autor

Devido aos custos tanto dos sensores quanto dos componentes utilizados neste projeto, é monitorado somente o sistema monofásico de uma residência, ou seja, só é monitorado uma fase da residência, mas o suficiente para conseguirmos simular o objetivo proposto do projeto.

3.1.2. Tratamento do sinal de tensão

O sinal de amostragem é enviado através da função `mediaTensao()`, onde ela pega 60 amostras do sinal, esse sinal do circuito eletrônico tratado em *rms*, é tirado uma média simples dessas amostras conforme a função do programa de teste abaixo:

```

1   int mediaTensao()
2   {
3   int i;
4   long int soma=0,media;
5   for(i=0;i<60;i++)
6   {
7   soma+=analogRead(25);
8   }
9   media=soma/60;
10  return media;
11  }
12  void setup()
13  {
14  Serial.begin(115000);
15  }
16  unsigned long tempo = millis();
17  void loop() {
18  if((millis()- tempo) >= 600 )
19  {
20  int tensao=38.5*(mediaTensao()*0.00080586);
21  if(tensao < 106 || tensao >= 135)
22  {
23  Serial.print("Atenção! Tensão fora dos limites");
24  }

```

O código Completo pode ser encontrado no apêndice E.

Constatamos que no final do código é implementado uma lógica de comparação para valores fora dos limites abaixo de 106V e a partir de 135V. Esses limites não foram estabelecidos por nada. Conforme o anexo da resolução N^o505, que estabelece a conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente (ANEEL,2001), nos quadros 1 e 2 é dado os valores nominais padronizados e não padronizados dos níveis de tensão para valores em relação a 127V.

Quadro 1. Tensão padronizada igual ou inferior a 1KV

TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts			
Trifásica	(220) / (127)	(201 ≤ TL ≤ 231) / (116 ≤ TL ≤ 133)	(189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 116 ou 133 < TL ≤ 140)	(TL < 189 ou TL > 233) / (TL < 109 ou TL > 140)
	(380) / (220)	(348 ≤ TL ≤ 396) / (201 ≤ TL ≤ 231)	(327 ≤ TL < 348 ou 396 < TL ≤ 403) / (189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233)	(TL < 327 ou TL > 403) / (TL < 189 ou TL > 233)
Monofásica	(254) / (127)	(232 ≤ TL ≤ 264) / (116 ≤ TL ≤ 132)	(220 ≤ TL < 232 ou 264 < TL ≤ 269) / (109 ≤ TL < 116 ou 132 < TL ≤ 140)	(TL < 220 ou TL > 269) / (TL < 109 ou TL > 140)
	(440) / (220)	(402 ≤ TL ≤ 458) / (201 ≤ TL ≤ 229)	(380 ≤ TL < 402 ou 458 < TL ≤ 466) / (189 ≤ TL < 201 ou 229 < TL ≤ 233)	(TL < 380 ou TL > 466) / (TL < 189 ou TL > 233)

Fonte. ANEEL, 2001.

Quadro 2. Tensão não padronizada igual ou inferior a 1KV

TENSÕES NÃO PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts (V)			
Trifásica 4 Fios	(208)/(120)	(196 ≤ TL ≤ 229) / (113 ≤ TL ≤ 132)	(189 ≤ TL < 196 ou 229 < TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 113 ou 132 < TL ≤ 135)	(TL < 189 ou TL > 233) / (TL < 109 ou TL > 135)
Monofásica	(230)/(115)	(216 ≤ TL ≤ 241) / (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 241 < TL ≤ 253) / (105 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 129)	(TL < 212 ou TL > 253) / (TL < 105 ou TL > 129)
	(240)/(120)	(216 ≤ TL ≤ 254) / (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 254 < TL ≤ 260) / (106 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 130)	(TL < 212 ou TL > 260) / (TL < 106 ou TL > 130)

Fonte. ANEEL, 2001.

Para os valores relacionados a tensão de 127 volts, foram separados os limites máximos e mínimos, somados e tirado as suas respectivas médias chegando aos limites dados na programação.

Na condição verdadeira da comparação, por segurança é cortada a energia do cliente, esperado um determinado tempo e quando estiver garantido a normalização da rede é retornado a tensão normalmente para o cliente. Isto garante que o cliente não terá prejuízos com oscilações ou até mesmo a perda do condutor neutro por algum incidente que venha a ocorrer.

Os valores analógicos ainda precisam ser convertidos, já que a função `mediaTensao()` retorna os valores em quantidades de bits lida pelo adc do microcontrolador.

Primeiro passo encontramos o valor da constante de conversão conforme segue a equação 18:

$$K = \frac{\text{Valor de Saída}}{\text{Valor de entrada}} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 18.} \\ \text{Constante de conversão} \end{array}$$

$$K = \frac{127V}{3V}$$

$$K = 42,33$$

Tendo a primeira constante do sistema, encontraremos os valores da resolução dado a leitura analógica com equação 19:

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Tensão Referência}}{2^n - 1} \quad \begin{array}{l} \text{Equação 19.} \\ \text{Resolução do adc} \end{array}$$

Como o ADC do microcontrolador trabalha com 12 bits logo temos:

$$\text{Resolução} = \frac{3}{2^{12} - 1}$$

$$\text{Resolução} = 0.0007326$$

Com os valores prontos basta fazer a multiplicação direta dos termos (equação 20):

$$\text{tensao} = 42,33 * \text{mediaTensao}() * 0,0007326$$

Equação 20.
Calculo da tensão no
microcontrolador

3.1.3. Leitura de Corrente

Para este projeto é usado um sensor de corrente também conhecido como Transformador de Corrente ou simplesmente TC. Esse sensor da marca YHDC modelo SCT-013, é um sensor não invasivo, ou seja, não precisa interromper o circuito para ligar o TC, sendo uma ótima vantagem para casos de manutenção rápida, bastando apenas colocar o sensor em torno do fio em que vai ser medido a corrente.

Conforme o site o portal vidadesilicio.com.br, o TC é baseado em leis da física, mais precisamente eletromagnetismo, como a lei de Ampère e lei de Faraday. Essas leis estão dentro do funcionamento do sensor explicado logo adiante. O sensor auxiliará tanto na medição da energia consumida quanto na detecção de desvios de energia.

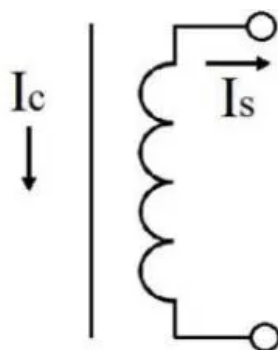
Um TC é simplesmente uma bobina, ou seja, um conjunto de fios enrolados, ou espiras, que é colocado em volta de um condutor onde se quer medir a corrente conforme mostra a figura 12 e o esquema simplificado na figura 13.

Figura 12. Sensor de corrente



Fonte. portal.vidadesilicio.com.br

Figura 13. Esquema simplificado



Fonte. portal.vidadesilicio.com.br

Seguindo o conceito da lei de Ampère, quando uma corrente passa por um condutor induz a formação de um campo magnético em seu entorno, como a corrente medida no projeto é alternada, ela varia ao longo do tempo e provoca um campo magnético também variado ao longo do tempo. Aplicando a lei de Faraday, onde um campo magnético variado no tempo induz em uma espira uma tensão, no final teremos uma corrente proporcional ao campo magnético gerado. O sensor usado neste projeto foi do tipo split-core, isto significa que o núcleo da bobina interna é dividida em duas partes, possibilitando a sua abertura (figura 14).

Figura 14. Sensor aberto



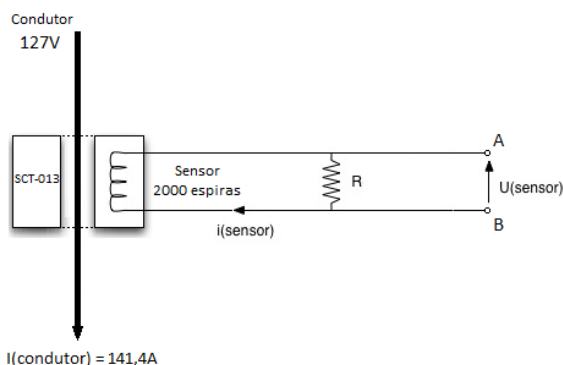
Fonte. portal.vidadesilicio.com.br

O modelo utilizado no projeto SCT-013-000 pode trabalhar com medições de corrente de até 100 A RMS com saída até 50 mA RMS, conforme especificado no seu *datasheet*, mas é adicionado um circuito eletrônico simples para transforma o valor de sua saída em tensão conforme o sugerido no portal [vidadesilicio.com.br](http://portal.vidadesilicio.com.br). No circuito é colocado um resistor em paralelo com o TC (figura 15), para gerar uma tensão conforme a equação 21, baseada na lei de Ohm, mas para rápida calibração do sinal foi colocado um trimpot de 500 Ohms e deixado com o valor de resistência de acordo com a tensão de trabalho do esp32.

$$R = \frac{1.65 V}{0,0707 A} \rightarrow R = 23.34 \Omega$$

Equação 21.
Resistência

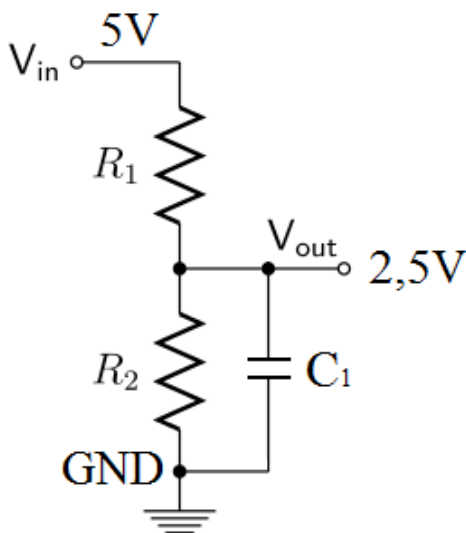
Figura 15. Resistor em paralelo



Fonte: portal.vidadesilicio.com.br

Como a corrente é alternada, conseqüentemente é gerado uma tensão alternada, o que faz a parte negativa da senóide ser pega pelo microcontrolador, portanto o portal vidadesilicio.com.br propõe montar um circuito offset (figura16) para somar uma parcela de tensão a mais para transformar o sinal tensão AC em DC.

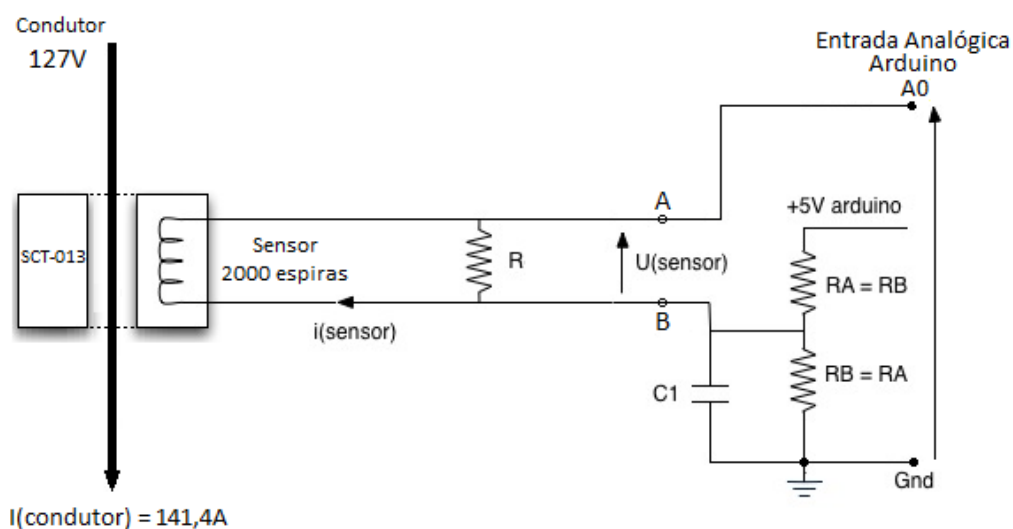
Figura 16. Circuito de offset



Fonte: portal.vidadesilicio.com.br

O divisor de tensão recebe os 3,3 V do esp32 e reduz a tensão pela metade, já que os resistores são iguais, o capacitor para filtrar ruídos, nesse caso a tensão de saída fica em torno de 1,65 V mais a tensão aplicada pelo circuito TC mais resistor consegue-se uma variação de 0 até 3,3 V. Na figura 17 mostra o esquema elétrico completo usado no portal vidadesilicio.com.br.

Figura 17. Circuito Completo



Fonte: portal.vidadesilicio.com.br

Toda biblioteca e parte do programa já vem pronto para ser usado, bastando apenas acertar os valores para calibração, onde tem a linha de código escrita:

```
103 SCT013.current(pinSCT, Valor_de_Calibração);
```

Conforme o site vidadesilicio.com.br para encontrar o valor de calibração (equação 22) basta dividir o número de espiras pelo valor da resistência em paralelo com o sensor:

$$Valor_{calibração} = \frac{N^{\circ} \text{ espiras}}{23,4} \quad \text{Equação 22. Valor de calibração}$$

$$Valor_de_Calibração = 2000/23.34 \rightarrow Valor_de_Calibração = 85.68.$$

O comando `SCT013.calcIrms(1480)` dá direto o valor da corrente, bastando jogar o seu valor em uma variável do tipo *double*. Como temos tanto o valor da tensão como o da corrente em RMS, basta fazer a equação 23 para termos a medição da potência.

$$P = I_{rms} * Tensão \quad \text{Equação 23. Potência rms}$$

Onde :

P : potência *rms*

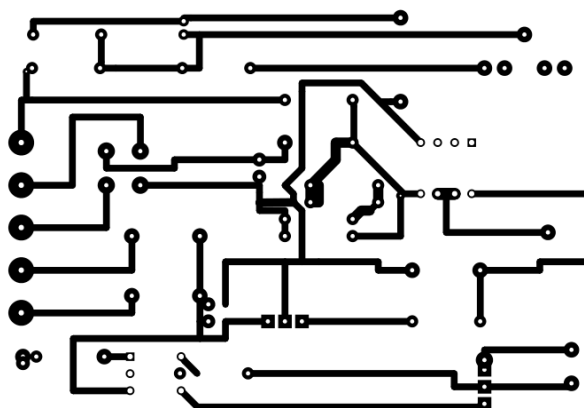
I_{rms} : corrente *rms*

3.2. Hardware

Montagem do circuito

Os circuitos para leitura de corrente, tensão e acionamento da rede residencial foram impressos em uma única placa. No próprio Proteus selecionamos para imprimir somente as trilhas, figura 18.

Figura 18. Trilha do circuito impresso



Fonte. Autor

Usamos transferência térmica para passar o circuito impresso com o auxílio de um ferro de passar roupas colocamos o papel com a impressão na placa, pelo lado do cobre e deixamos o ferro por cima, verificando como está saindo a impressão na placa conforme a figura 19 que mostra um exemplo da placa sendo preparada para a transferência térmica.

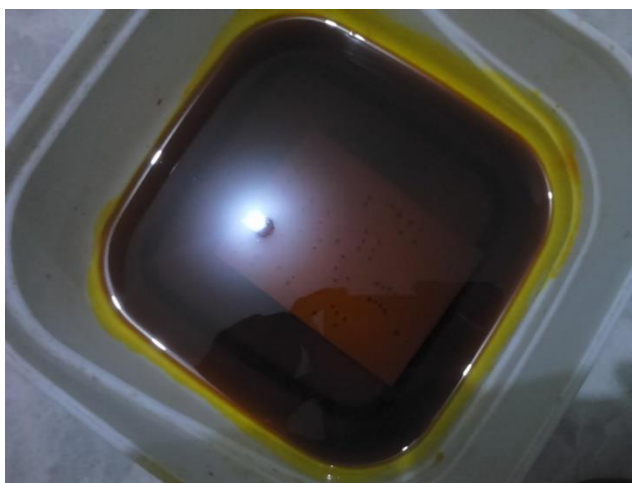
Figura 19. Transferência térmica



Fonte.Autor

É feito as furações e a corrosão com percloroeto de ferro (FeCl_3), figura 20, uma solução própria para corrosão de placas de circuitos impressos.

Figura 20. Corrosão com percloroeto de ferro



Fonte.Autor

A partir desse ponto, separamos os componentes e começamos a soldá-los com estanho 60/40 (60% estanho e 40% chumbo), pois com alto teor de estanho consegue-se um ponto de fusão mais baixo na solda (Callister, 2012). Depois de soldar os componentes já temos o nosso protótipo pronto (figura 21) para os primeiros testes.

Figura 22. Montagem provisória para testes

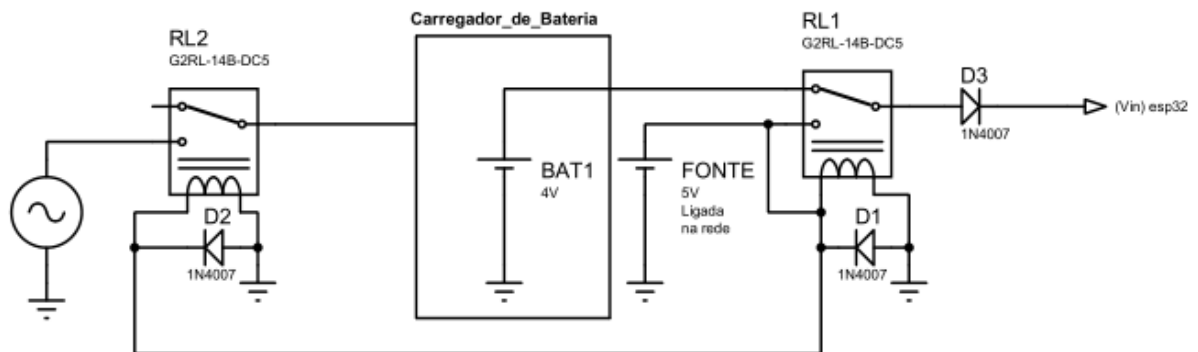


Fonte. Autor

3.2.1. Sistema de alimentação do microcontrolador

Baseando-se em quadros de transferência automáticos (QTA), tem um simples sistema que através de relés mantém a energização dos nossos microcontroladores. Para garantir a alimentação constante, é colocado uma bateria de 4 Volts onde em caso de queda de energia que garantirá algum tempo de vida a mais, sendo metade da função exercida por uma fonte externa que é alimentada normalmente pela rede elétrica residencial. A figura 23 mostra o layout do esquema desenvolvido no programa ISIS Proteus.

Figura 23. Sistema de alimentação com backup



Fonte. Autor

Aprofundando um pouco mais no funcionamento deste sistema, temos uma lógica simples onde a fonte de 5 Volts quando é alimentada pela rede alimenta, o relé RL1, fecha o seu contato e a própria fonte fornece energia para a porta vin do microcontrolador esp32, como o microcontrolador possui regulador de tensão interno para 3.3 Volts, conforme especificações do seu *datasheet*.

Enquanto a fonte de 5 Volts estiver sendo alimentada, o contato do relé onde a bateria está ligada ficará de fora, assim evitando que a fonte e a bateria entrem ao mesmo tempo. A fonte alimenta também o relé RL2, possibilitando o carregamento completo da bateria enquanto ela não estiver fornecendo energia para a alimentação principal do microcontrolador.

Após testes, os resultados foram satisfatórios.

3.2.2. NodeMcu-32

Figura 24. Plataforma NodeMcu-32S



Fonte. <http://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-o-nodemcu-32s-esp32/>

Segundo o fabricante Espressif (2019), o NodeMCU-32S é uma pequena plataforma de desenvolvimento *open source* direcionada para o desenvolvimento de projetos no mundo da Internet das Coisas. Está pequena, mas poderosa placa, já conta com conversor USB serial integrado e porta micro USB tanto para alimentação quanto para a programação.

O controlador do NodeMCU-32S em questão é o módulo controlador ESP-WROOM-32. Além do ESP32, o ESP-WROOM-32 possui também um cristal de 40MHz, memória flash integrada de 4MB, antena embutida e blindagem EMI. A seguir listamos algumas de suas características típicas do NodeMcu-32S:

- Módulo controlador ESP-WROOM-32;
- Microprocessador dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6;
- Opera na faixa de 2.2V – 3.6VDC;
- Opera com corrente típica de 80mA;
- Corrente máxima por pino é de 12mA;
- Possui 36 GPIOs;
- Possui ADC (conversor analógico digital) de 18 canais com resolução de 12 bits;

- Possui Antena integrada;
- Compatível com a IDE do Arduino;
- Compatível com módulos e sensores utilizados no Arduino;
- Possui Bluetooth v4.2 BR / EDR e BLE (Bluetooth Low Energy).

Para efeito de comparação com o ESP266, que poderiam ser usado nesse projeto, o quadro 3 mostra as características de cada um.

Quadro 3 .Características ESP266 vs. ESP32

Specifications	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa® Single-Core 32-bit L106	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	Yes, HT20	Yes, HT40
Bluetooth	None	Bluetooth 4.2 and below
Typical Frequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	160 kBytes	512 kBytes
Flash	SPI Flash , up to 16 MBytes	SPI Flash , up to 16 MBytes
GPIO	17	36
Hardware / Software PWM	None / 8 Channels	1 / 16 Channels
SPI / I2C / I2S / UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	None	1
Ethernet MAC Interface	None	1
Touch Sensor	None	Yes
Temperature Sensor	None	Yes
Working Temperature	- 40°C ~ 125°C	- 40°C ~ 125°C

Fonte. <https://www.cnx-software.com/2016/03/25/esp8266-and-esp32-differences-in-one-single-table>

3.2.3. Wi-fi

A NodeMcu ESP-32 vem com um microcontrolador dual core que oferece suporte nativo para redes Wi-fi com as normas 802.11 b/g/n. Neste projeto utilizaremos a rede atual utilizada no padrão wi-fi, o padrão 802.11g, ele apresenta a transferência de 54MB/s, também se utiliza de frequências próximas a 2.4 GHz para uma melhor cobertura de sinal. Uma observação a se fazer e que o 802.11g é adaptável com as versões anteriores, fazendo com que dispositivos lançados agora acessem as redes antigas, e vice-versa.

3.2.4. Acesso local via Bluetooth

O ESP32 integra um controlador de link *Bluetooth* e uma banda básica Bluetooth, que executam os protocolos de banda base e outras rotinas de link de baixo nível, como modulação/demodulação, processamento de pacotes, processamento de fluxo de bits, salto de frequência entre outras funcionalidades. Neste projeto utilizaremos esse recurso para disponibilizar o acesso ao usuário, apenas de visualização de seus kwh restantes(pré-pago), ou mesmo para visualização do seu gasto parcial no caso de pós-pago.

3.3. Software

Nesta seção, os tópicos referentes aos métodos para a elaboração do software serão abordados. Os programas que foram utilizados e os algoritmos que foram desenvolvidos são apresentados a seguir.

3.3.1. Programação

A programação, como exposto no fluxograma, terá função de transmitir os dados ao servidor Thingspeak e MYSQL, em adição haverá transmissão via Bluetooth das informações de consumo do usuário, e toda a leitura analógica será realizada com o sensor sct-013 da corrente, com estes dados , será realizado um cálculo da corrente e tensão para adquirimos a potência consumida, por fim haverá uma função de timer para fazer o controle transmissão de dados ao servidor, para que os dados sejam enviados em um intervalos que dependem do servidor que irá ser enviado.

3.3.2. Banco de dados MYSQL

Para armazenamento do banco de dados, utilizamos MYSQL versão 5.7, que está disponível no nosso serviço de provedor de hospedagem www.awardspace.com. Segundo MYSQL (2019), trata-se do mais popular SGBD de código aberto (Open-

Source). Utiliza-se do modelo relacional e a linguagem SQL (Structured Query Language).

MYSQL pode ser utilizado pelos principais sistemas operacionais do mercado, devido ao fato de seu desenvolvimento ser em C e C++. Outro fator para nossa escolha, foi baseado na confiabilidade do MYSQL, devido muitas das empresas em expansão estarem aderindo a essa plataforma de banco de dados. Alguns exemplos de empresas são:

- Facebook;
- Adobe;
- Google;
- Alcatel Lucent;
- Zappos.

3.3.3. ThingSpeak

No sistema de nuvem, para o armazenamento do histórico do usuário e geração de gráficos do consumo, utilizaremos o Thingspeak. Segundo Thingspeak (2019), ele é um código aberto de Internet das coisas (IOT), para armazenar e recuperar dados usando o protocolo HTTP, através da Internet. O Thingspeak permite a criação de aplicativos de registro de sensor, rastreamento de localização e um banco de dados com atualizações de status. Com isso, podemos produzir protótipos sem a necessidade de configuração de servidores ou desenvolvimento de páginas web. O Thingspeak permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados ao vivo na nuvem. Algumas das principais capacidades do Thingspeak incluem:

- Configurar facilmente dispositivos para enviar dados usando protocolos IoT populares;
- Visualizar seus dados do sensor em tempo real;
- Agregar dados sob demanda de fontes de terceiros;
- Executar a análise da IoT automaticamente com base em agendamentos ou eventos;
- Prototipar e construir sistemas de IoT sem configurar servidores ou desenvolver softwares da web;

- Atuar automaticamente em seus dados e transmiti-los usando serviços de terceiros, como o Twilio® ou o Twitter®.

3.3.4. PHP

Antes de abordar o assunto HTML, é preciso falar do PHP. O PHP faz a interface entre o servidor MYSQL e o HTML. Segundo PHP (2019), o mesmo é uma linguagem de script popular e versátil, sendo propicia a desenvolvimento web, pois é rápido, flexível e prático.

PHP é uma linguagem de programação em C, globalmente utilizada por desenvolvedores na implantação de várias aplicações, como websites dinâmicos, fazendo assim, uma boa interface entre o usuário por meio de links, formulários e parâmetros de URL.

O código PHP é aplicado no servidor (e não no usuário), assim o usuário apenas recebe o HTML. Fazendo assim a interface com bancos de dados e aplicações que estão sendo executadas no servidor, ou seja, protegendo o código fonte e não deixando-o exposto.

3.3.5. HTML

Segundo Duckett J. (2011, p. 15), HTML é a sigla de HyperText Markup Language, expressão inglesa que significa Linguagem de Marcação de Hipertexto. HTML não é uma linguagem de programação, mas sim uma linguagem de marcação para execução e produção de páginas na web, gerando uma documentação que pode ser executada de qualquer dispositivo com acesso à internet através do browser.

Através de camadas de desenvolvimento, que fazem a separação dos itens que iram compor o projeto como um todo, podem ser separados em grupos de arquivos ou linguagens diferentes, em nosso projeto utilizamos 3 linguagens:

- HTML linguagem que irá exibir e estruturar e organizar nossa informação;
- CSS responsável por estilizar a página;
- Java script (JS), responsável por manipular a estrutura;

Com isso o HTML juntamente com o PHP irá organizar as informações coletadas dos usuários através do browser e interagir com o banco de dados.

3.3.6. Implementação servidor WEB

Nesta seção é demonstrado de forma geral a implementação da ferramenta. O código do projeto está no apêndice.

A estrutura determinada para o projeto proposto foi escolhida e projetada para ser executado por tecnologias voltadas para WEB, possibilitando a execução de forma remota e por contar com todas as ferramentas para o administrador, de forma acadêmica.

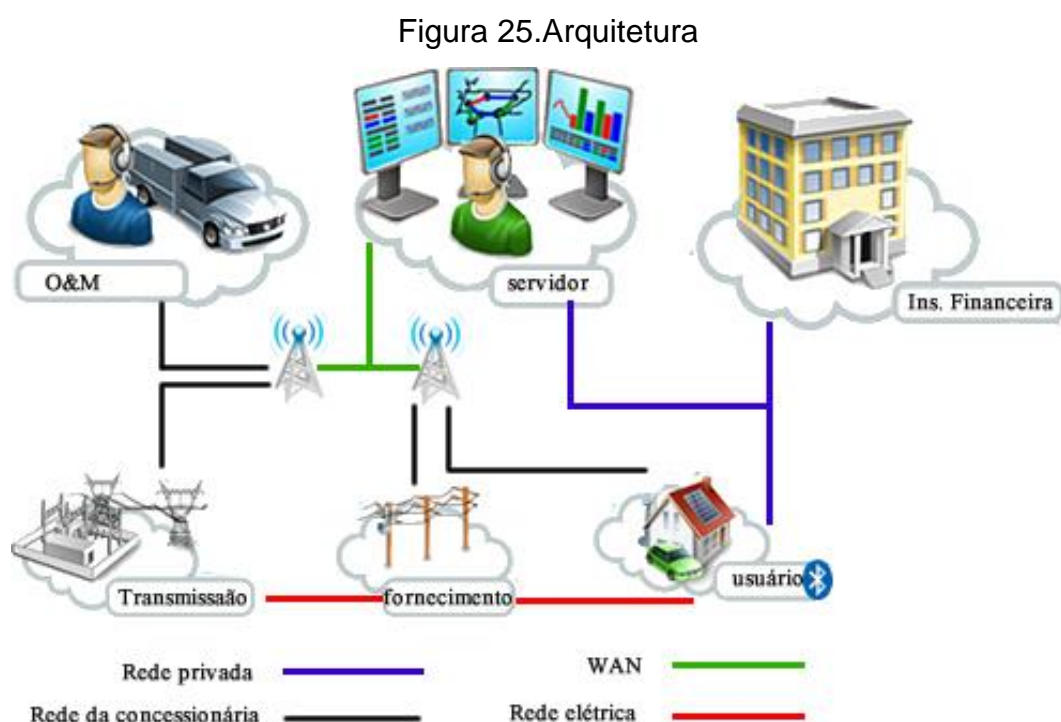
A arquitetura WEB é formada por 3 camadas fundamentais: A camada de energia, camada de comunicação e camada de tecnologia da informação. As camadas de comunicação e tecnologia tornam a rede “inteligente”. (IEEE Smart Grid), temos:

- Transmissão, faz a conexão de energia do gerador com as subestações. Nesse local, haverá um medidor de fornecimento para controle do valor medido, e ele é enviado para o banco de dados;
- Fornecimento, é onde fica a subestação, fornece a energia para o usuário e faz o controle desses valores assim se o valor das somas dos usuários for inferior a um valor pré-definido no servidor, e gerado um alarme de desvio de energia para que o suporte técnico verifique o mesmo;
- Usuário, nessa camada a rede se comunica diretamente com o usuário final (casas, apartamentos, comercio), onde os medidores inteligentes coletam os dados relevantes ao sistema o que é importante ele envia para as camadas superiores e as outras informações são tratadas localmente, permitindo ao usuário que possa controlar o consumo de energia da forma que achar mais adequada. O usuário pré-pago e pós-pago pode acessar

seus dados tanto pelo *Bluetooth*, quanto pela rede pessoal com acesso à internet;

- O&M, significa operação e manutenção, e acionada no caso de problemas na rede ou desvios, o mesmo tem acesso a rede da concessionária e pode acessar dados de usuários ou fornecimento;
- Instituição financeira, e responsável pelo gerenciamento de pagamentos e vendas de créditos para usuários pré-pago, repassando esses dados para a concessionária;
- Servidos, onde fica concentrada todas as informações tanto do banco de dados quanto da infraestrutura necessária para o acesso as informações. Através de rede da concessionaria o acesso de todas as torres wifi e pela WAN e assim o acesso ao banco de dados.

Conforme mostra a figura 25 um exemplo de arquitetura de uma rede inteligente.



Fonte. https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2010_2/livia/infraestrutura.html

3.3.7. Apresentação da ferramenta WEB

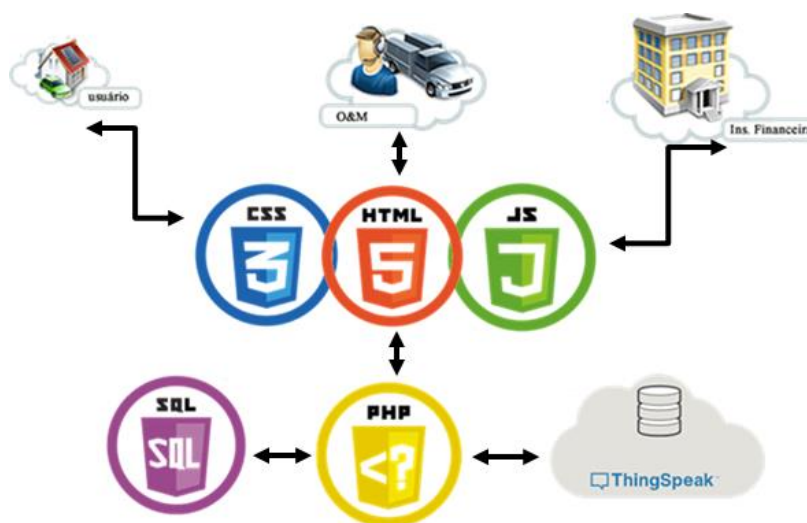
Neste item, é apresentada a execução do servidor WEB desenvolvido, conforme o projeto apresentado nos itens anteriores.

O primeiro contato de qualquer usuário, seja ele da instituição financeira, usuário comum ou O&M, será com o HTML e suas camadas que já falamos anteriormente, após o preenchimento de formulários (login e outros) , o mesmo é enviado para o PHP que está embutido dentro do código do HTML, após checar a autenticidade do login no servidor, assim se o usuário estiver apto a acessar aqueles dados o servidor MYSQL devolve a resposta que foi solicitada caso contrário o mesmo recebe uma mensagem especifica do erro .

Para acessar o gráfico de consumo pelo tempo do cliente, o banco de dados envia o link do usuário que está na nuvem do servidor thingspeak.com, o mesmo é inserido no HTML via comando iframe.

Conforme mostra a figura 26, mostra uma topologia de acesso ao servidor.

Figura 26. Acesso ao servidor



Fonte: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2010_2/livia/infraestrutura.html

3.3.8. Plataforma IOT

A Internet das Coisas (IoT) está mudando a forma como nos comunicamos com o mundo, e suas possibilidades são infinitas. À medida que mais e mais dispositivos conectados geram dados, para resolver o problema de como coletar, armazenar e analisar os dados, o Arduino acessa a página PHP no servidor no caso o nome e salvar.php e através desse acesso, todo o código PHP é executado no

servidor, e somente o resultado final é exibido ao Arduino, assim o Arduino faz a leitura dos dados enviados e recebidos pelo servidor sem consumir recursos do mesmo.

Após enviar os dados ao MYSQL através do PHP, o Arduino envia somente os dados de consumo para o servidor thingspeak.com e ele armazena esse dado para gerar um gráfico para o usuário. Caso esse dispositivo seja um fornecedor e não um usuário comum, e se ele receber um aviso de desvio do servidor MYSQL.

Conforme mostra a figura 26, acesso de dispositivos ao banco de dados.



Fonte. <https://www.logolynx.com/topic/arduino>

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após o desenvolvimento do projeto.

4.1. Hardware

Após a montagem dos periféricos necessários para os testes, os resultados obtidos foram:

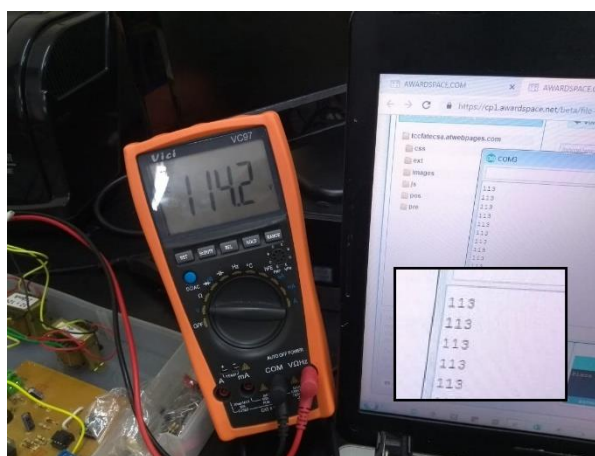
4.1.1. Testes de placa e conexão.

Ao longo desse capítulo, será descrito os resultados obtidos e a forma que foi feito, todo o código pode ser encontrado no apêndice.

O teste consiste em inserir a placa do usuário na rede elétrica, essa mesma rede passa pelo fornecedor, o fornecedor não faz nenhum tipo de automação na rede elétrica, somente monitora a mesma.

Conforme mostra a figura 27, a medição de tensão do equipamento está de acordo com o medidor .

Figura 28. medição tensão do medidor



Fonte. Autor

O medidor de energia se conecta ao servidor via conexão wi-fi, e através do

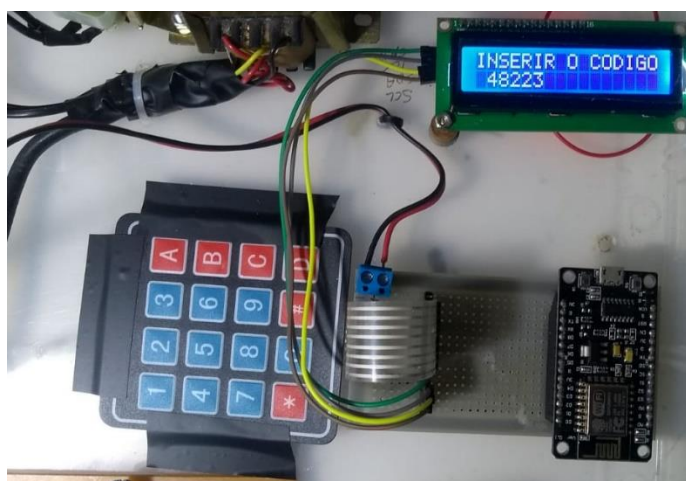
link <http://tccfatecsa.atwebpages.com/pre/salvar.php>, acessa o banco de dados, utilizando a programação que se encontra no apêndice E.

O sistema só é liberado se o sensor de fim de curso estiver desligado. Caso o mesmo estiver desligado e um acesso não autorizado ao equipamento for feito, um alarme de porta aberta é enviado a central e todo o fornecimento de energia é cortado.

Esse alarme só irá sair do sistema, se a tampa do medidor for fechada e um aviso enviado da central indicando que o mesmo está em manutenção. Assim, somente com esses 2 parâmetros configurados, o alarme de porta aberta sairá.

A figura 28 mostra um crédito sendo digitado.

Figura 29. Digitando credito



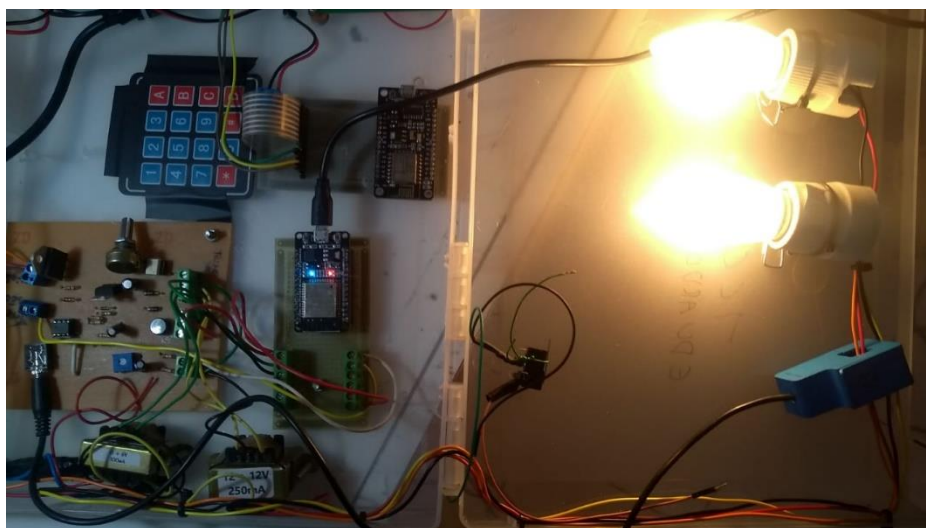
Fonte. Autor

O código é todo inserido e enviado ao servidor, que compara com o banco de dados. Assim que um código foi confirmado, o servidor enviou a informação do novo crédito, e toda a parte da automação necessária já explicada nos capítulos anteriores e acionada.

De forma semelhante trabalha o Bluetooth configurado no medidor, a programação está no apêndice E, o Bluetooth envia o código pelo celular utilizando qualquer software serial Bluetooth disponível.

A figura 29 mostra a o fornecimento estabelecido.

Figura 30.Fornecimento estabelecido



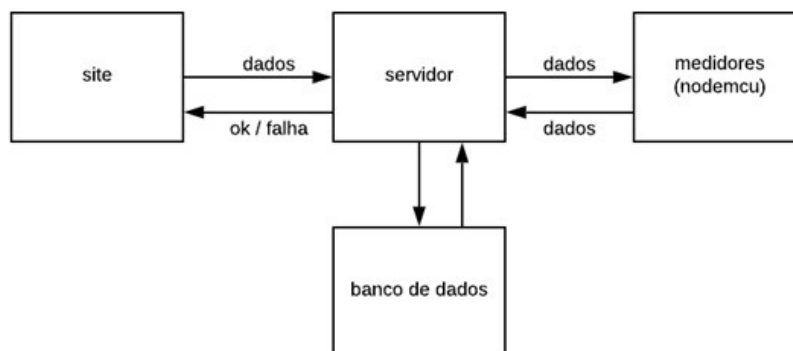
Fonte. Autor

Caso ocorra um desvio de energia acima do estipulado na central (configurado 30% de desvio inicialmente), entre o fornecedor e medidor, um alarme é enviado a central.

4.2. Software

O site é a interface entre o banco de dados e os medidores ou usuários, figura 30, mostra o diagrama do site.

Figura 31. Diagrama conexões do site



Fonte. Autor

A tela inicial condorme figura 31, contém o resumo do projeto, os links que ela contém são:

- Pré-pago, contendo um resumo do que o projeto aplica em fornecimento de energia pré-pago;
- Pós-pago, contendo um resumo do que o projeto aplica em fornecimento de energia pós-pago;
- Medidores de consumo inteligentes, esse link redireciona para uma página que contém um pequeno resumo sobre medidores de energia inteligente.

Figura 32.página inicial



Fonte. Autor

A figura 32 mostra a aba “pré-pago”, contém os links para o usuário comprar créditos. Esse link serve apenas para simulação real de compra. Já o link “consultar crédito” redireciona para página /pre.php.

Figura 33. Menu pré-pago



Fonte.Autor

A figura 33 mostra a aba “pós-pago”, contém os links do site da ANEEL, que como já dito, é o órgão regulamentador.

Já o link “consultar consumo”, redireciona para página /pos.php.

Figura 34. Menu pós-pago

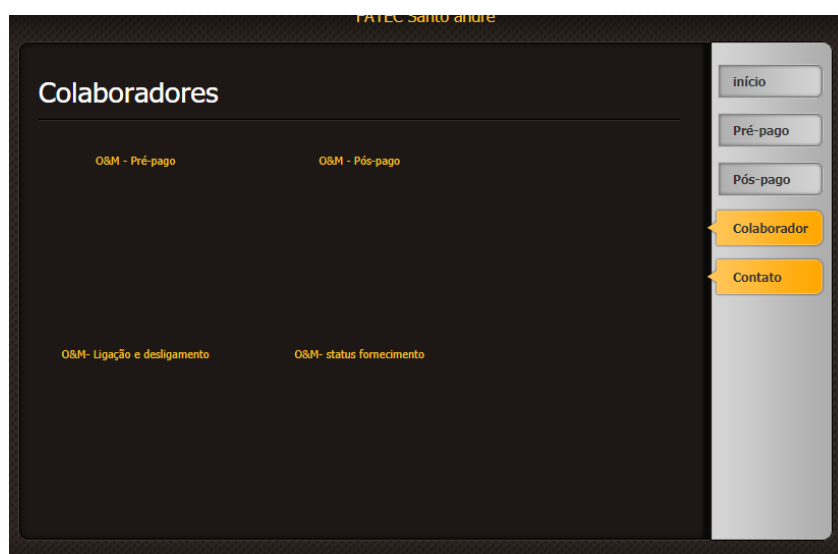


Fonte. Autor

A figura 34 mostra a aba colaboradores, as opções levam aos seguintes links:

- O&M pré-pago, esse link redireciona a página para o operador ter acesso aos dados dos clientes pré-pago;
- O&M pós-pago, esse link redireciona a página para o operador ter acesso aos dados dos clientes pós-pago;
- O&M Ligação e desligamento, esse link redireciona a página para o operador ter acesso a automação de ligação e desligamento de usuários pós-pago;
- O&M status fornecimento, esse link redireciona a página para o operador ter acesso a uma tela de supervisão que será explicada posteriormente, essa parte não há nenhuma automação.

Figura 35. Menu O&M



Fonte. Autor

A figura 35 mostra a aba contato, a primeira parte temos os contatos dos integrantes do projeto, posteriormente temos os professores que acompanharam o projeto, e a direita temos os dados da faculdade.

Figura 36. Contatos



Fonte. Autor

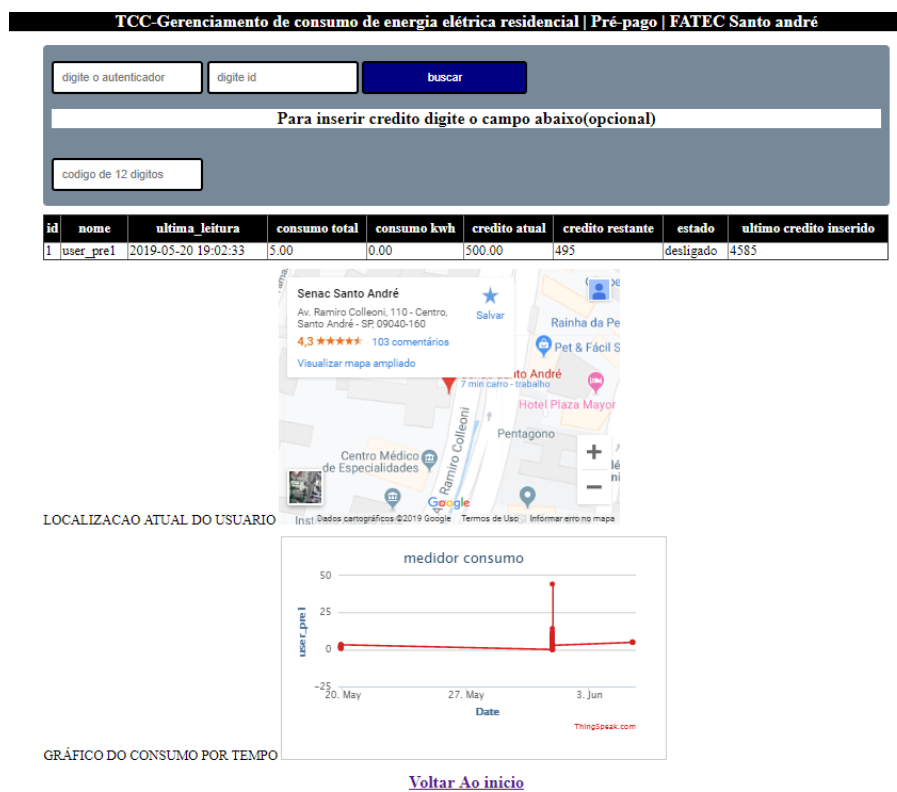
A figura 36 mostra o redirecionamento para a página /pre, o usuário tem acesso a tela de login, ele tem que inserir seu login e senha, com isso será mostrado todos os dados relevantes.

- Coluna ID, mostra a identificação numérica do usuário para o sistema.
- Coluna nome, nome do usuário na demonstração temos como exemplo user_1
- Coluna ultima_leitura, hora e data da última atualização.
- Coluna consumo total, mostra o consumo do usuário, não somente do mês, mas o total dês do início da medição.
- Coluna consumo kwh, mostra o consumo de kwh, essa coluna serve apenas para amostra de consumo por hora.
- Coluna crédito atual, o crédito inserido do cliente, não somente do mês, mas os créditos inseridos dês do início de sua
- Localização atual e uma forma de mostrar como e possível inserir endereços para localizar a manutenção a ser feita.
- Gráfico de consumo e gerado a partir da plataforma thingspeak (já foi explicada em capítulos anteriores)

Após ser redirecionado para a página /pos de pós-pago, as opções são as mesmas, com a única diferença de que na aba pré-pago, existe a opção de inserir o

um código para ser comparado em um banco de dados. Caso o código corresponder ao digitado, o devido crédito é inserido.

Figura 37. tela acesso pré-pago



Fonte. Autor

A figura 37 mostra o redirecionamento para a página “O&M pós-pago” ou “O&M pré-pago” (apesar de serem links separados, as opções são bem semelhantes), o operador pode escrever nas observações, e esta é adicionada ao banco de dados. Assim, o mesmo pode retirar o alarme de porta aberta ou fraude, religando o sistema.

Os parâmetros a serem inseridos são:

- Autenticador, contendo a senha valida do operador;
- Matrícula, o operador deve fornecer sua matrícula;
- Id do usuário, deve ser digitado o número de identificação do usuário que será feita a operação ou manutenção;

- Escreva aqui, observação do operador, dependendo do comando a automação ocorrerá ou não.

Figura 38. Tela de acesso O&M

TCC-Gerenciamento de consumo de energia elétrica residencial | Área Operação | Pré-pago | FATEC Santo André

Descreva abaixo a Operação ou manutenção

escreva aqui

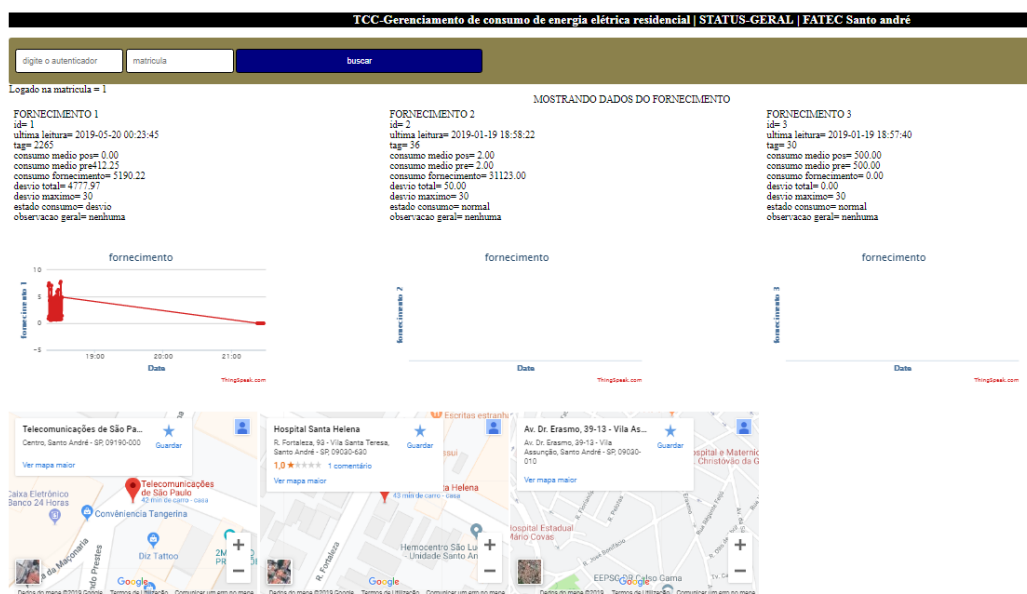
id	nome	ultima_leitura	consumo_watt	consumo_total	credito_atual	credito_restante	estado	credito_in	obs
1	user_pre1	2019-05-20 19:02:33	5.00	0.00	500.00	495	desligado	4585	porta_aberta

[Voltar Ao inicio](#)

Fonte. Autor

A figura 38 mostra o redirecionamento para o link “O&M Ligação e desligamento”, o operador pode digitar os parâmetros necessários para o login. Quando ele escrever pagamento sim, após ser enviado ao banco de dados, a automação será feita religando o medidor pós-pago.

Figura 40. Tela de acesso O&M fornecedores



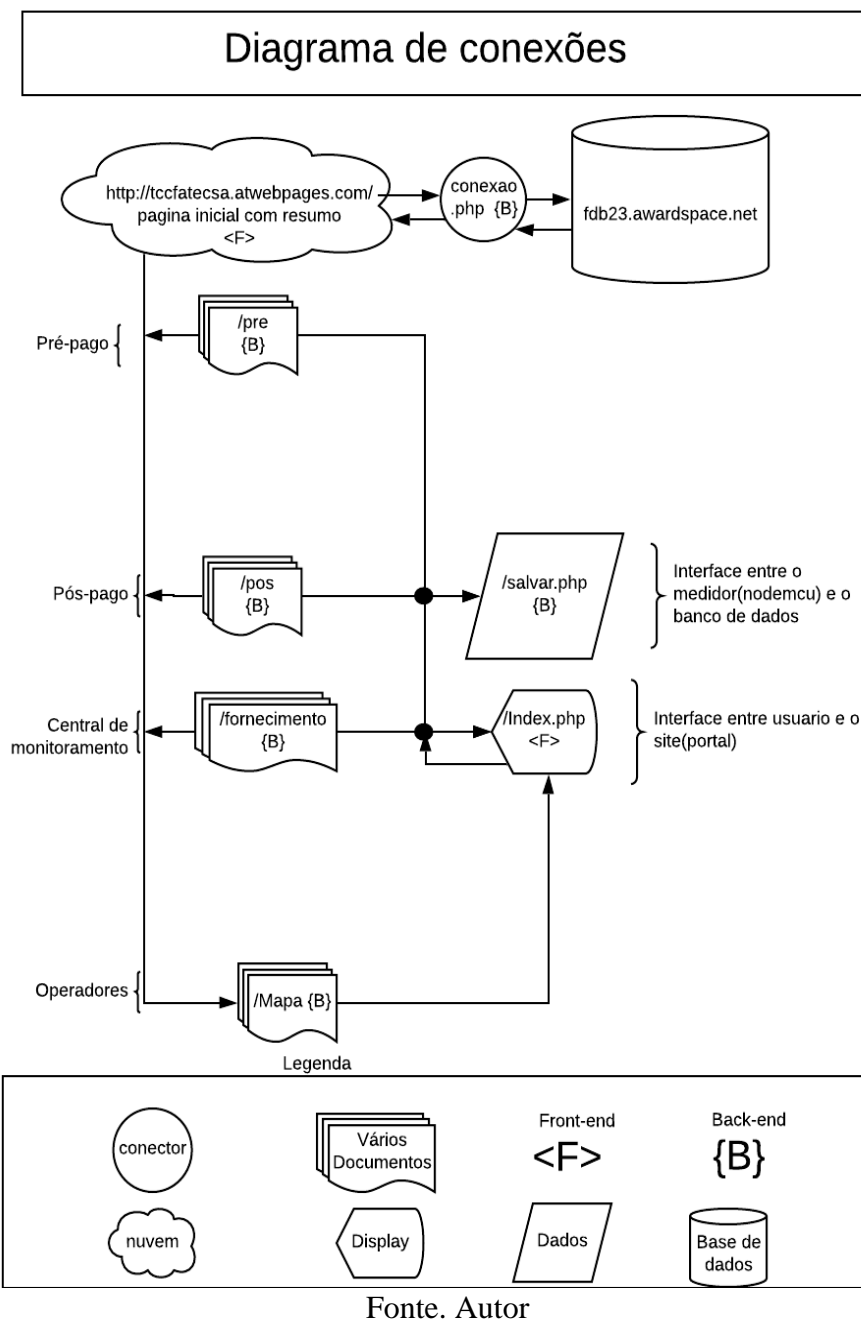
Fonte. Autor

4.2.1. Back-End

Back-end significa “trabalho dos bastidores”, ou seja, quando o usuário digita um endereço no site, é o back-end que processa aquele endereço e envia os dados para o front-end apresentar na tela, por sua vez faz a interface com o banco de dados. Foi utilizado o PDO(PHP Data Objects). Este é um módulo de PHP montado sob o paradigma Orientado a Objetos e cujo objetivo é padronizar uma forma que o PHP se comunique com um banco de dados, o código está no Apêndice-E, e a sua implementação no nosso servidor foi:

- Conexao.php – Função responsável por fazer o conector entre as variáveis e para o banco de dados;
- Index.php - é a página padrão dentro dos diretórios do website, normalmente carregada todas as vezes que uma pasta seja solicitada e não seja especificado o nome de um arquivo, assim o próprio servidor procura pelo arquivo index.html ou index.php, e entrega ao usuário;
- Salvar.php – serve de interface entre o banco de dados e medidores (nodemcu).

Figura 41. Diagrama de conexões



A figura 40 mostra o procedimento padrão que foi implementado ao projeto, muito utilizado em servidores de banco de dados com o PHP/MYSQL. cada acesso que utiliza a função conexão.php faz:

- Conectar ao servidor;
- Abrir o banco de dados (banco de dados SQL podem ter múltiplos acessos);
- Enviar os comandos SQL;

- Desconectar do servidor;

4.2.2. PHP/Mysql

Como já foi explicado em capítulos anteriores sobre o PHP, o acesso à banco de dados é um dos pontos fortes desta linguagem.

Ele possui acesso nativo ao MySQL. Neste capítulo vamos ver apenas as apenas as funções relativas ao banco MySQL relevantes ao projeto, pois com PHP/MySQL tivemos os resultados satisfatórios.

O MySQL é um servidor SQL e, portanto, seguimos procedimentos e regras para acessar seus dados, o DUMP do projeto está no apêndice E.

As colunas que foram introduzidas no projeto foram:

Coluna 2922783_tccweb.controle_pre, contém os dados dos créditos seus códigos e valores como mostra o quadro 4, assim que inserimos um código compatível com a linha cred_key(12 dígitos), é adicionado uma quantidade de crédito compatível com a coluna inserir_c .

Quadro 4 . Estrutura da tabela Controle pré-pago

Coluna	Descrição
Id	Identificação do usuário
cre_key	Código de 12 dígitos, esse é o operador referente ao processo pré-pago
inserir_c	Contém o valor do código a ser inserido
Obs	Observações relevantes

Fonte. Autor

Coluna 2922783_tccweb.fornecimento, contém os dados das centrais que monitoram o fluxo de energia, o quando quadro 5 mostra a descrição .

Quadro 5. Estrutura da tabela Fornecedor

Coluna	Descrição
Id	Identificação do usuário
ultima_leitura	Hora e data de sua última atualização
Tag	Variável de controle usada no trigger(tr_aux_form)
consumo_medido_pos	Consumo medido total pós-pago
consumo_medido_pre	Consumo medido total pré-pago
consumo_fornecimento	Todo o consumo medido pelo central.
desvio_total	Operação algébrica consumo_fornecimento - (consumo_medido_pos + consumo_medido_pre)
desvio_maximo	Desvio máximo permitido pela central (%), estabelecido para o teste um valor de 30%.
estado_consumo	Consumo total com desvio ou normalizado
obs_geral	Observações relevantes
Grafico	Mostra um gráfico dos valores medidos
Localizacao	Mostra onde está localizado o equipamento
link_enviar	Variável de controle entre o equipamento (esp32), e o servidor

Fonte. Autor

Coluna 2922783_tccweb.o&m, contém os dados referente ao acesso dos operadores, o quadro 6 mostra a descrição.

Quadro 6. Estrutura da tabela o&m

Coluna	Descrição
<i>matricula</i>	Identificação do operador
Nome	Nome do operador
Cargo	Cargo do operador, assim é possível saber em que tipo de operação o operador tem permissão para executar
user_pass	Senha do operador
Obs	Observações relevantes

Fonte. Autor

Coluna 2922783_tccweb.pre, contém os dados referente aos usuários pré-pago, tanto seu consumo quanto dados para seu acesso, o quadro 7 mostra a descrição.

Quadro 7. Estrutura da tabela pré

Coluna	Descrição
Id	Identificação do usuário
Nome	Nome do usuário
Grupo	Refere-se ao ID do fornecedor(central) que esse medidor está atrelado
ultima_leitura	Hora e data de sua última atualização
consumo_total	Consumo total do usuário
consumo_kwh	Consumo total do usuário em KWH
credito_atual	Crédito total do usuário
cred_restante	Operação algébrica consumo_total - credito_atual
Estado	Medidor ligado ou desligado
credito_in	Último crédito inserido
Obs	Observações relevantes
localizacao	Localização do usuário
Grafico	Gráfico com os dados do consumo
link_enviar	Variável de controle entre o equipamento (esp32), e o servidor

Fonte. Autor

A Coluna 2922783_tccweb.pos e idêntica a coluna 2922783_tccweb.pre, ela apenas não contém as linhas referentes a crédito.

A coluna 2922783_tccweb.aux_fornecedor, 2922783_tccweb.aux_pre e 2922783_tccweb.aux.pos, contém os dados semelhantes as suas colunas principais.

5. CONCLUSÃO

Para atingir a clareza desta prática buscamos objetivos específicos. Com respeito ao conjunto da parte eletrônica a disposição dos componentes necessários para o bom funcionamento se mostrou satisfatório, evidenciados nos testes, juntamente com o microcontrolador esp32 que atendeu todos os requisitos do projeto, porem devido a custos tanto dos sensores quanto dos componentes utilizados neste projeto, foi feito somente o monitoramento do sistema monofásico, mas o suficiente para simular o objetivo proposto do projeto.

Para o banco de dados foi escolhido o MYSQL, inicialmente foi instalado um banco de dados online, mas devido a problemas com instabilidade de conexão com o servidor(internet), a apresentação foi feita com o servidor apache, que se mostrou estável e atendeu plenamente aos requisitos necessários para o teste.

A aplicação WEB, mostrou-se estável tanto como interface entre os equipamentos (IOT), como interface gráfica para o usuário. Durante a pesquisa das referências, percebemos que a maioria dos países que aceitaram o sistema tiveram boas aceitação por parte dos consumidores, mesmo havendo alguns problemas técnicos.

Com base nos testes, foram constatadas possíveis melhorias no projeto. Descentralização do fluxo de dados a fim de diminuir o fluxo de dados entre o servidor e clientes.

Em pesquisas futuras podem ser implementados novos protocolos para um envio de dados de uma maneira mais eficiente, com implementação de aprendizagem de máquina (*Machine Learning*), para converter um fluxo de dados grande em informações relevantes. Uma possível vertente do medidor de energia inteligente seria a implementação de comunicação via rede elétrica, também conhecida como CLP (Power Line Communication), assim utilizando a própria estrutura da rede elétrica existente .

6. BIBLIOGRAFIA

ABRADEE. **Redes de Energia Elétrica**. Disponível em:

<http://scholar.copyspider.net/view/showStudyInCS3.php?&cfa=3bea2a6fc5ff7bfc4af976efbb25d0e5a5150909&changeLang=pt_br/> Acesso em: 06 set. 2018

ANEEL. **RESOLUÇÃO Nº 505**, de 26 de novembro de 2001. Estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2001505.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

ANEEL. **Geração de Energia no Brasil**. Disponível em:

<<http://www.ienergia.com.br/energia/geracao.aspx/>> Acesso em: 5 set. de 2018.

ANEEL. **Perdas de Energia**. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao//asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800> Acessado em: 5 set. 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL aprova pré-pagamento de energia**. abr. 2014. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=7810&id_area=90>. Acesso em: 21 ago. 2018.

Aranda, V.; Historia y evolución de los lenguajes de programación. Manual formativo de ACTA, Espanha, nº 34, p. 85 – 95, 2004.

ASSIM QUE FAZ. **Como Ler o Medidor de Luz**. Disponível em:

<<https://www.assimquefaz.com/como-ler-o-medidor-de-luz/>> Acesso em: 21 set. 2018.

BLEY, Punaro. **Medição de Cargas Monofásicas**. Disponível em:

<<Sites.google.com/site/punaroblely/teste-1>> Acesso em 19/08/2018.

<www.light.com.br/par-residencias/Simuladores/leitura.aspx> Acesso em: 20 ago. 2018.

Boylestad, R.L. et. al. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos 8ª edição**. Tradução: Rafael Monteiro Simon. São Paulo: Pearson, 2005.

BRACIER, Comitê Brasileiro da Comissão de Integração Elétrica Regional. **Sistema pré-pago de energia começa a funcionar no Amazonas**. nov. 2017. Disponível em:

<<https://www.bracier.org.br/noticias/brasil/1542-sistema-pre-pago-de-energia-comeca-a-funcionar-no-amazonas.html> >. Acesso em: 21 ago. 2018.

Canaes, José Edimilson. **Sistema Alternativo de Pagamento de Energia Elétrica “ Uma Opção Nacional de Baixo Custo”**. pg. 20- 22

Camargo, Adriana Javier Custódio de. **O sistema pré-pago de utilização da água e outros métodos eletrônicos de controle de uso da água**. mar 2005

<<https://jus.com.br/artigos/6505/o-sistema-pre-pago-de-utilizacao-da-agua-e-outros-metodos-eletronicos-de-controle-de-uso-da-agua/2>>

Acesso em: 1 set. 2018

Callister, W.D. Jr.; Rethwisch, D. G. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS UMA INTRODUÇÃO**. 8 ed. Tradução: Sérgio Murilo Stamile Soares. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2012, p. 256.

Costa, Daiane. **Conta de luz pré-paga divide opiniões**. 22 set. 2012. Disponível em:

<<https://oglobo.globo.com/economia/conta-de-luz-pre-paga-divide-opinioes-6118582> >. Acesso em: 26 ago. 2018

Date, C. J.; Introdução a Sistemas de Banco de Dados. Campus, 1989.

Duckett J. - HTML & CSS: Design and Build Websites – 1ª Ed. John Wiley & Sons, Indianapolis, 2011.

Demetras, Ezequiel-**SCT-013 – SENSOR DE CORRENTE ALTERNADA COM ARDUINO**

Disponível em:

<http://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>. Acesso em: 2 mar. 2019

Elías, J.; Implementación de WPS en el firmware NodeMCU para el ESP8266. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2016

Elmasri, R.; Navathe, S. B.; Sistemas de Bancos de Dados, 6ª ed., Editora Pearson, 2011.

ENSA-Elektra Noroeste S.A. **Energía Prepago**. [2018]. Disponível em:

<<https://www.ensa.com.pa/servicio/energia-prepago>> Acessado em : 22 set. 2018

ESPRESSIF- resources. Disponível em:

< <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/resources> >
Acessado em: 20 mar. 2019

FILIPEFLOP. **Sinais analógicos no NodeMCU**. Como usar sinais analógicos no NodeMCU com o LM358.

Disponível em:<<https://www.filipeflop.com/blog/trabalhando-sinais-analogicos-no-nodemcu-esp8266/>> Acessado em: 19 jan. 2019

Idec, Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Organizações se manifestam contra norma que autoriza energia pré-paga**. mar. 2018; atualizado em: jun. 2018. Disponível em:

<<http://www.idec.org.br/noticias/organizacoes-se-manifestam-contra-norma-que-autoriza-energia-pre-paga>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

INÁCIO CORREIA, Alexandro. **Instalações Elétricas e Usinas Hidrelétricas**. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/instalacoes-eletricas-e-usinas-hidreletricas/156841/>> Acesso em: 21 set. 2018.

Melchiorretto, A.; Virtualização do mundo. In: Revista Filosofia, ciência & vida. Ano IX – no. 116. Editora Escala, 2016, p.54.

Motta, Leonardo. ISTOÉ Dinheiro. **Choque de investimentos**. fev. 2018. Disponível em:

<<https://www.istoedinheiro.com.br/choque-de-investimentos/>> Acessado em: 22 set. 2018.

MYSQL. **Por que o MySQL?**. Disponível em:

< <https://www.mysql.com/why-mysql/>> Acessado em: 20 jan. 2019.

OFGEM, **Energy Supply Probe – Initial Findings Report**. Out. 2008.

Disponível em:

<<https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/38437/energy-supply-probe-initial-finding>> Acesso em: 22 set. 2018

Oliveira, A. Autenticação em redes wireless com certificação digital evitando “evil twin”. Brasília: UniCeub. 2007.

OWEN, Gill, WARD, Judith. Smart pre-payment in Great Britain, mar.2010. Sustainability First

PAGLIACCIO. Mauricio - **Você sabe como funciona o relógio medidor de energia elétrica?** Disponível em: <<https://fastseg.blogspot.com/2015/11/como-funciona-o-relogio-medidor-de-energia-eletrica.html>> Acessado em: 22 set. 2018.

PHP. **Documentation**. Disponível em:

< http://php.net/manual/pt_BR/> Acessado em: 21 jan. 2019.

JEITTO, **Pré ou pós-pago: quais as vantagens e desvantagens de cada plano?**. 25 set 2017

<<https://www.jeitto.com.br/blogpost/pre-ou-pos-pago-vantagens-desvantagens/>> Acesso em: 1 set. 2018

Reuters, ÉPOCA NEGÓCIOS. **Investimento global em eletricidade ultrapassa petróleo e gás pelo 2º ano, diz IEA**. jul. 2018. Disponível em:

<<https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2018/07/epoca-negocios-investimento-global-em-eletricidade-ultrapassa-petroleo-e-gas-pelo-2-ano-diz-iea.html>> Acesso em: 22 set. 2018.

Rufino, N.; Segurança em Redes sem Fio Aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth - 2ª Ed., Novatec, 2011.

Silberschatz, A.; Korth, H.F.; Sudarshan, S.; Sistema de Banco de Dados. 6ª edição. Editora Campus, 2012.

Sincon -Sindicato dos Condomínios Prediais do Litoral Paulista.

ELETRICIDADE PRÉ-PAGA. Veiculado no Jornal A Tribuna de Santos, mar. 2018.

Disponível em:

<<http://www.sicon.org.br/noticias/4686-eletricidade-pre-paga>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

Smart Grid. infraestrutura. Disponível em:

<[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2010_2/livia/infraestrutur a.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2010_2/livia/infraestrutur_a.html)> Acessado em: 22 jan. 2019.

Taka, O.K.; Italiano, I.C.; J.E. Ferreira. Introdução ao Banco de Dados.

Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ime.usp.br/~jef/apostila.pdf>. 2005.

Tanenbaum, A. S.; Wetherall, D. - Redes de Computadores - 5ª Ed.,

Pearson Prentice Hall, 2011.

Tanenbaum, A. S. – Redes de Computadores – 4ª Ed., Editora Campus

(Elsevier), 2003.

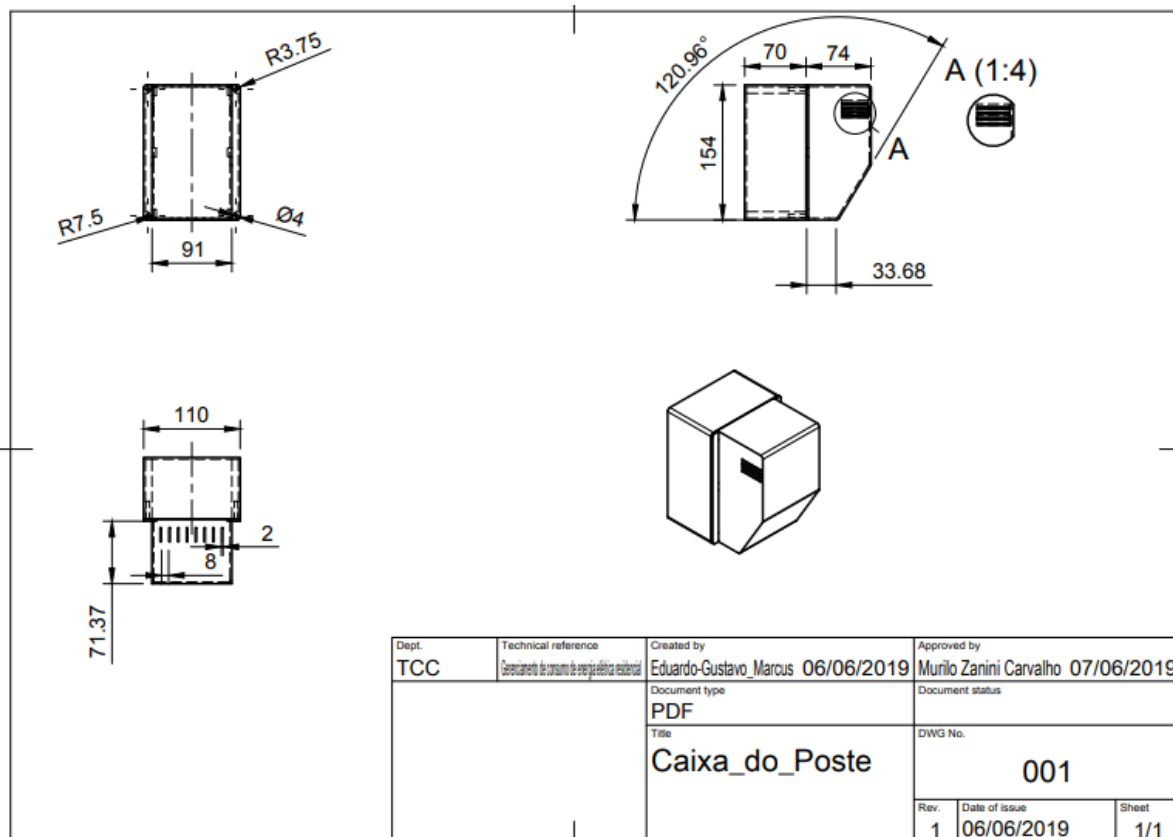
Thingspeak. **About ThingSpeak.** Disponível em:

< https://thingspeak.com/pages/learn_more/> Acessado em: 23 jan. 2019.

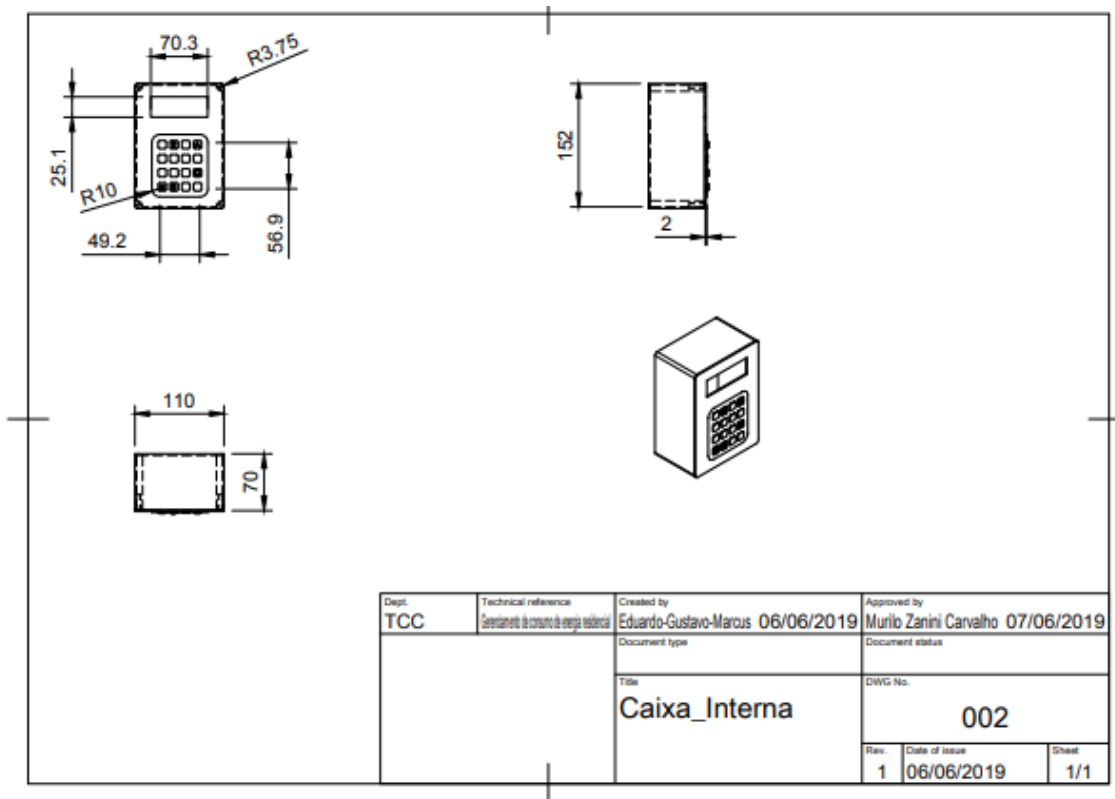
Toledo, F.; Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes. 1ª edição. Editora

Braport, 2012.

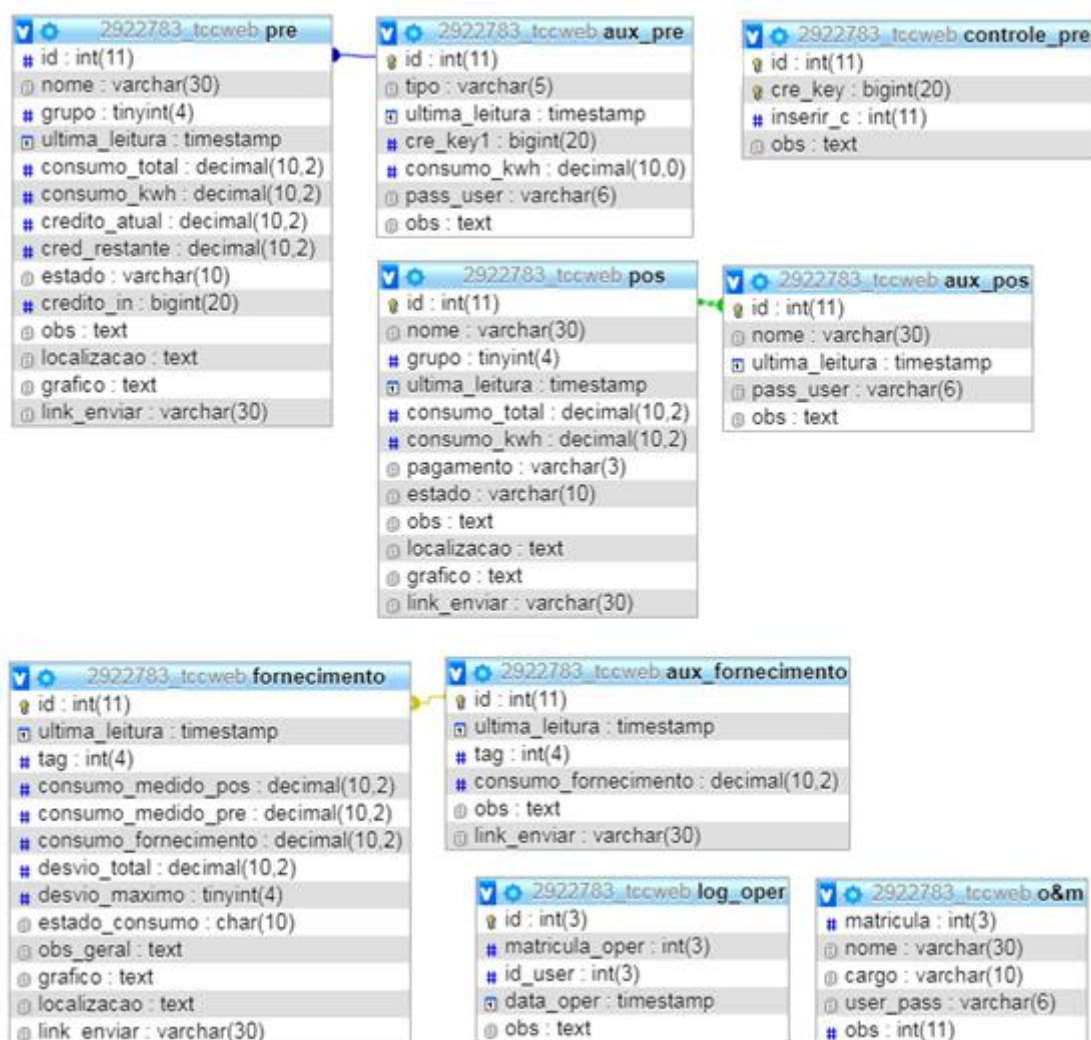
APÊNDICE B- Caixa interna



APÊNDICE C- Caixa externa



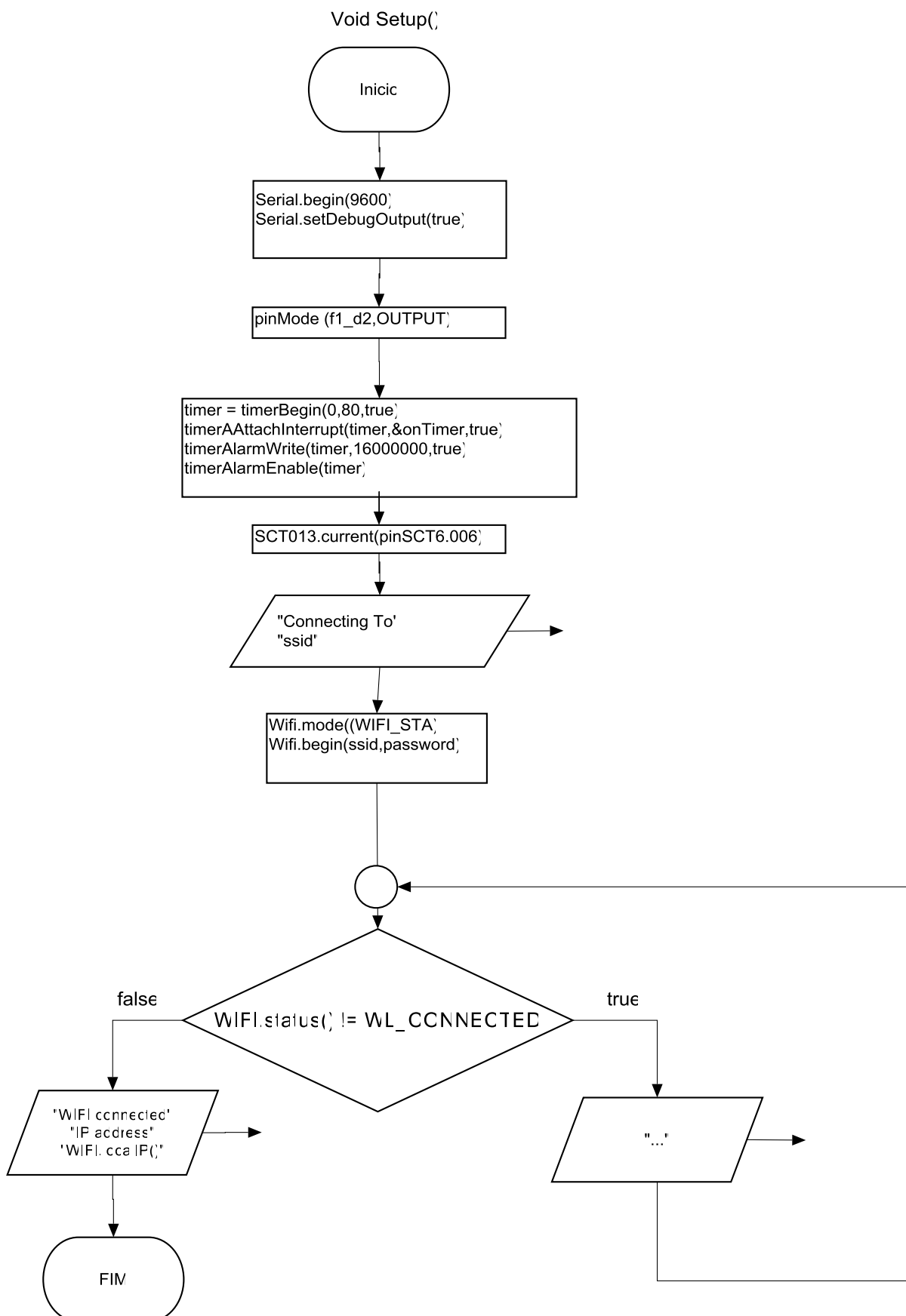
APÊNDICE D – DER – diagrama entidade relacionamento

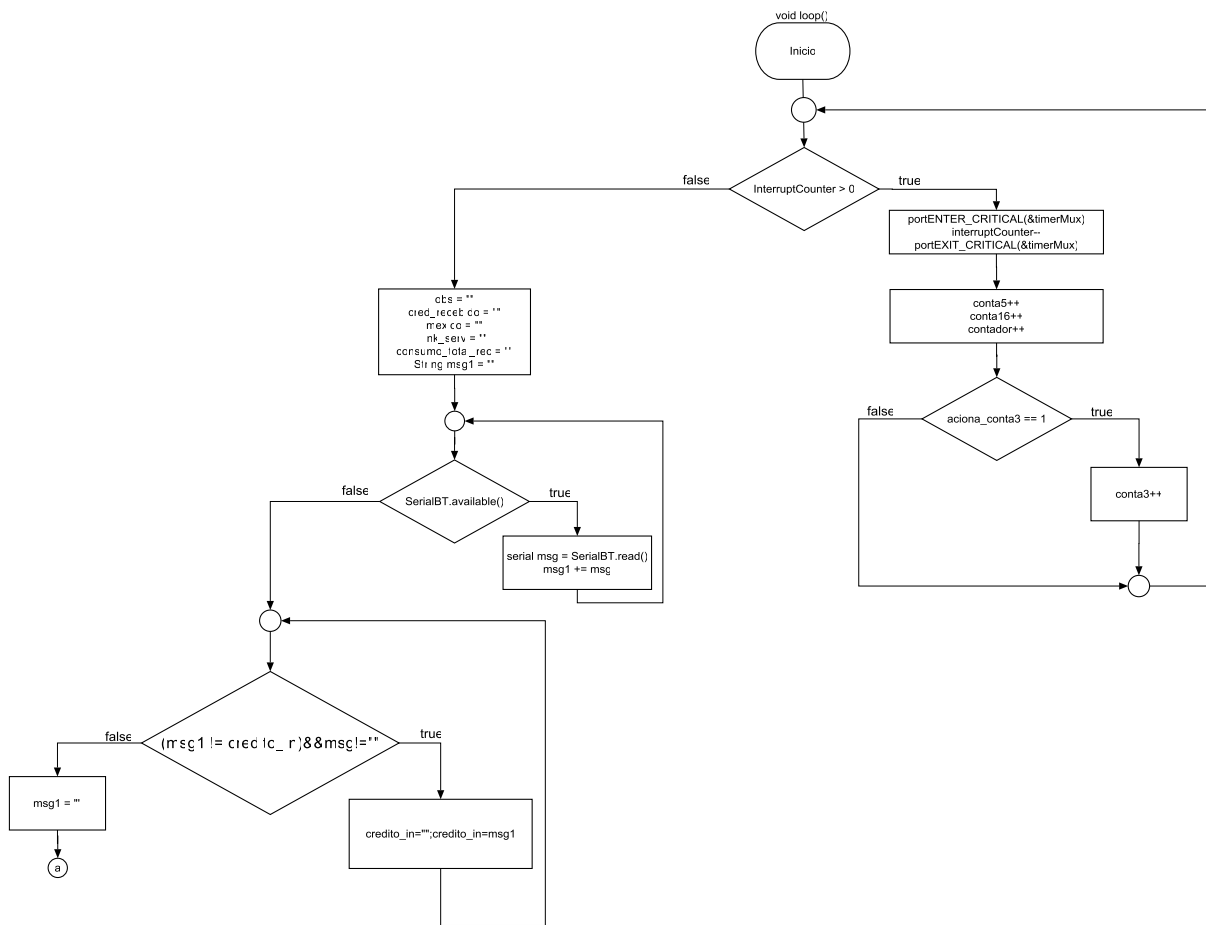


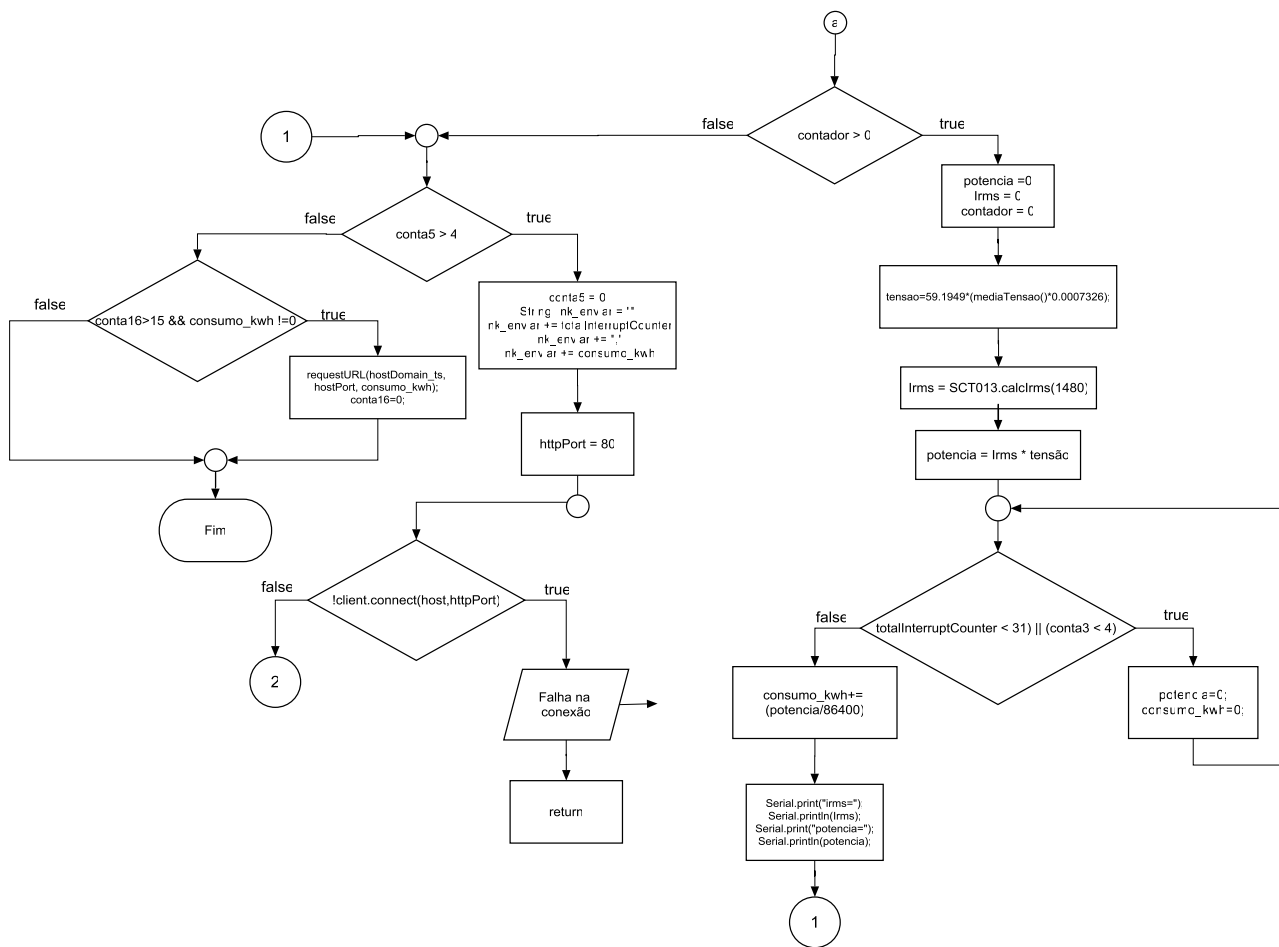
APÊNDICE E – GitHub

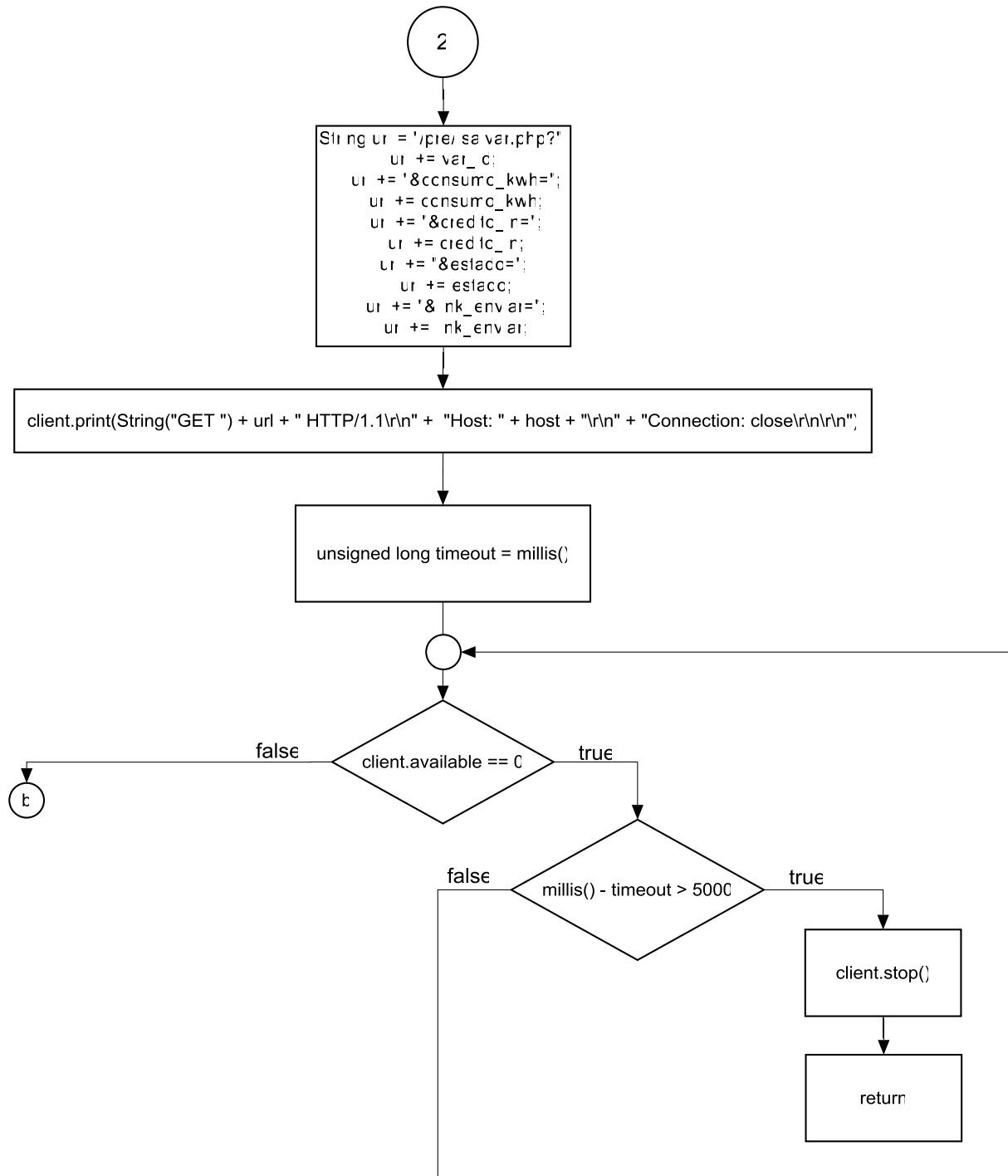
Os códigos referentes a esse projeto podem ser encontrados no link a seguir: <https://github.com/hotstation/tcc.git>

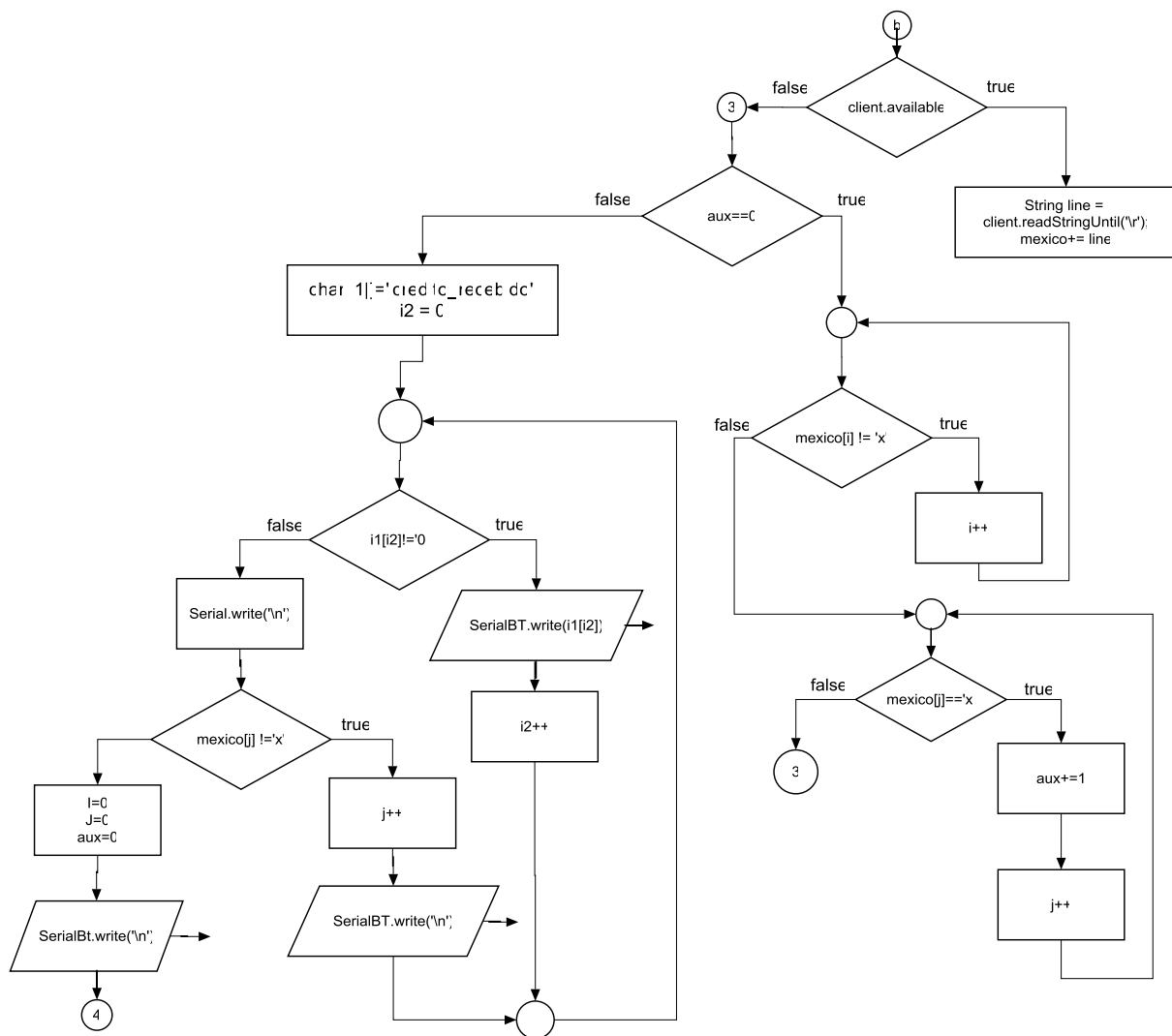
APÊNDICE F – Fluxograma do esp32 nodeMCU

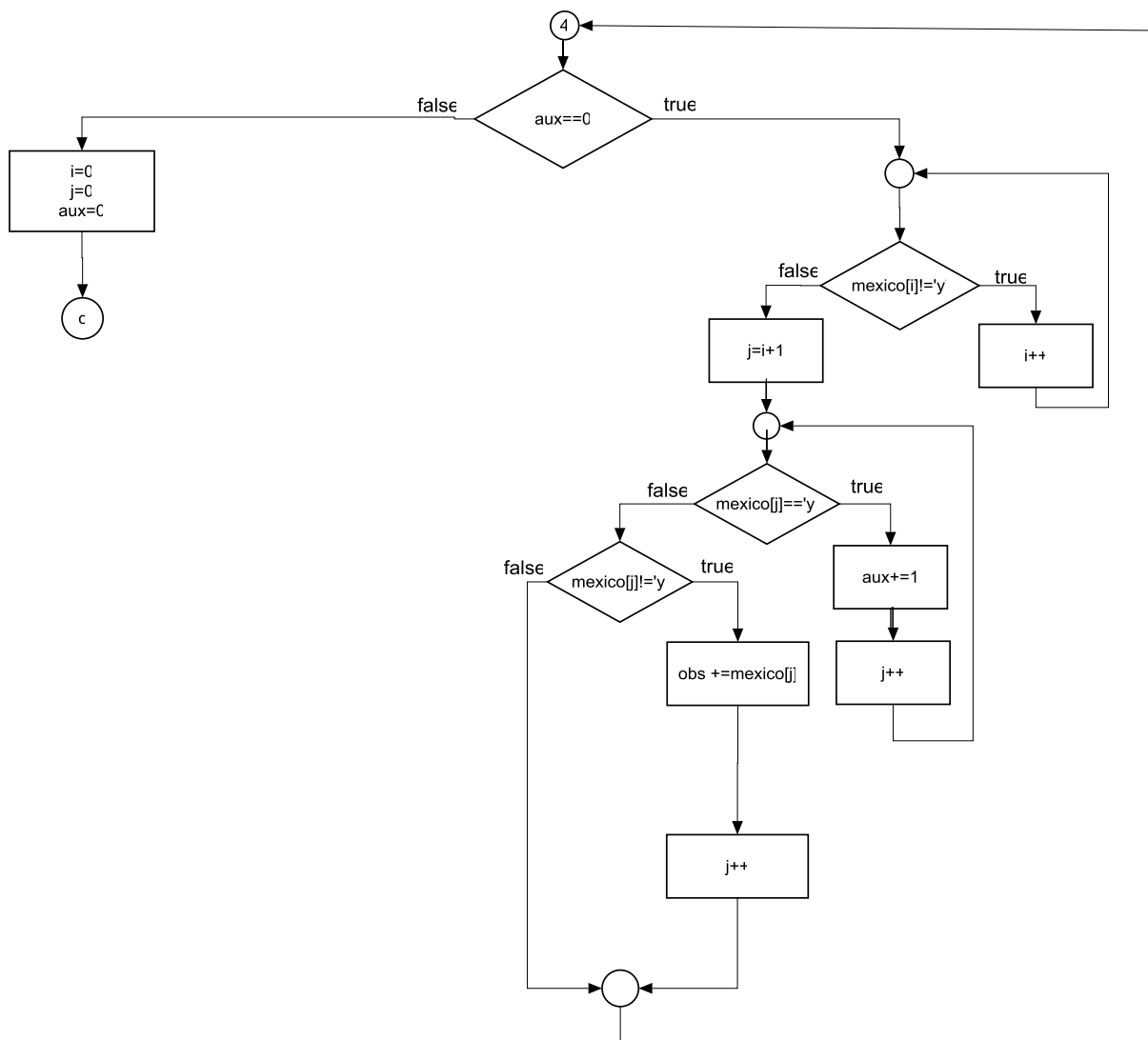


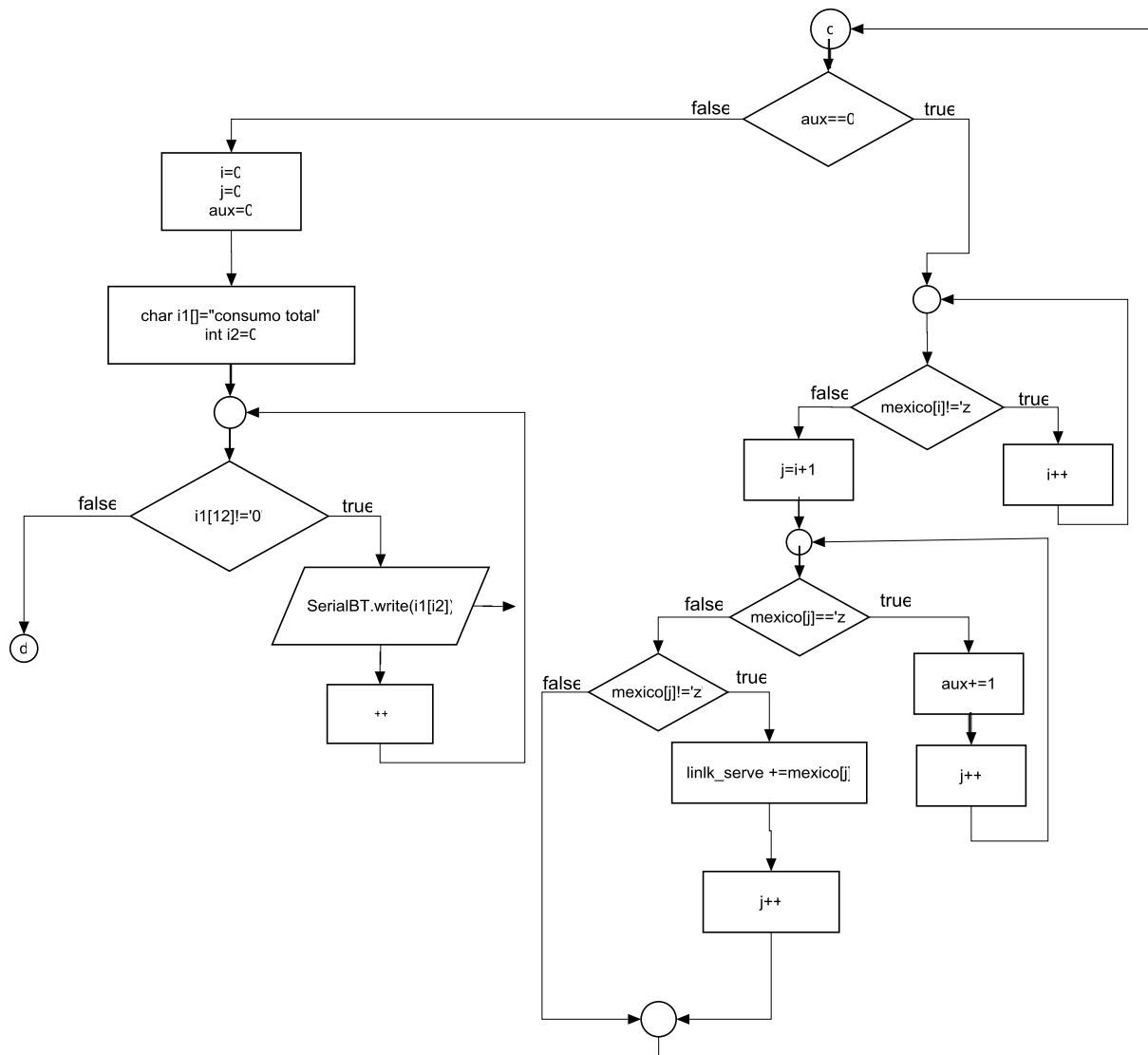


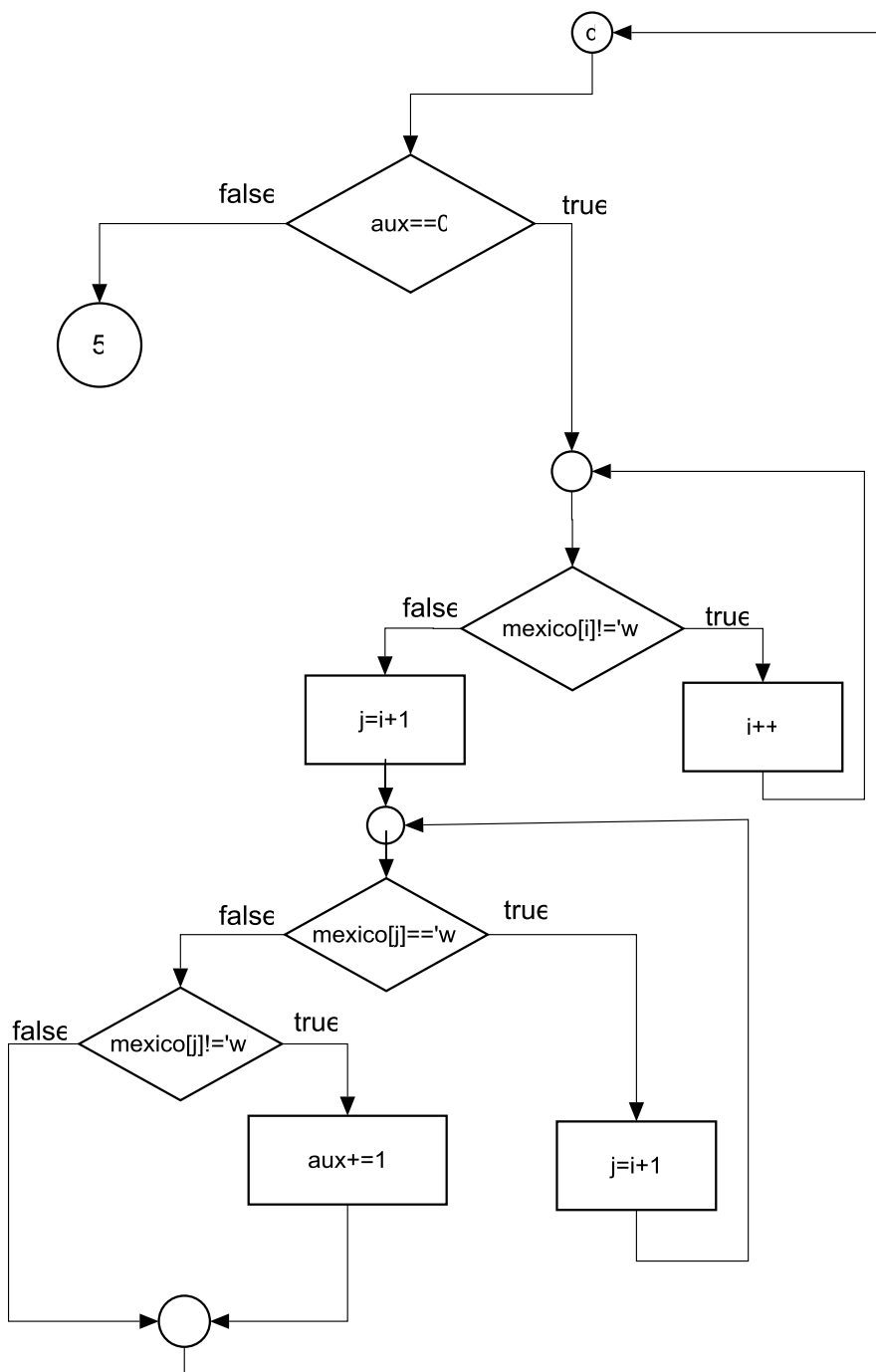


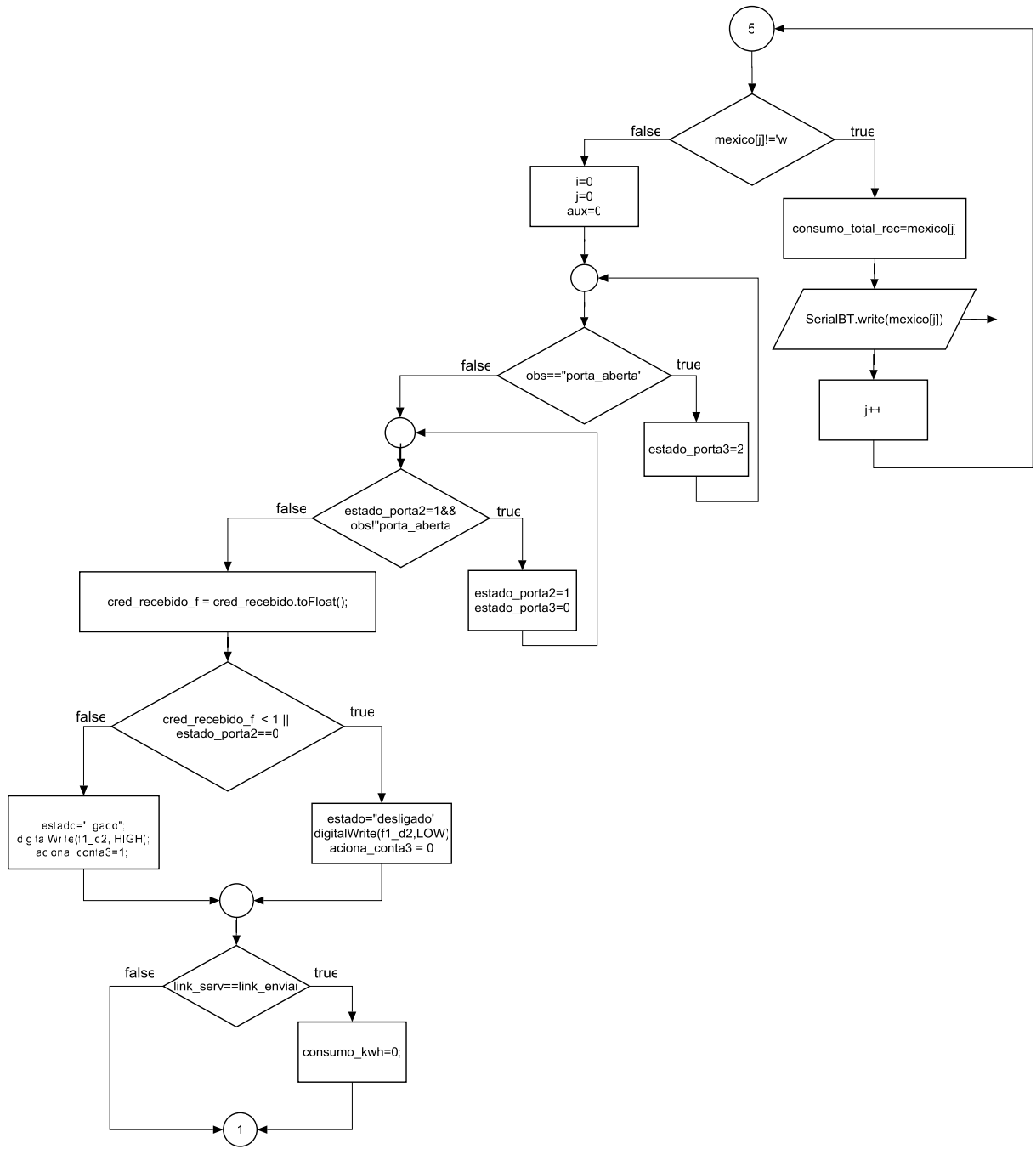












Void requestURL(const char *host_ts, uint8_t port_ts, float consumo_kwh)

