



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ENGENHARIA ELECTRÓNICA LABORAL
TRABALHO DE LICENCIATURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA
COMO ALTERNATIVA À REDE INTELIGENTE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉCTRICA**

Autor : Hermenegildo Nunes Januário Fombe

Supervisor : Msc. Hélder Baloi, Eng

Maputo, 2023

Hermenegildo Nunes Januário Fombe

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA
COMO ALTERNATIVA À REDE INTELIGENTE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉCTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Departamento de Engenharia Electrotécnica, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Eduardo Mondlane(UEM) - Maputo, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Electrónica.

Supervisor : Msc. Hélder Baloi, Eng

Maputo, 2023

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO TL



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TL

Declaro que o estudante **Hermenegildo Nunes Januário Fombe** entregou no dia 20 de Julho de 2023 as 3 cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência:
Intitulado: **Desenvolvimento de um sistema de gestão de energia eléctrica como alternativa à rede inteligente de distribuição de energia eléctrica.**

Maputo, 20 de Julho de 2023

O Chefe de Secretaria

Conteúdo

Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas	VII
Lista de Siglas	VIII
Declaração de Honra	IX
Dedicatória	X
Epígrafe	XI
Agradecimentos	XII
Resumo	XIII
Abstract	XIV
1 Contextualização do tema	1
1.1 Introdução	1
1.2 Definição do Problema	2
1.3 Objectivos	2
1.3.1 Objectivo Geral	2
1.3.2 Objectivos Específicos	2
1.4 Justificativa	3
1.5 Metodologia	3
1.5.1 Classificação da pesquisa	3
1.5.2 Etapas de elaboração do trabalho	4
1.5.3 Ferramentas Usadas	4
1.6 Estrutura do trabalho	5
2 Revisão da literatura	6
2.1 Energia Eléctrica	6

2.2	Qualidade da energia eléctrica	8
2.2.1	Variação da frequência da rede	8
2.2.2	Baixo factor de potência	9
2.3	Medição da Energia Eléctrica	9
2.3.1	Contador Electromecânico	9
2.3.2	Contador Estático ou Electrónico	10
2.4	Rede Actual	11
2.4.1	Problemas da rede actual	12
2.5	Rede eléctrica Inteligente	13
2.5.1	Principais Características da Rede Inteligente	13
2.5.2	Desafios para a implementação da rede inteligente	14
2.5.3	Microrrede	15
2.6	Trabalhos anteriores	16
2.6.1	Development of Microcontroller Based Smart Grid Framework	16
2.6.2	Sistema Inteligente de Gestão de Energia Eléctrica – Comunicações Wireless	17
3	Materiais e Metodologias de Trabalho	18
3.1	Funcionalidades do sistema	18
3.2	Utilizadores do sistema	19
3.3	Modelagem do sistema proposto	19
3.3.1	Restrições do Sistema	19
3.3.2	Requisitos do sistema	20
3.3.3	Arquitectura do sistema	20
3.4	Descrição técnica da solução	21
3.5	Microcontrolador	21
3.6	Fonte de Alimentação do Sistema	23
3.7	Medidor de tensão	24
3.7.1	Transformador de tensão LV25-P	25
3.8	Medidor de corrente	30
3.8.1	Transformador de Corrente	30
3.9	Medição da Energia consumida	31
3.10	Qualidade de energia eléctrica e eficiência energética	32
3.10.1	Frequência da rede	32

3.10.2	Corrector do factor de potência	32
3.11	Projecto da Microrede	35
3.11.1	Seleção do módulo fotovoltaico	36
3.11.2	Dimensionamento do Inversor	36
3.11.3	Controlador de carga	38
3.12	Detecção de fraudes	38
3.13	Accionamento remoto de cargas	39
3.14	Sistema Recarregamento	40
3.15	Sistema de notificação	40
3.16	Desenvolvimento da Página Web	40
3.17	Protocolos de comunicação usados	41
3.17.1	Protocolo HTTP	42
3.17.2	Protocolo SMTP	42
3.18	Software do Microcontrolador	42
3.18.1	Software do medidor de energia	43
3.18.2	Software do corrector de factor de potência	43
3.18.3	Software do Inversor	43
4	Resultados e discussões	45
4.1	Interface do consumidor	46
4.2	Estrutura de medição	46
4.2.1	Medidor de tensão	46
4.2.2	Medidor de corrente	47
4.2.3	Inversor	47
4.2.4	Corrector do factor de potência	49
4.2.5	Actuadores	51
4.3	Aplicações e Serviços	52
4.4	Placa de circuito impresso da interface do consumidor	53
4.5	Placa de circuito impresso da estrutura de medição	53
4.6	Orçamento do Projecto	54
5	Conclusões, limitações e recomendações de estudo	55
5.1	Conclusões	55
5.2	Limitações	55

5.3	Recomendações de estudo	56
-----	-----------------------------------	----

Referências Bibliográficas	59
-----------------------------------	-----------

Anexos	A
---------------	----------

Anexo 1: Folha de dados do transformador de tensão	1
Anexo 2: Folha de dados do transformador de corrente	2
Anexo 3: Folha de dados do AMPOP LM324	3
Anexo 4: Parâmetros a e b para filtros Butterworth até oitava ordem	4
Anexo 5: Folha de dados da porta XOR SN74HC86	4
Anexo 6: Folha de dados do módulo fotovoltaico	5
Anexo 7: Folha de dados do fotoacoplador 4n35	6
Anexo 8: Folha de dados do driver TLP250	7
Anexo 9: Folha de dados do MOSFET IRF540N	8
Anexo 10: Especificação da capacidade dos actuadores	9
Anexo 11: Programa do microcontrolador do contador do consumidor	10
Anexo 12: Programa do microcontrolador do inversor	11
Anexo 13: Programa do microcontrolador principal	12
Anexo 14: Programa do microcontrolador do corrector do factor de potência	13
Anexo 15: Serviços dedicados ao consumidor	14
Anexo 16: Serviços dedicados ao gestor	15

Lista de Figuras

2.1	Triângulo de Potência, Fonte: Silva e Lima (2018, p.9)	7
2.2	Contador Electromecânico, Fonte: Pontes (2015, p.14)	10
2.3	Contador Credelec, Fonte: EDM (2023)	11
2.4	Rede de distribuição de energia eléctrica actual, Fonte: Estratégicos (2012, p.12)	11
2.5	Rede Inteligente, Fonte: Fardin (2015, p.13)	13
2.6	Microrrede, Fonte: Mayfield (2022)	15
2.7	diagrama do circuito, Fonte: Biswas (2021, p.338)	16
3.1	Arquitectura do Sistema	21
3.2	Blocos funcionais da solução	21
3.3	<i>Esp32 e Arduino Nano</i> , Fonte: Espressif (2023) e Arduino (2023)	22
3.4	Circuito de alimentação do sistema, Fonte: O autor	24
3.5	Transformador de tensão LV25-P	25
3.6	Circuito de accionamento do transformador de tensão	26
3.7	Saída do transformador de tensão	27
3.8	Somador inversor	27
3.9	Saída do somador	28
3.10	Filtro activo inversor de segunda ordem	28
3.11	Resposta do filtro	29
3.12	Medidor de tensão	30
3.13	Saída do medidor de tensão	30
3.14	Transformador de corrente SCT013-000	31
3.15	Circuito de medição de corrente	31
3.16	Circuito detector de desfasamento	33
3.17	Bancada de capacitores	35
3.18	Sistema de geração de energia, Fonte: Neosolar (2015)	35

3.19	Circuito do inversor, Fonte: Ferroni (2018, p.34)	37
3.20	Circuito controlador de carga	38
3.21	Detecção de fraudes	39
3.22	Acesso remoto de cargas	39
3.23	Esquema dos actuadores	39
3.24	Arquitectura do sistema de notificação	40
3.25	Arquitectura da página	41
3.26	Fluxograma do Medidor de energia	43
3.27	Lógica do corrector de factor de potência	44
3.28	Lógica do Inversor	44
4.1	Testes dos circuitos do protótipo (Laboratório de Máquinas UEM-FE)	45
4.2	Interface do consumidor	46
4.3	Estrutura de medição	47
4.4	Medidor de tensão e corrente	49
4.5	Modulação <i>sPWM</i> através do microcontrolador	49
4.6	Circuito detector de desfasamento, Fonte: Autor	50
4.7	Detector de desfasamento	51

Lista de Tabelas

2.1	Investimentos e estimativas para os próximos anos, Fonte: Chapala (2017, p. 887) .	15
3.1	Comparação entre os microcontroladores, Fonte:Fonte: Espressif (2023) e Arduino (2023)	23
3.2	Tabela da verdade da porta <i>XOR</i>	33
3.3	Capacitores da bancada	34
4.1	Medições de tensão da rede	48
4.2	Testes no inversor	48
4.3	Testes do corrector do factor de potência	52
4.4	Orçamento do Projecto	54

Lista de Siglas

API	Application Programming Interface
AMPOP	Amplificador Operacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CI	Circuito Integrado
CSS	Cascading Style Sheets
E	Energia do sinal eléctrico
EDM	Electricidade de Moçambique
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
$i(t)$	Corrente eléctrica instantânea
IMAP	Internet Messaging Access Protocol
IP	Protocolo de Internet
LED	Light-Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PHP	Hypertext Preprocessor
POP	Post Office Protocol
SCT	Split Core Transformer.
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SQL	Structured Query Language
SPWM	Sinusoidal Pulse Width Modulation
SSL	Secure Sockets Layer
$v(t)$	Tensão eléctrica instantânea;
XOR	Exclusive OR

Declaração de Honra

Eu, **Hermenegildo Nunes Januário Fombe**, declaro por minha honra que o trabalho apresentado submetido como trabalho de conclusão do curso para a obtenção do diploma de licenciatura em Engenharia Electrónica pela Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane é resultado das minhas investigações e dos recursos que na base dos mesmos faço referência.

O declarante

(Hermenegildo Nunes Januário Fombe)

Maputo, Junho 2023

Dedicatória

Dedico este trabalho à Deus, meus pais Nunes Januário Fombe e Natália Almeida Paulo Fombe, aos meus irmãos, colegas, amigos e a todos que me educaram, apoiaram, influenciaram e estiveram presentes nos momentos cruciais. Também dedico a todos que sempre acreditaram que a minha jornada é pelo querer e não pela força de uma pressão.

Epígrafe

“Não existem dificuldades para os bravos”

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela vida e por me dar saúde e coragem para realizar essa tarefa, aos meus pais, pelo amor e dedicação que sempre tiveram comigo, com seus exemplos de honestidade, perseverança, fé, compreensão, que me deram forças para seguir em frente, a eles meu eterno agradecimento. Aos meus irmãos que sempre me apoiaram e incentivaram em todo momento que precisei.

Agradeço a oportunidade oferecida pela Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane e a todos os professores e profissionais que contribuem de alguma forma para o ensino de qualidade oferecido pela instituição.

Agradeço em especial o meu supervisor Msc. Hélder Baloi pela orientação na elaboração trabalho.

Por fim, agradeço aos meus colegas, amigos e familiares pelo apoio absoluto ao longo do curso e por permitirem que eu me dedicasse de forma exclusiva aos estudos.

Resumo

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA À REDE INTELIGENTE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Autor : Hermenegildo Nunes Januário Fombe

Supervisor : Msc. Hélder Baloi, Eng

Este trabalho tem como objectivo desenvolver um sistema de gestão de energia eléctrica como alternativa as redes de inteligentes de distribuição de energia eléctrica através do projecto de um sistema microcontrolado. Este sistema é proposto como uma solução para os problemas da rede eléctrica actual como a falta de mecanismos de comunicação, monitoria remota, aumento da eficiência energética entre outras insuficiências. A rede inteligente de distribuição de energia eléctrica é uma infraestrutura de redes e telecomunicações com um conjunto de aplicações e características técnicas tais como interoperabilidade, fluxo bidirecional de energia, capacidade de recuperação de falhas, dentre outras. A arquitectura usada nesse projecto é baseada em diversas unidades com vantagens inerentes tais como uma maior eficiência e confiabilidade no sistema de distribuição de energia eléctrica. O sistema proposto consiste em um conjunto de subsistemas constituído por microcontroladores funcionando de forma síncrona e capazes de reproduzir as principais funções de uma rede inteligente.

Palavras chaves: Sistema de gestão de energia eléctrica, Rede inteligente, Microcontrolador.

Abstract

DEVELOPMENT OF AN ELECTRIC ENERGY MANAGEMENT SYSTEM AS AN ALTERNATIVE TO SMART GRIDS

Author : Hermenegildo Nunes Januário Fombe

Supervisor : Msc. Hélder Baloi, Eng

This work aims to develop an electrical energy management system as an alternative to smart grids through the design of a microcontrolled system. This system is proposed as a solution to the problems of the current electrical network, such as the lack of communication mechanisms, remote monitoring, energetic efficiency improvement and other shortcomings. The smart grid is a network and telecommunications infrastructure with a set of applications and technical characteristics such as interoperability, bidirectional energy flow, failure recovery capacity, among others. The architecture used on this project is based on several units with inherent advantages such as greater efficiency and reliability in the electrical energy distribution system. The proposed system consists of a set of subsystems consisting of microcontrollers working synchronously and capable of reproducing the main functions of a smart grid.

Keywords: Electrical energy management system, Smart grid, Microcontroller.

Capítulo 1

Contextualização do tema

Neste capítulo serão apresentados todos aspectos introdutórios para a elaboração do projecto envolvendo os objectivos da pesquisa, o problema e a justificativa e estrutura do trabalho.

1.1 Introdução

A energia é um recurso vital para o desenvolvimento do país, fundamental para o bem-estar económico e social das pessoas, com o crescimento das cidades e a industrialização dos grandes centros urbanos, a energia eléctrica passou a ser uma componente essencial para o desenvolvimento industrial e para a infraestrutura urbana das cidades. Devido ao desenvolvimento tecnológico exponencial da sociedade, segundo Calhau et al (2014, p.17), actualmente o sistema da rede do século XX não se adapta mais às necessidades do século XXI, que incluem não apenas um aumento na demanda por recursos, mas também na qualidade e na variedade dos serviços providos.

A rede actual do país é caracterizada por ser obsoleta por não possuir mecanismos de comunicação entre a fornecedora e os consumidores entre outras insuficiências. Nesse contexto, enquanto a rede de distribuição de energia eléctrica não é modernizada em direcção às redes inteligentes torna-se oportuno um meio alternativo capaz de tornar o modelo energético actual mais eficiente, por exemplo sob a forma de um sistema inteligente, que possibilitaria o agendamento optimizado das cargas para beneficio não só do consumidor, mas também para diminuir os picos do perfil de consumo, e assim optimizar e estabilizar a rede de energia eléctrica, em várias das suas dimensões.

O projecto apresentado tem como objectivo desenvolver uma alternativa à rede inteligente de modo a responder às necessidades dos dias de hoje.

1.2 Definição do Problema

Os últimos anos têm sido caracterizados pelo crescimento da demanda por electricidade devido a confortabilidade social e ao crescimento da população, o que torna o seu fornecimento indispensável para a sociedade.

Segundo Pomilio (2012, p.2) nos dias de hoje a sociedade depende muito da electricidade para a indústria, condicionamento de ambientes, comunicação, iluminação e entretenimento, e os consumidores têm exigido níveis mais elevados de qualidade e a garantia de fornecimento com continuidade plena da electricidade o que torna mais evidente a necessidade de um sistema mais robusto para suprir as necessidades do consumidor e da fornecedora de electricidade no país.

No contexto moçambicano, nos últimos 10 anos não houve nenhuma mudança revolucionária na estrutura da rede de energia eléctrica do país e não há, até então, indícios de projectos-pilotos para a implementação das redes inteligentes, segundo Chapala (2017, p.1), do momento, talvez o país não esteja em altura de implantar esta tecnologia, não apenas porque os países desenvolvidos ainda estão na fase inicial, mas também, porque os custos financeiros para a sua implementação são elevados, desta forma surge a seguinte questão de pesquisa **Que solução pode ser implementada como alternativa às redes inteligentes no país?**

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo Geral

- Desenvolver um sistema de gestão de energia eléctrica como alternativa às redes inteligentes de distribuição de energia eléctrica através do projecto de um sistema microcontrolado.

1.3.2 Objectivos Específicos

- Fazer levantamento dos requisitos para a modelagem do sistema de gestão de energia eléctrica proposto;
- Construir o protótipo físico do sistema de gestão de energia eléctrica proposto;
- Implementar uma interface para o monitoramento de forma móvel com recurso as plataformas digitais *IoT*.

1.4 Justificativa

Actualmente a rede inteligente de distribuição de energia eléctrica é destacada na indústria de electricidade como a solução para as principais limitações da rede eléctrica convencional devido ao alto grau de automatização, capacidade de deteção de falhas e fraudes eléctricas e a optimização do consumo e a produção de energia eléctrica. A rede inteligente é o futuro da rede eléctrica actual, por esta razão tem sido alvo de debate em plataformas digitais como a *internet*, *handbooks*, artigos e livros através dos quais o autor tomou conhecimento do tema.

Vários países já iniciaram projectos-pilotos para modernização das suas redes eléctrica em direcção às redes inteligentes, no entanto Moçambique não faz parte deste grupo de países, nesse contexto surge o interesse pelo tema com o propósito de desenvolver uma alternativa à rede inteligente.

Este projecto irá contribuir para a optimização do consumo e produção de energia eléctrica uma vez que busca-se por meio desta pesquisa desenvolver um sistema capaz melhorar a gestão de recursos e desempenho da rede, mecanismos de redução de falhas e as perdas eléctricas e suporte para a inserção de fontes renováveis, em suma acredita-se que este projecto pode contribuir para revolucionar a rede eléctrica em Moçambique.

1.5 Metodologia

Nesta secção é apresentada a classificação da pesquisa, a divisão das etapas de elaboração do trabalho e as ferramentas usadas para a elaboração do projecto.

1.5.1 Classificação da pesquisa

O trabalho é classificado da seguinte maneira:

1. **Quanto à natureza** trata-se de uma pesquisa aplicada uma vez que busca gerar conhecimento para a aplicação prática e dirigida a solução de um problema, neste caso a ausência de alternativas as redes inteligentes no país;
2. **Quanto aos objectivos** é uma pesquisa exploratória pelo facto de através dessa pesquisa tentar-se perceber um fenómeno pouco estudado e através destes constituir hipóteses mais explícitas;

3. **Quanto à técnica de pesquisa** é classificada como uma pesquisa bibliográfica uma vez que foram usados manuais, livros, *websites*, artigos, legislação aplicável ao tema para a elaboração do projecto.
4. **Técnica de recolha de dados:** usou-se a observação onde os dados foram recolhidos de forma sistemático através do contacto directo com o sistema desenvolvido.

1.5.2 Etapas de elaboração do trabalho

A elaboração deste trabalho seguiu as seguintes etapas :

1. Pesquisa bibliográfica;
2. Análise do Sistema Actual;
3. Levantamento dos requisitos do sistema;
4. Modelagem do sistema proposto;
5. Desenvolvimento do Sistema;
6. Testes do sistema desenvolvido;
7. Recolha de dados e análise de resultados.

1.5.3 Ferramentas Usadas

As ferramentas usadas para a elaboração do projecto:

1. **Proteus Design Suit** versão 8.13 usado para simulação dos circuitos electrónicos, criação da placa de circuito impresso do projecto e desenho dos esquemas em A3 apresentados nos anexos;
2. **Multisim** versão 14.0 usado para a simulação de projectos electrónicos;
3. **Arduíno IDE** versão 1.8.13 usado para escrever e fazer upload de programas no microcontrolador;
4. **XAMPP** versão 3.3.0 usado para dar suporte a linguagem *PHP* e permitir a criação do servidor *web*;
5. **Geany** versão 1.38 usado para escrever a página *web*.

6. *MySQL* versão 8.0 é um sistema de gestão de banco de dados, que utiliza a linguagem *SQL* (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês *Structured Query Language*) como interface.
7. *Dia* versão 0.97.2 usado para criação dos diagramas;
8. *GeoGebra* versão 6.0.813.0 usado para a representação de gráficos.

1.6 Estrutura do trabalho

Esse trabalho está organizado em cinco capítulos apresentados a seguir:

- **CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA:** neste capítulo é apresentado o tema, o problema a tratar, a relevância da pesquisa, os objectivos específicos e a metodologia de pesquisa usada;
- **CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA:** são apresentados os principais conceitos teóricos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa e o estado de arte;
- **CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E METODOLOGIAS DE TRABALHO:** neste capítulo é apresentada a proposta da solução devidamente fundamentada através de uma perspectiva geral do sistema e modelagem da solução proposta também são apresentados todos pormenores técnicos para a elaboração do trabalho;
- **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES:** são apresentados os resultados experimentais detalhados obtidos a partir da pré-implementação do sistema;
- **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDO:** neste capítulo são apresentados os aspectos finais do trabalho, as principais limitações durante a execução do trabalho e as recomendações para os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Este capítulo tem por finalidade apresentar a revisão da bibliografia relacionada aos conceitos teóricos necessários para a implementação e compreensão do projecto, trabalhos anteriores e o estado de arte no geral.

2.1 Energia Eléctrica

A energia de um sinal eléctrico pode ser definida como o somatório do valor da potência instantânea do sinal.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{inst}(t) dt \quad (2.1)$$

Onde E é dada em Joules [J] e a $\rho_{inst}(t)$ é a potência instantânea de um sinal eléctrico em Watts [W], a potência instantânea é uma grandeza que determina a quantidade de energia transferida por uma fonte por unidade de tempo. Numa rede eléctrica, os dispositivos são alimentados por uma corrente alternada, assim sendo a corrente e a tensão de alimentação possuem uma forma de onda sinusoidal com uma frequência de 50 Hz. A potência eléctrica instantânea de um equipamento alimentado através da rede eléctrica é dado como:

$$\rho_{inst}(t) = v(t) * i(t) \quad (2.2)$$

Usando valores eficazes de tensão e corrente obtém-se:

$$P = V * I \quad (2.3)$$

Quando a impedância associada aos dispositivos é puramente resistiva, então toda a energia

consumida corresponde à energia transformada, por exemplo em luz, calor, som, etc. Por vezes a impedância da carga contém uma componente reactiva, que pode ser indutiva ou capacitiva, isto conduz a um desfasamento φ entre os sinais de corrente e tensão, que será tanto maior quanto maior for a razão da componente reactiva pela resistiva (Ferreira, 2010, p.6).

O desfasamento entre a tensão e corrente faz com que em determinados momentos, o sentido de circulação da corrente seja contrário à queda de tensão nos terminais da carga, nesses instantes a carga devolve energia à rede. Assim, a existência dos componentes reactivos levam ao aparecimento de uma energia que oscila na rede entre a carga e o gerador, este facto tem como consequência o aparecimento de três tipos de potência associada à carga, são elas, potência aparente, potência activa e potência reactiva.

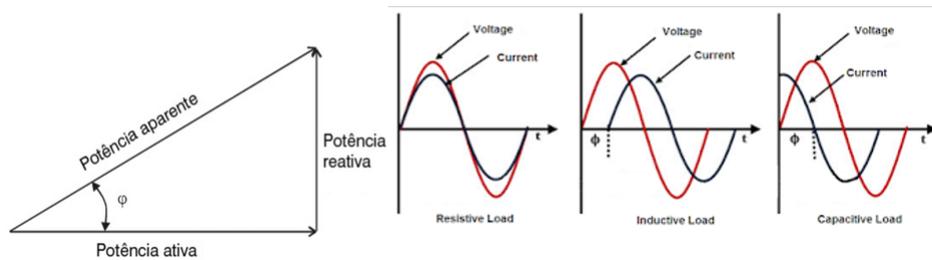


Figura 2.1: Triângulo de Potência, Fonte: Silva e Lima (2018, p.9)

A **potência aparente** é aquela que é efectivamente disponibilizada pela rede, pode ser determinada usando o valor eficaz de tensão e corrente como apresentado a seguir:

$$S = V * I \quad (2.4)$$

Onde:

- S é a potência aparente em Volt-Amperes [VA];
- V é a tensão eficaz da rede em Volts [V];
- I é a corrente eléctrica eficaz que circula na rede em Amperes [A].

A **potência activa** é a potência utilizada pelas cargas para realizar o trabalho de gerar calor, luz ou movimento e é expressa em Watts [W]. Pode-se descrever a potência activa como:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \rho_{inst}(t) dt = S * \cos(\varphi) = V * I * \cos(\varphi) \quad (2.5)$$

Onde:

- φ é a fase entre a corrente e a tensão;

A **potência reactiva** não produz trabalho útil, mas circula entre o gerador e a carga e é expressa em Volt-Ampere Reactivo [VAR]. A potência reactiva pode ser obtida através da seguinte equação:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = S * \text{sen}(\varphi) = V * I * \text{sen}(\varphi) \quad (2.6)$$

Conhecendo a potência activa e o tempo em que a carga esteve em funcionamento pode se obter a energia associada a esta carga da seguinte forma:

$$E = P * \Delta t = V * I * \text{cos}(\varphi) * \Delta t \quad (2.7)$$

2.2 Qualidade da energia eléctrica

Sob um ponto de vista ideal, uma rede eléctrica de qualidade deveria fornecer serviço com continuidade plena e oferta ilimitada de energia eléctrica, no entanto, a qualidade da energia eléctrica pode ser interpretada como a capacidade do sistema eléctrico fornecer energia com tensões equilibradas e sem deformações da forma de onda.

Os principais parâmetros usados para analisar a qualidade da energia eléctrica são o pico tensão, variação da frequência da rede, factor de potência, harmónicos, transitórios e outros, neste projecto serão analisados o factor de potência e a variação da frequência da rede.

2.2.1 Variação da frequência da rede

A variação da frequência da rede é definida como todos os desvios comparados a frequência fundamental do sistema eléctrico em questão, neste caso 50 Hz para o sistema do país. Segundo Knuppe as variações de frequências aceitáveis na rede se situam num intervalo de 49.5 à 50.5 Hz. A frequência do sistema eléctrico está directamente ligada à velocidade dos geradores que alimentam o sistema, segundo Knuppe (2015) a variação da frequência fora deste limite pode causar:

- Perda da vida útil dos geradores;
- Falha nas cargas controladas por processos síncronos;
- Capacitores conectados à rede fornecem menos reactivos;
- A carga reactiva aumenta devido a corrente de excitação.

Ainda segundo Knuppe(2015) a variação de frequência pode ser causada por:

- Falha de regulação no gerador;
- Desconexão de grandes blocos de cargas;
- Desconexão de uma fonte geradora grande.

2.2.2 Baixo factor de potência

A desfasagem entre a tensão e a corrente de um sistema eléctrico está relacionada directamente pelo chamado factor de potência, o factor de potência é uma medida que indica o quanto de potência eléctrica fornecida ao circuito está sendo transformada em trabalho útil e seu valor está no intervalo entre 0 e 1, visto que quanto mais próximo do valor unitário, mais eficiente é o circuito. Assim, um baixo factor de potência implica em maior corrente eléctrica, demandando maiores custos e uma maior capacidade de geração de energia por parte da concessionária, os impactos do baixo factor de potência são refletidos em multas nas facturas de energias.

O factor de potência apresenta bastante importância do ponto de vista da eficiência energética e da qualidade de energia, numa rede é possível corrigir o factor de potência, assumindo que o factor de potência mínimo aceitável é de 0.92.

2.3 Medição da Energia Eléctrica

A medição da energia eléctrica é feita através do contador de energia eléctrica que, segundo Costa (2007, p.32) é um dispositivo capaz de medir a quantidade de energia eléctrica consumida num edifício. Os contadores podem ser classificados da seguinte forma:

- Em termos construtivos, podem ser electromecânicos, electrónicos (estáticos) ou híbridos;
- Em função do tipo de tecnologia utilizada, e de tarifa simples, dupla ou tripla, dependendo da opção tarifária escolhida pelo cliente.

2.3.1 Contador Electromecânico

Os contadores electromecânicos permitem através de um sistema mecânico medir a quantidade de energia eléctrica utilizada. Esse sistema é essencialmente constituído por um disco que, ao

girar, acciona um conjunto de bobinas (tensão e corrente), e que através de um integrador faz a contabilização da energia.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na teoria de que é possível criar um campo magnético girante a partir de dois campos magnéticos alternados criados por duas bobinas em quadratura quando são percorridas por duas correntes. Assim, uma das bobinas é colocada em série com a carga designando-se por bobina de corrente, e a outra é colocada em paralelo com a carga, a bobina de tensão. A interacção entre os dois campos magnéticos gerados irá produzir um binário no disco de alumínio.



Figura 2.2: Contador Electromecânico, Fonte: Pontes (2015, p.14)

Apesar de antigo o medidor de energia electromecânico é muito eficiente e ainda muito utilizado no mundo. Contudo, a utilização deste tipo de medidores de energia tem algumas desvantagens, como é o caso da baixa precisão conseguida e a necessidade de deslocação de uma pessoa capacitada para efectuar a leitura da energia consumida.

2.3.2 Contador Estático ou Electrónico

Nos contadores electrónicos, as grandezas analógicas de corrente e de tensão são inicialmente transformadas por divisores internos e posteriormente convertidas em grandezas digitais, que são filtradas e processadas, sendo convertidas em impulsos proporcionais à energia (Costa, 2007, p.29). Este tipo de contador proporciona uma substancial melhoria na medição de energia eléctrica, pois permitem uma maior complexidade de tarifários e elimina um conjunto de equipamentos, pois unicamente com um equipamento é possível medir a energia activa e reactiva em ambos os sentidos (produção e consumo). Para além disso, facilitam a integração em sistemas de comunicação e uma maior exactidão (Costa, 2007, p.29).

Os contadores electrónicos usados no país são os CREDELEC fabricados pela Actaris ACE9000

Taurus e Conlog, estes apresentam uma deficiência no que diz respeito à interacção Homem - Máquina, visto que só se limitam a ler o consumo de corrente e verificar se este consumo supera o saldo introduzido pelo proprietário da residência onde este foi instalado.



Figura 2.3: Contador Credelec, Fonte: EDM (2023)

2.4 Rede Actual

A **rede eléctrica** actual do país é constituída por um conjunto de equipamentos conectados entre si com o objectivo de fornecer energia eléctrica aos consumidores finais através dos processos de geração, transmissão e distribuição da energia eléctrica. O processo de fornecimento de energia eléctrica pode ser observado na figura 2.4 onde inicialmente a energia é gerada por uma fonte, de seguida transmitida através de linhas de transmissão de energia eléctrica e por fim distribuída aos consumidores que podem ser as indústrias, residências e etc.

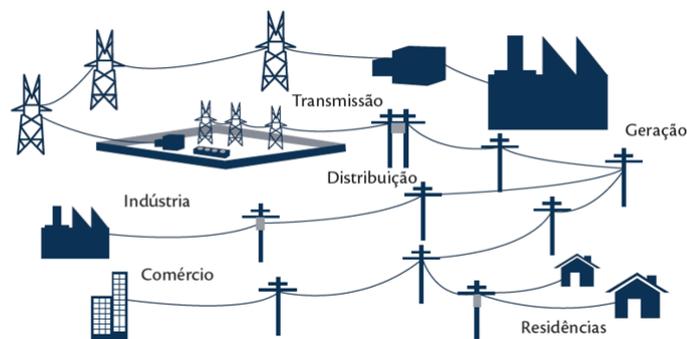


Figura 2.4: Rede de distribuição de energia eléctrica actual, Fonte: Estratégicos (2012, p.12)

Segundo Farhangi (2010) citado por Estratégicos (2012, p.12) numa estrutura hierárquica, o topo da cadeia fornece energia a milhares de consumidores situados em sua base. O fluxo de energia é unidirecional e os consumidores são meros agentes passivos na cadeia produtiva da energia eléctrica. Por razões tecnológicas, em alguns casos, e razões económicas, em muitos outros, o

mercado de energia eléctrica esta baseada em tarifas fixas e limitações de informações em tempo real sobre gerenciamento da rede e da carga.

Segundo a Get-invest em meados de 2018 o país teve uma capacidade operacional média de 2.279 MW, o país teve um excedente confortável, a utilização industrial domina o consumo sectorial, representando mais de 85% do consumo total de electricidade. Segundo a mesma fonte, a procura máxima deverá crescer cerca de 600 MW, passando para 2.750 MW em 2025, provavelmente impulsionada em parte pela ligação de quase 5 milhões casas de famílias não electrificadas. O país está voltado para a electrificação universal até 2030, o que exigiria capacidade para mais do dobro a quase 6.500 MW. As tarifas da electricidade caem globalmente no médio alcance da região e são geralmente favoráveis aos blocos de consumidores de média e alta tensão. Com o consumo de energia eléctrica aumentando e o facto de que os governos do mundo buscam por alternativas para atender à esta demanda com segurança e sustentabilidade, é fundamental tornar o sistema eléctrico acessível, moderno, confiável é fundamental para a sociedade e para a economia.

Segundo Fang (2011) citado por Estratégicos (2012, p.16) com vista a enfrentar os novos desafios do século XXI, as redes eléctricas devem promover suporte a inserção de fontes renováveis para produção de electricidade e ser providas de inteligência para melhor gestão de seus activos, melhor desempenho na operação, para reduzir as perdas técnicas e comerciais, e para permitir uma maior interacção com os consumidores. Os desafios do presente vêm exercendo uma forte demanda por inovações no segmento.

2.4.1 Problemas da rede actual

O sistema eléctrico actual do país é caracterizado pelo uso de recursos tecnológicos obsoletos desprovidos de um sistema de monitoração e comunicação com os centros de controlo e de supervisão da rede eléctrica entre outras insuficiências tais como:

- O controlo do consumo ainda é manual;
- Dados pouco detalhados sobre o consumo de energia;
- Baixo nível de automação no controle dos dispositivos da rede;
- Dificuldade de integração de novas demandas (como por exemplo, veículos eléctricos);

2.5 Rede eléctrica Inteligente

Segundo Fadin (2015, p.12) as redes eléctricas inteligentes têm como objectivo otimizar a produção, a distribuição e o consumo de energia, viabilizando a entrada de novos fornecedores e consumidores na rede, com melhorias significativas no monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia, por meio de uma rede eléctrica caracterizada pelo uso intensivo das tecnologias de informação e comunicação (TIC). Um sistema eléctrico inteligente comuta toda a oferta de energia através da rede de distribuição, gerenciando a demanda de energia através de um sistema de comunicação. Portanto, a inteligência da rede reside na capacidade dos dispositivos de se comunicar, trocando informações que permitem construir uma rede mais segura e mais eficiente

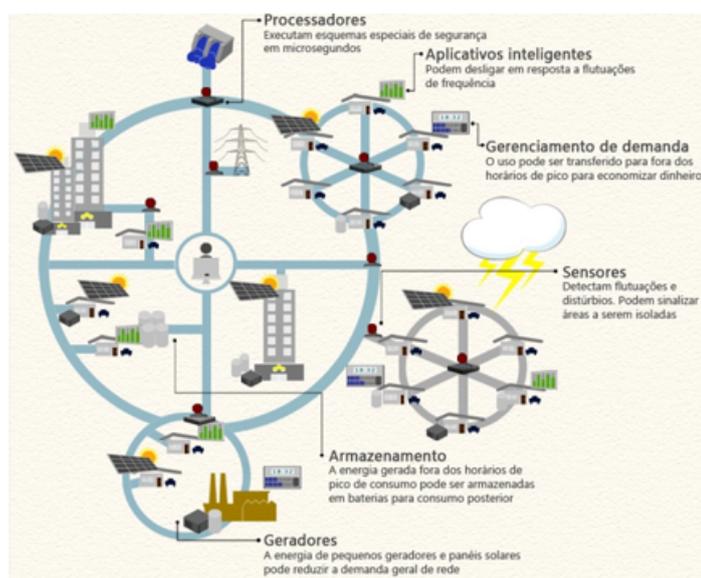


Figura 2.5: Rede Inteligente, Fonte: Fadin (2015, p.13)

As redes inteligentes permitem que diversas fontes de energia estejam disponíveis aos consumidores, garantindo um uso mais amplo de energias limpas. Outra grande contribuição das redes inteligentes é que os consumidores podem se tornar fornecedores de energia através do uso da energia que produziu ou armazenou durante o dia, por exemplo através do uso de painéis solares. Com estas contribuições, o fluxo de energia passa a ser bidireccional assim os consumidores ficam menos dependentes da rede principal, também permite o alívio da rede nos períodos de pico.

2.5.1 Principais Características da Rede Inteligente

Segundo Estratégicos (2012, p.19) as principais características das redes inteligentes são:

- Autorrecuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar

falhas na rede;

- Participação proactiva dos consumidores: habilidade de incluir os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planeamento e operação da rede;
- Tolerância à ataques externos: capacidade de mitigar e resistir à ataques físicos e cyber-ataques;
- Qualidade de energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- Acomodação de variedade de fontes e demandas: capacidade de integrar de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologias;
- Menor impacto ambiental do sistema produtor de electricidade, reduzindo perdas e utilizando fontes renováveis e de baixo impacto ambiental;
- Resposta da demanda mediante a actuação remota em dispositivos dos consumidores;

2.5.2 Desafios para a implementação da rede inteligente

A rede inteligente é uma solução mais complexa e robusta para todo sistema eléctrico, por este facto implicam um conjunto de desafios nas áreas económica e técnica, tais como a telecomunicação, a segurança, a automação entre outras áreas.

Segundo Gundor (2011) citado por Calhau et al (2014, p.18) um importante desafio para a implementação da rede inteligente é a criação de uma infraestrutura de telecomunicações que permita a integração dos diversos usuários da rede. Essa infraestrutura deve fornecer uma comunicação segura e diferentes requisitos de qualidade de serviço. No entanto, projectar uma rede estruturada segura, de supervisão e de monitoramento capaz de dar suporte a controle e gerência eficiente dos recursos da rede é um dos maiores desafios no desenvolvimento de diversos tipos de sistemas.

Na transmissão e distribuição da energia, destaca-se interoperabilidade na comunicação entre os diversos dispositivos da rede de tal forma que a liberdade de inovação e a competitividade sejam mantidas entre as empresas que fornecem equipamentos de automação, outro grande desafio na implantação da rede inteligente, o mais influente no país, são os custos. A tabela 2.1 apresenta os principais investimentos e suas estimativas para os próximos anos:

Segundo Chapala (2017, p. 887) admite-se que é oportuno a implementação de redes eléctricas inteligentes em Moçambique, visto que, seria uma boa alternativa para suprimir o desperdício da energia eléctrica, principalmente o roubo.

Tabela 2.1: Investimentos e estimativas para os próximos anos, Fonte: Chapala (2017, p. 887)

País	Investimentos em Dólar (2010)	Investimentos Futuros
Austrália	360 Milhões	240 Bilhões até 2030
China	7.3 Bilhões	100 Bilhões até 2026
Correia do Sul	824 Milhões	24 à 30 Bilhões até 2030
EUA	7.09 Bilhões	1,5 Trilhões até 2030
Japão	849 Milhões	1,7 Trilhões até 2030
União Europeia	1,76 Bilhões	1,88 Trilhões até 2030

2.5.3 Microrrede

Microrrede é um novo paradigma desenvolvido pela inclusão da geração distribuída das redes inteligentes. Estas possibilitam uma forma eficiente de conectar fontes de energia de diferentes tipos e capacidades e na criação de pequenos sistemas eléctricos localizados e compostos por geração, armazenamento e cargas. Este modelo de geração pode ser visto na figura 2.6, em que coexistem geração centralizada através da rede pública e geração descentralizada através das fontes renováveis, os usuários poderão ter geração própria tornando-se simultaneamente, produtores e consumidores de energia eléctrica.

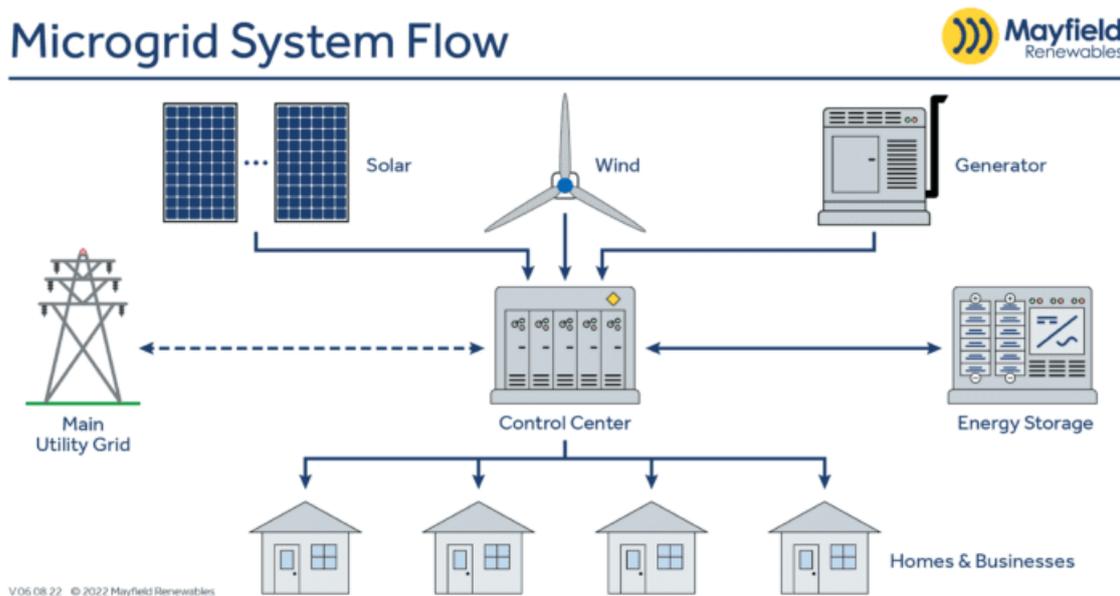


Figura 2.6: Microrrede, Fonte: Mayfield (2022)

O mercado de energia eléctrica deverá fazer uso pleno de ambos, grandes produtores centralizados e pequenos produtores distribuídos, além do incremento de diferentes acções em eficiência

energética e melhoria na qualidade do atendimento a demanda pela energia. A inserção de fontes renováveis na rede de distribuição, principalmente nas instalações em baixa tensão, aumenta a complexidade da operação do sistema de distribuição.

2.6 Trabalhos anteriores

2.6.1 Development of Microcontroller Based Smart Grid Framework

Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma rede inteligente baseada em um microcontrolador. Neste trabalho, todos os conceitos envolvidos na rede inteligente são implementados com o microcontrolador PIC18F452 e outros componentes suplementares, o diagrama do circuito é apresentado na figura 2.7. Um módulo solar com capacidade de armazenamento está conectado ao sistema proposto para minimizar o consumo de energia da rede e desempenha uma fonte de energia primária para a máxima utilização da energia renovável. Este dispositivo inteligente pode reduzir inerentemente o consumo de energia elétrica durante os horários de pico e permitir que os consumidores vendam eletricidade à rede usando uma técnica bidirecional.

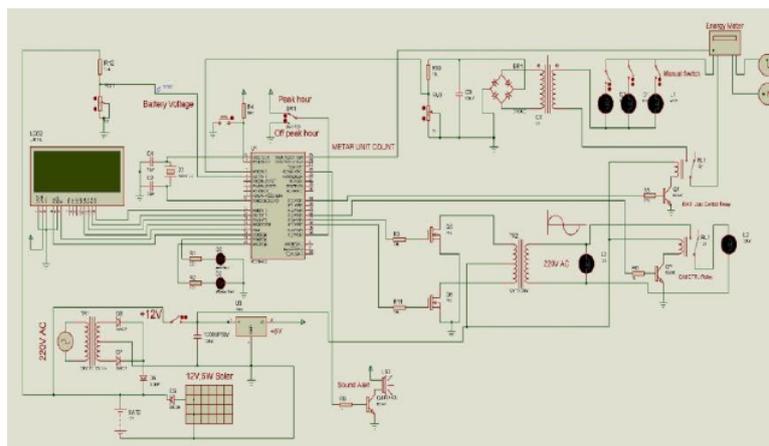


Figura 2.7: diagrama do circuito, Fonte: Biswas (2021, p.338)

O esquema do circuito para este projeto mostrado na Figura 2.7, usa-se o CI PIC18F452 como o componente principal. Este sistema é inteligente porque detecta apenas algumas situações e suas principais prioridades são os horários de pico e fora de pico, através disso é possível determinar quanta energia é utilizada, bem como a carga operacional actual usando este sistema. É conectado um medidor de energia monofásico ao pino 15 do microcontrolador, o sistema foi projetado para suportar uma carga máxima de 200 watts. O inversor foi construído usando comutação mosfet P55 oscilada a partir dos pinos 27 e 28 do microcontrolador para converter eletricidade solar fo-

tovoltaica CC em 220 V 50 Hz CA. Uma bateria de 12 V é usada para armazenar a geração solar fotovoltaica, e suas taxas de carga e descarga são controladas pelo pino 3 do microcontrolador. Outros componentes auxiliares, como o display LCD, estão ligados aos pinos 33 a 38.

2.6.2 Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica – Comunicações Wi-reless

O objetivo desta pesquisa consiste no estudo de um novo dispositivo para implementação em edifícios inteligentes. De uma forma mais incisiva em analisar perfis de consumo de eletrodomésticos presentes numa habitação, sendo identificados, e com base nesses perfis, a previsão meteorológica e estimativa de produção de energia dos sistemas fotovoltaicos, os eletrodomésticos entram em funcionamento tirando o maior benefício.

A gestão do sistema é baseada no uso do microcontrolador Arduino usando o protocolo de comunicação IIC, e um módulo *Wi-Fi*, para comunicação sem fios, o controlo do eletrodoméstico é feito através de uma “tomada inteligente” que utiliza o protocolo de comunicação *ZigBee* para ser ativada ou desativada, recebendo essa ordem do módulo de controlo.

Capítulo 3

Materiais e Metodologias de Trabalho

Neste capítulo será feita a modelagem do sistema proposto, assim sendo, será apresentada uma perspectiva geral do sistema, quais as suas principais funcionalidades, quais serão os utilizadores do sistema, os requisitos para a implementação do sistema assim como uma noção de quais as restrições que limitam o projecto. Com o culminar deste estudo apresentar-se-á a solução proposta para o sistema, onde se definirá a sua arquitectura, que levará à posterior implementação.

3.1 Funcionalidades do sistema

As principais funcionalidades do sistema proposto são:

- Medição dos consumos de energia eléctrica;
- Incorporação de mecanismos que impossibilitem as tentativas de fraude e falsificação de medições;
- Accionamento remoto de cargas;
- Pedido de ordem de serviço;
- Gestão de uma microrede;
- Avaliação da qualidade de energia eléctrica;
- Monitoramento através de plataformas digitais;
- Alívio da rede eléctrica.

3.2 Utilizadores do sistema

O sistema de gestão de energia eléctrica agrega um conjunto de pessoas que interagem directamente com ele, no entanto os utilizadores do sistema são divididos em dois grupos:

- **Consumidores:** todos utilizadores que irão consumir a energia eléctrica são responsáveis por efectuar o recarregamento, emitir pedidos de serviços, e consultar dados sobre os consumos passados;
- **Administradores:** responsáveis por efectuar a gestão dos consumidores, avaliar a qualidade de energia eléctrica fornecida e avaliar possíveis falhas no sistema.

3.3 Modelagem do sistema proposto

Modelar um sistema é o mesmo que compor os requisitos e as restrições de aplicações, que definem o funcionamento do sistema, serviços que serão disponibilizados sem esquecer as restrições que o sistema apresentará. Os requisitos e as restrições de um sistema servem como parâmetros para a modelagem da aplicação antes mesmo de começar o desenvolvimento.

3.3.1 Restrições do Sistema

As restrições de um sistema são todos os factores que limitam a execução do projecto, isto é, são as condições impostas à realização do projecto e que devem ser obrigatoriamente cumpridas. Este sistema apresenta restrições impostas pela equipe de trabalho, local de desenvolvimento do protótipo e tecnologias usadas para o seu desenvolvimento. Nesse contexto, o sistema está sujeito às seguintes restrições:

- O sistema deve ser de baixo custo;
- Baixo consumo;
- Alimentação de todo o circuito de medição através da rede;
- Protótipo desenvolvido para efectuar medições de energia em circuitos de corrente alternada, monofásicos, cuja tensão nominal é 220V e frequência nominal de 50Hz;
- Robustez e fiabilidade do sistema;
- Dimensões reduzidas para o sistema.

3.3.2 Requisitos do sistema

Os requisitos de um sistema são todos aspectos que satisfazem as necessidades, expectativas e desejos de todas as partes interessadas no projecto, em especial dos clientes. Estes requisitos podem ser **funcionais** (definem directamente uma função que o sistema, ou parte dele deverá executar) ou **não funcionais** (estão relacionados ao uso da aplicação como desempenho, usabilidade e tecnologias envolvidas). Os requisitos funcionais impostos para o sistema são:

- Medição do consumo em tempo real;
- Possuir um aplicativo através do qual poderá ser feito o monitoramento, recarregamento e etc.;
- Ser seguro de modo a garantir a integridade e a autenticidades dos dados dos utilizadores;
- Permitir um fluxo de energia bidireccional;
- Ser capaz de avaliar o estado da rede;
- Ser capaz de permitir troca de mensagens entre os consumidores e a fornecedora;
- Possuir mecanismos de detecção e prevenção de fraude e violação;
- Permitir o accionamento remoto de cargas.

Os requisitos não funcionais impostos para o sistema são:

- Capacidade de operação de forma autónoma;
- Simples de usar e intuitivo;
- Capacidade de operação 24/7;
- O aplicativo deve ser acessível no ambiente *Web* por qualquer dispositivo que possua um navegador e acesso à *internet*.

3.3.3 Arquitectura do sistema

A arquitectura da solução proposta como alternativa às redes inteligentes será composta por uma estrutura de medição avançada e sua comunicação com os consumidores e a fornecedora. A estrutura avançada de medição servirá como o centro da arquitectura conectando a fornecedora e os consumidores através da estrutura de comunicação, fornecerá informações para outros serviços,

coletará dados sobre o consumo de energia e o estado da rede, verificará quais electrodomésticos estão ligados/desligados e poderá acciona-los em tempo real. Os dados colectados são armazenados num banco de dados via *internet*. Através da *API* esses dados são migrados e transformados em informações que serão fornecidos e apresentados aos utilizadores do sistema.

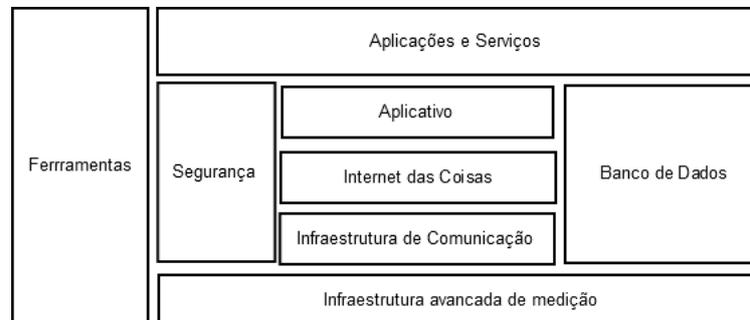


Figura 3.1: Arquitectura do Sistema

3.4 Descrição técnica da solução

Abaixo são apresentados os principais blocos funcionais da solução:

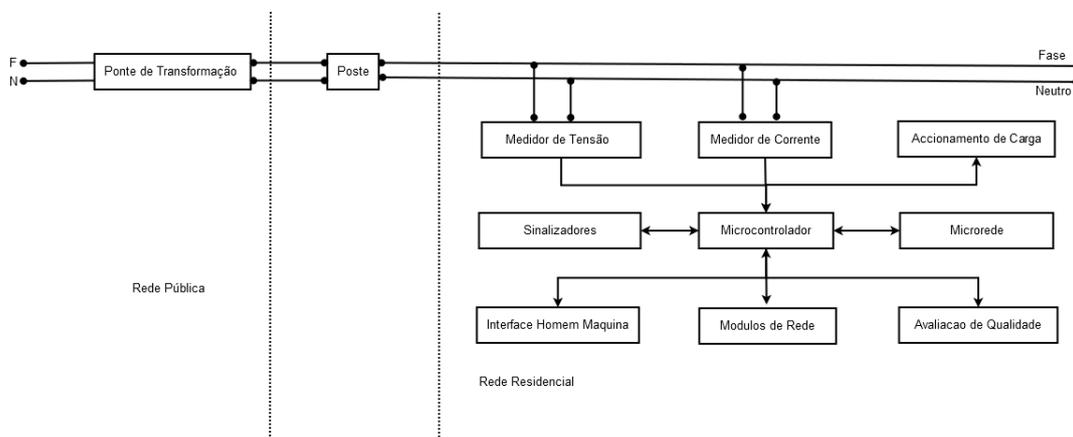


Figura 3.2: Blocos funcionais da solução

3.5 Microcontrolador

O **microcontrolador** consiste num CI que contém um microprocessador embutido, juntamente com periféricos dentro de um único encapsulamento. Estes periféricos são memórias *EEPROM*,

Flash, *SRAM*, temporizadores, comparadores, conversores e muito mais. Este é o cérebro do sistema a ser desenvolvido, visto que é responsável pela integração de todos dispositivos nesse sistema. Os critérios usados para a escolha do Microcontrolador foram:

- Número de bits da CPU determina o tamanho máximo do dado que pode ser processado durante uma operação, diz respeito, principalmente, à capacidade de armazenamento de dados em nos registradores da CPU, que são pequenas quantidades de memória temporária;
- Quantidade de Periféricos que é número de dispositivos externos auxiliares (ou acessórios) usados para enviar ou receber informações do microcontrolador;
- Desempenho e capacidade de armazenamento característica que especifica a taxa de processamento do microcontrolador e a quantidade máxima de informação que pode conter;
- Tamanho e custo;
- Escalabilidade a capacidade do microcontrolador se adaptar a maiores cargas de trabalho quando necessário;
- Conectividade capacidade que o microcontrolador tem de se conectar a outros dispositivos.

Face aos critérios usados foram seleccionados quatro microcontroladores, como mostra a tabela de 3.1, onde dos quais foram escolhidos os microcontroladores *ESP32* e o *Arduino nano*. Foi levado em consideração o custo até a data de elaboração do relatório. A escolha destes microcontroladores deveu-se ao facto de possuir todos requisitos necessários para a incorporação de todos os componentes necessários para o funcionamento do sistema, bem como por facilitar as compilações do *software* produzido.



Figura 3.3: *Esp32* e *Arduino Nano*, Fonte: Espressif (2023) e Arduino (2023)

Tabela 3.1: Comparação entre os microcontroladores, Fonte:Fonte: Espressif (2023) e Arduino (2023)

Aspectos	<i>ESp8266</i>	<i>ESP32</i>	<i>Arduino Uno</i>	<i>Arduino Nano</i>
Núcleo	1	2	1	1
Arquitectura (bits)	32	32	8	8
<i>Clock</i> (MHz)	80-160	160-240	16	16
Conectividade	<i>Wifi</i>	<i>Wifi e Bluetooth</i>	Nenhuma	Nenhuma
<i>RAM e Flash</i>	160kB e 16 MB	512 kB e 16 MB	2 kB e 32 kB	2 kB e 32 kB
<i>GPIO</i>	13	36	20	22
Custo (MZN)	600,0	700,0	700,0	500
Tamanho (mm x mm)	49x26	54.4X27.9	68.58x53.34	18x45

3.6 Fonte de Alimentação do Sistema

A alimentação de todo o sistema deverá ser através da rede, portanto será dimensionado a fonte de alimentação do sistema que será composto por etapas de rectificação e regulação da corrente eléctrica.

Os circuitos de medição que serão apresentados necessitam de uma fonte de alimentação simétrica de $\pm 15V$ e os restantes circuitos necessitam de alimentação de 3.3 à 5 V, assim a fonte principal de alimentação será dimensionada para fornecer uma tensão de $\pm 15V$ e os restantes serão obtidos através de divisores de tensão e/ou reguladores de tensão.

Como pretende-se obter uma tensão na saída simétrica de $\pm 15V$, serão usados os reguladores 7815 e o 7915, cujas especificações são:

- Tensão de Entrada: 17.5 à 30 V DC;
- Tensão de Saída: 15 V CC;
- Corrente nominal de saída (I_n): 500mA;
- Corrente de saída máxima: 1 A.

A rede eléctrica de Moçambique apresenta uma tensão eficaz de 220 V e frequência de 50 Hz, usando um transformador de 220/24 e uma ponte retificadora constituída por díodos retificadores

1n4001, com queda de 0.7 V, a tensão na entrada do regulador:

$$V_{in} = \frac{2}{\pi}(V_{pT} - V_D) = \frac{2}{\pi}(33.941 - 0.7) = 20.716V \quad (3.1)$$

Onde:

- V_{pT} é a tensão de pico na saída do transformador usado;
- V_D é a queda de tensão no diodo.

A tensão na entrada do regulador de tensão está dentro dos limites do mesmo, para cada regulador será usado um capacitor na entrada e na saída com as seguintes especificações de 1000uF/50V na entrada e 100uF/50V na saída, estes capacitores eliminam ruídos de RF e dão maior estabilidade de tensão na saída.

A potência dissipada pelos reguladores:

$$P_D = (V_{in} - V_o) * I_n = (20.716 - 15) * 0.5 = 2.858W \quad (3.2)$$

A potência dissipada é maior que 1 W, então há necessidade de se recorrer ao uso de dissipadores de potência, a figura 3.4 representa o esquema de ligação da fonte da alimentação que é constituída pelo transformador abaixador, a ponte retificadora e a etapa de regulação da tensão.

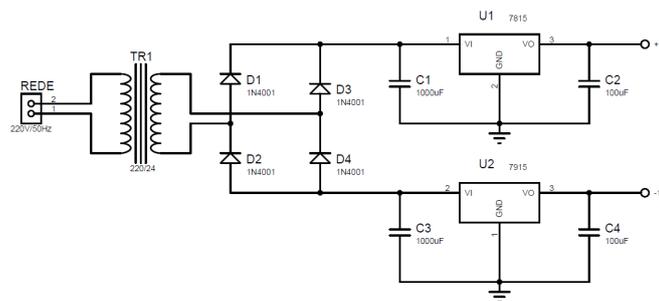


Figura 3.4: Circuito de alimentação do sistema, Fonte: O autor

3.7 Medidor de tensão

Basicamente existem dois métodos para medir a tensão, o primeiro é através de um divisor de tensão, e o outro é através de um transformador. O medidor que usa um divisor de tensão é formado por um circuito retificador, responsável pela conversão do sinal em corrente alternada (CA) para

o sinal em corrente contínua (CC), logo após um divisor de tensão composto por dois resistores, projetados para reduzir o valor da tensão até um nível adequado para o controlador. A última etapa antes do sinal estar pronto para o controlador é a etapa dos ganhos e filtros, nessa etapa o sinal filtrado é preparado para a entrada do microcontrolador, este método apenas permite o cálculo da potência activa, gera um sinal constante e sem informações da onda original, por tal razão não será usado para o projecto. Tendo em vista o cálculo da potência activa e reactiva do circuito faz-se necessário a utilização de um sensor analógico, para isso será usado o transformador de tensão LV25-P.

3.7.1 Transformador de tensão LV25-P

Utilizado para medição electrónica de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), possui isolamento galvânico entre o circuito primário e secundário, isto dá vantagens com relação à referência do sinal.

Este transformador possui alta precisão, boa linearidade, baixo tempo de resposta, alta imunidade à interferências externas, entre outras. Para medições de tensão, uma corrente proporcional ao sinal de tensão medido deve passar através de um resistor externo que é calculado e instalado em série com o circuito primário do transdutor, para uma leitura correcta do valor de tensão, na saída do sensor deve-se colocar um resistor de medição em série com o circuito secundário do transdutor.



Figura 3.5: Transformador de tensão LV25-P

As informações mais importantes que se encontram na folha de dados do LV25-P (Anexo 1) são:

- Tensão nominal do primário (V_p): 10 V a 500 V;
- Corrente eficaz nominal do primário (I_{pn}): 10 mA;
- Resistência de medida (R_m): 100 à 350 Ω (Alimentação $\pm 15V$);
- Corrente eficaz nominal do secundário (I_{sn}): 25 mA;

- Razão de transformação (k): 2.5:1.

Como a resposta de saída desse transformador, se aplicado na entrada um sinal senoidal de (-311 V à 311 V), é outra função senoidal na saída e o microcontrolador não é compatível com sinais negativos, é necessário projectar um circuito de condicionamento responsável por amplificar, filtrar e transformar o sinal em níveis compatíveis para a entrada do microcontrolador (0 V à 3.3 V).

O circuito de accionamento do LV25-P é constituído por uma resistência externa R1, uma resistência de carga R2 que varia entre 100 à 350 Ω quando alimentado por uma fonte de ± 15 V, como mostra a figura 3.6.

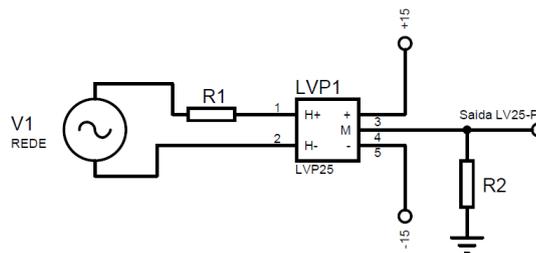


Figura 3.6: Circuito de accionamento do transformador de tensão

Dado que a tensão eficaz da rede é de 220V, pode-se calcular a resistência externa (R_1) usando a corrente eficaz do primário de 10 mA.

$$R_1 = \frac{V_{rms_{rede}} \sqrt{2}}{I_{pn}} = \frac{220\sqrt{2}}{0.01} = 31.11k\Omega \approx 33k\Omega \quad (3.3)$$

Desta forma a corrente no primário será de 9.43 mA e a corrente no secundário de:

$$I_2 = k * I_1 = 2.5 * 9.43mA = 23.57mA \quad (3.4)$$

Para esse valor da corrente do secundário do transformador, é determinada R_2 para que se tenha na saída uma variação de pico à pico de - 3.3 V à +3.3 V, com uma entrada de -311 V à +311V, assim sendo o resistor R_2 deverá ser:

$$R_2 = \frac{V_{p2}}{\sqrt{2}I_2} = \frac{3.3}{0.02357\sqrt{2}} = 140\Omega \quad (3.5)$$

O sinal de saída do transformador pode ser visto na figura 3.7, no entanto os valores negativos da tensão na saída do transformador não são compatíveis com a entrada do microcontrolador, para isso utiliza-se um regulador de tensão (modelo escolhido 7805), com tensão igual a 5 V, seguido por um divisor de tensão, para adicionar um *offset* ao sinal de saída do transformador.

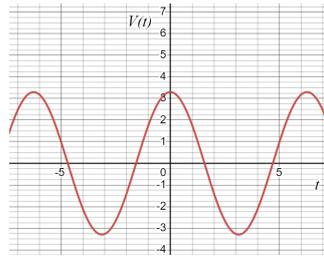


Figura 3.7: Saída do transformador de tensão

Para realizar o *offset* é projetado um circuito com amplificador operacional na configuração de somador inversor com ganho menor do que 1, a configuração é apresentada na figura 3.8, onde usa-se a resistência de realimentação R_5 para controlar o ganho entre a entrada e a saída, como o amplificador é inversor então a saída apresentará um sinal invertido.

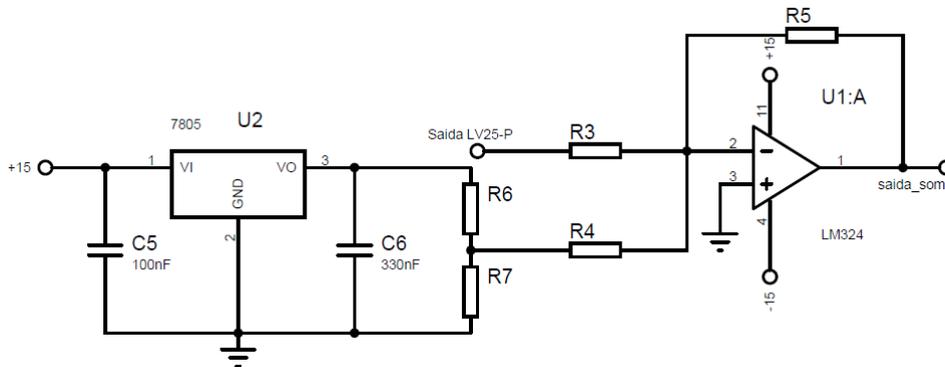


Figura 3.8: Somador inversor

O sinal de saída do regulador é de 5 V, no entanto são necessários apenas 3.3 V para a tensão de *offset*, para obter esse valor é usado um divisor de tensão constituído pelos resistores R_6 e R_7 e seus valores são obtidos da seguinte forma:

$$V_{R_7} = \frac{R_7}{R_7 + R_6} * V_o \rightarrow \frac{R_7}{R_7 + R_6} = \frac{V_{R_7}}{V_o} \rightarrow \frac{R_7}{R_7 + R_6} = \frac{3.3}{5} \rightarrow R_7 = 2 * R_6 \quad (3.6)$$

Escolhendo $R_6 = 10k\Omega$ obtém-se $R_7 = 20k\Omega$, a tensão de *offset* será de 3.333V.

O somador de tensão é regido pela seguinte equação:

$$V_{sum} = -R_5 \left(\frac{V_{R_7}}{R_4} + \frac{V_{LVP}}{R_3} \right) \quad (3.7)$$

Optando por $R_4 = R_3 = 10k\Omega$ para que o sinal na saída tenha uma variação de -3.3 à 0 V, a

resistência de realimentação será dada como:

$$R_5 = -R_4 \frac{V_{sum}}{V_{R7} + V_{LVP}} = -10 \frac{3.3}{3.3 + 3.2998} = 5k\Omega \quad (3.8)$$

Como não existe no mercado um resistor de 5 kΩ, será usado um resistor de 4.7 kΩ. Assim sendo a tensão irá apresentar a seguinte variação:

$$V_{sum} = \begin{cases} V_{sum_{max}} = -\frac{R_5}{R_4}(V_{R7} + V_{LVP_{min}}) = -\frac{4.7}{10}(3.3 - 3.2998) = -9.4 * 10^{-4}V \\ V_{sum_{min}} = -\frac{R_5}{R_4}(V_{R7} + V_{LVP_{max}}) = -\frac{4.7}{10}(3.3 + 3.2998) = -3.101000V \end{cases} \quad (3.9)$$

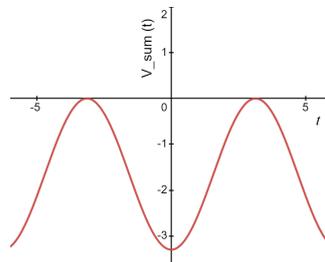


Figura 3.9: Saída do somador

O sinal de saída foi totalmente invertido, para reverter o sinal é usado um filtro que além de inverter o sinal, filtra o ruído proveniente da medição. Para o projecto do filtro escolheu-se usar um filtro activo passabaixa inversor de segunda ordem com resposta de Butterworth com a configuração apresentada na figura 3.10.

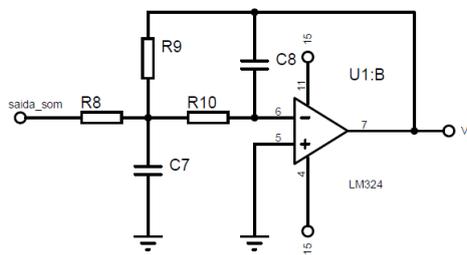


Figura 3.10: Filtro activo inversor de segunda ordem

Os parâmetros para este filtro são:

- $a = 1.414$ e $b = 1$ - parâmetros da função de transferência do filtro, extraídos da tabela de aproximação dos filtros activos (Anexo 4);

- Ganho do filtro $G = -1$;
- Frequência de corte $f_c = 1000Hz$.

O ganho do amplificador é dado como:

$$G = -\frac{R_9}{R_8} \rightarrow -\frac{R_9}{R_8} = -1 \rightarrow R_9 = R_8 = 27k\Omega \quad (3.10)$$

A frequência do filtro:

$$f_c = -\frac{2(|G| + 1)}{2\pi R_9(aC_7 + \sqrt{(aC_7)^2 - 4bC_8C_9(|G| + 1)})} \quad (3.11)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{bC_7C_8R_9R_{10}}} \quad (3.12)$$

A frequência de corte escolhida é de 1000 Hz para evitar a atenuação e defasagem em 50 Hz, e o valor de valor de C_7 (em uF) será:

$$C_7 = \frac{10}{f_c} = \frac{10}{1000} = 0.01\mu F = 10nF \quad (3.13)$$

A condição para a existência da frequência:

$$C_8 \leq \frac{a^2C_7}{4b(|G| + 1)} \rightarrow C_8 \leq \frac{1.414^2C_7}{4(|-1| + 1)} \rightarrow C_8 \leq \frac{1}{4}C_7 \rightarrow C_8 \leq 0.25 * 10nF \rightarrow C_8 \leq 2.5nF \quad (3.14)$$

Resolvendo a equação 3.11 em função à C_8 , obtém-se $C_8 = 2.2nF$.

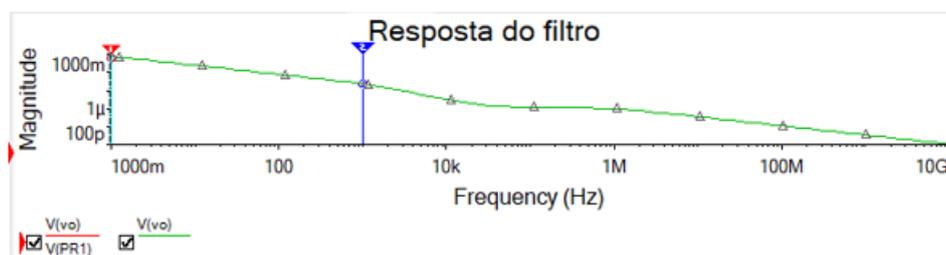


Figura 3.11: Resposta do filtro

A partir do circuito da figura 3.12 pode-se notar que usando dois estágios de amplificadores inversores o sinal retorna a mesma fase que o sinal na entrada do primeiro estágio como visto na figura 3.13, também é possível notar que o sinal varia de 0.095 mV à 3.08 V, esta leitura deverá ser mapeada como uma tensão de 220 V pelo microcontrolador.

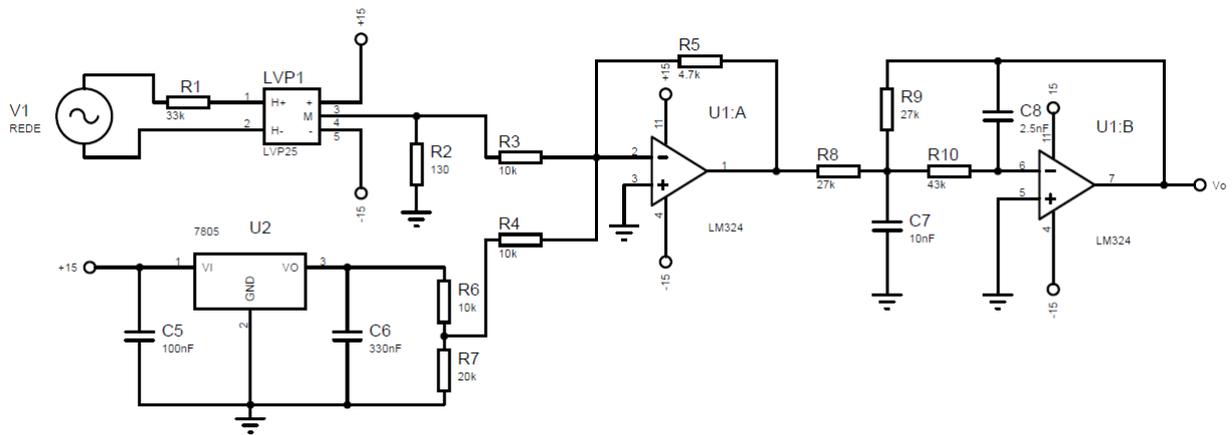


Figura 3.12: Medidor de tensão

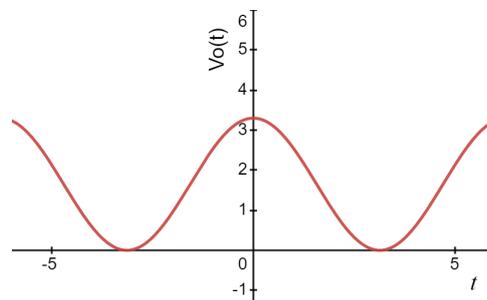


Figura 3.13: Saída do medidor de tensão

3.8 Medidor de corrente

A medição da corrente baseia-se na leitura dos sinais obtidos através do transformador de corrente SCT013-000, estes sinais são posteriormente processados por circuitos apropriados de modo a estarem no nível adequado antes que cheguem no microcontrolador.

3.8.1 Transformador de Corrente

O Transformador de corrente SCT013-000 é um componente electrónico desenvolvido com o objectivo de efectuar a medição da corrente eléctrica sem ser invasivo, isto é, sem interromper a fase, as informações mais importantes deste transformador (Anexo 2) são:

- Corrente eficaz no primário (I_1): 100 A;
- Corrente eficaz no secundário (I_2): 50 mA;
- Razão de transformação (a): 2000:1.



Figura 3.14: Transformador de corrente SCT013-000

Para que o circuito de medição de corrente seja igual ao da medição de tensão é necessário que apresente na saída uma tensão de ± 3.2998 V. A resistência de carga deverá ser dada como:

$$R_{11} = \frac{V_o}{\sqrt{2}I_2} = \frac{3.2998}{\sqrt{2} * 0.01} = 46.66\Omega \quad (3.15)$$

Como não existe no mercado um resistor de 46.666Ω , será usado um resistor de 47Ω . Na programação do microcontrolador, é necessário um valor de calibração do sensor:

$$P = \frac{a}{4 * R_{11}} = \frac{2000}{4 * 47} = 10.638 \quad (3.16)$$

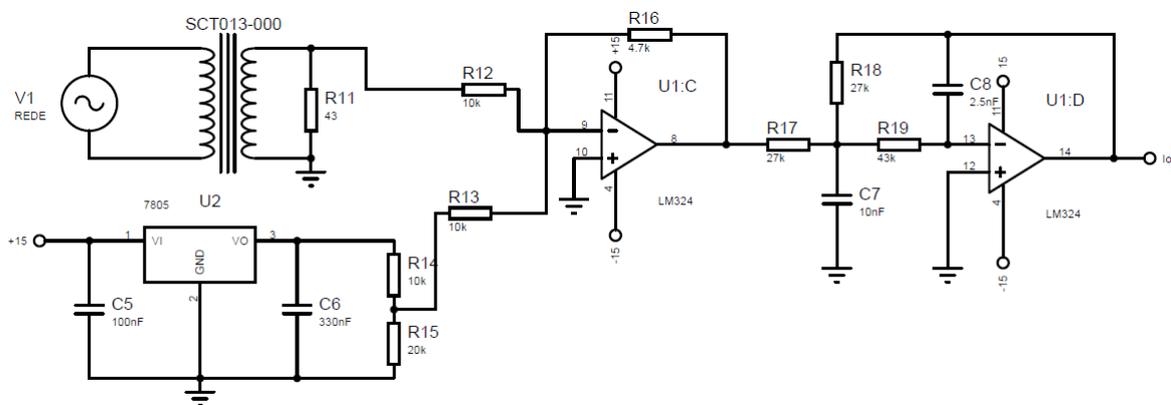


Figura 3.15: Circuito de medição de corrente

3.9 Medição da Energia consumida

Partindo dos circuitos de medição de corrente e da tensão eléctrica com o apoio da lei de Joule, que estipula que a potência dissipada por uma carga é proporcional a corrente que flui na carga e a tensão que a alimenta, sabendo que a energia consumida corresponde à potência dissipada num

dado período do tempo, é aplicada a equação 2.7. A energia consumida apresentada em kWh será computada da seguinte forma:

$$E_c = \frac{V_o * I_o}{3600000} * \Delta t \quad (3.17)$$

3.10 Qualidade de energia eléctrica e eficiência energética

A qualidade de energia é avaliada usando vários parâmetros, entretanto para o presente projecto, a avaliação da qualidade de energia será feita através do monitoramento da frequência e do factor de potência.

3.10.1 Frequência da rede

Para a análise da frequência será usado como auxílio o circuito do medidor de tensão dimensionado anteriormente. Para se efectuar a leitura da frequência da rede serão usadas leituras via interrupções do microcontrolador, usando as interrupções o processador só irá gastar tempo lendo a entrada quando realmente houver alguma mudança. A interrupção é um aviso que é dado ao processador que uma entrada deve ser lida ou sofreu uma alteração de estado, neste caso a mudança do estado da tensão transcorridos um período de tempo.

3.10.2 Corrector do factor de potência

O factor de potência apresenta bastante importância do ponto de vista da eficiência energética de uma rede residencial ou industrial. O factor de potência é matematicamente expresso relacionando a equação 2.5 e 2.4 como:

$$f_p = \frac{P}{S} = \cos(\varphi) = \cos(2\pi ft) \quad (3.18)$$

As saídas dos transformadores de corrente e tensão são conectados ao circuito detector de cruzamento de zero, neste circuito, se a tensão na entrada não inversora do AMPOP for maior que zero, então a saída será de 4 V, caso contrário será 0V.

Se haver alguma diferença de fase entre a tensão e a corrente os pulsos na saída do AMPOP iniciarão em tempos diferentes e a diferença entre os tempos de início será usada para determinar o factor de potência, a medição da diferença de tempo será feita através do uso de uma porta *XOR*, os díodos 1n4148, que apresentam uma tensão limiar de 0.7V, são usados para limitar o sinal de entrada no AMPOP, assim o sinal na entrada irá oscilar entre -2.3 à 2.3 V, o circuito do detector de

fase e o princípio de funcionamento da porta *XOR* é apresentados abaixo:

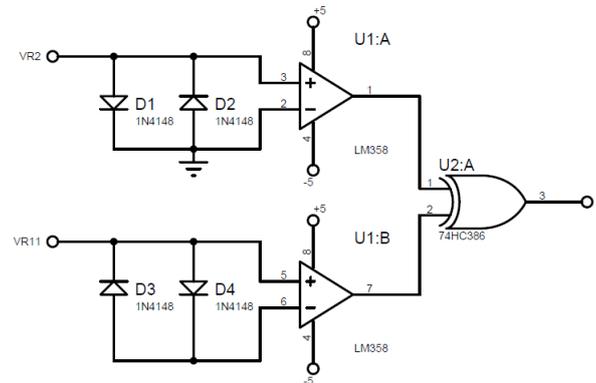


Figura 3.16: Circuito detector de desfasamento

Tabela 3.2: Tabela da verdade da porta *XOR*

I_o	V_o	Saída
0	0	0
0	1	V_o
1	0	I_o
1	1	0

A correcção do factor de potência é dada pela implementação de componentes capacitivos em paralelo à carga do sistema, a especificação da capacitância do componente é determinada pelas peculiaridades do circuito.

Os bancos de capacitores automáticos geralmente são aplicados em instalações que existem variações no fator de potência com o decorrer do tempo, o dimensionamento do capacitor a ser incorporado à rede foi feito a partir das características da rede e a corrente máxima que pode ser medida, neste caso num sistema elétrico alternado caracterizado por:

- Tensão eficaz: $V_{rms} = 220 V$;
- Frequência: $f = 50 Hz$;
- Potência reactiva máxima: $Q = V_{rms} * I_{rmsMax} = 220 * 100 = 22 kVAR$

O capacitor a ser incorporado à rede será de:

$$C_{max} = \frac{Q}{2\pi f V_{rms}^2} = \frac{22000}{2\pi * 50 * 220^2} = 1446.86 \mu F \quad (3.19)$$

Os valores das capacitâncias dos capacitores da bancada de capacitores serão dados relacionando os pesos binários com a C_{max} , onde:

$$b = 2^i \quad (3.20)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n - 1 \text{ (} n \text{ é o número de capacitores na bancada)}$$

A bancada será constituída por 8 ($n = 8$) capacitores que irá resultar numa variação do peso binário de 1 à 128, conhecendo a capacitância máxima de correção da rede e o valor digital máximo ($v_{dmax} = 2^n - 1 = 2^8 - 1 = 255$), obtém se a seguinte expressão para determinar a capacitância dos capacitores da bancada:

$$C_i = C_{max} \frac{b}{v_{dmax}} = 1446.86 \frac{2^i}{255} = 5.673 * 2^i \quad (3.21)$$

Tabela 3.3: Capacitores da bancada

i	Peso Binário (2^i)	C_i (uF)	C_i Comercial (uF/400V)
0	1	5.673	4.7
1	2	11.347	10
2	4	22.696	22
3	8	45.39	47
4	16	90.78	100
5	32	181.56	220
6	64	363.133	363 (330+33)
7	128	726.266	690 (220+470)
-	Total	1446.86	1456.7

Como a bancada de capacitores deverá ser accionada automaticamente, cada capacitor será ligada a um relé e/ou contactor, desta forma serão necessários 8 actuadores, haverão 256 combinações, e o microcontrolador irá seleccionar o capacitor mais próximo através da combinação liga/desliga dos actuadores, para cada actuador seleccionado a conexão em paralelo dos capacitores fornece à rede residencial a capacitância resultante.

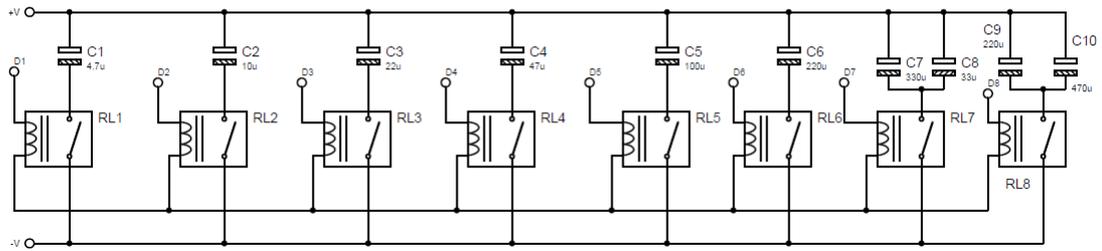


Figura 3.17: Bancada de capacitores

3.11 Projecto da Microrede

A implementação da microrede é um novo paradigma que irá permitir que diferentes fontes de energia de diferentes capacidades estejam conectadas entre-si, este modelo de geração permite a coexistência entre a geração centralizada e a descentralizada.

A microrede a ser usada neste projecto será constituída pela rede eléctrica do país (geração tradicional) e um sistema fotovoltaico (rede distribuída), este sistema deverá ter autonomia para decidir qual fonte usar em diferentes períodos de tempo com o objectivo de aliviar a rede nos períodos de pico de consumo.

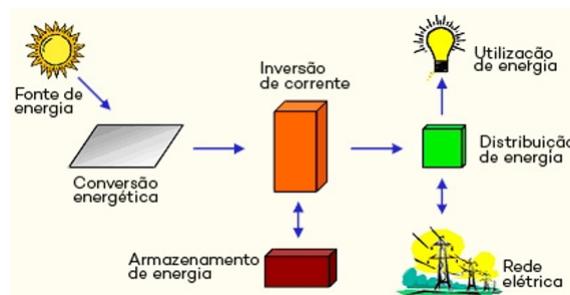


Figura 3.18: Sistema de geração de energia, Fonte: Neosolar (2015)

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é feito através de varias etapas iniciando com:

- A selecção do módulo fotovoltaico;
- Dimensionamento do inversor;
- Dimensionamento das cablagens;
- Dimensionamento do controlador de carga.

3.11.1 Seleção do módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade básica para o sistema de geração de energia eléctrica, é responsável por transformar energia solar em electricidade. A escolha do módulo fotovoltaico depende do consumo diário residencial e da energia que pretende ser compensada numa residência.

Segundo Chapala (2020, p.10) o consumo mensal de electricidade na cidade de Maputo é 280 kWh por mês, compensando apenas 150 kWh deste consumo obtém-se o seguinte consumo diário:

$$E_{CD} = \frac{E_C}{30} = \frac{150}{30} = 5kWh \quad (3.22)$$

Estudos feitos por Fernando (2019, p.1) concluíram que a média da radiação solar global (μ_{med}) na cidade de Maputo foi de $17,96 MJ/m^2$ ($4.98 kW/m^2$) e as horas de brilho solar foram de 7,8 horas. Assim sendo, a potência gerada (em kW) deverá ser de:

$$P_G = \frac{E_{CD}}{\mu_{med}} = \frac{5}{4.98} \approx 1kW \quad (3.23)$$

A quantidade de painéis, em série, necessários para gerar uma potência de 1 kW, usando um painel de 255 W, será dado por:

$$N = \frac{P_G}{255} = \frac{1000}{255} \approx 4 \quad (3.24)$$

Como nem sempre a radiação chega ao valor médio e podem ocorrer perdas na geração do painel, o projeto será baseado em 5 painéis, porque, mesmo com as perdas, esse número produzirá o suficiente para a residência.

3.11.2 Dimensionamento do Inversor

Os inversores são equipamentos que permitem converter uma forma de energia eléctrica contínua em alternada.

Como a instalação apresenta 5 módulos de 255 W, a potência gerada é de 1,275 kW, decidiu-se instalar um inversor com potência nominal de 1,5 kW, que é suficiente para o sistema. Os 5 módulos estão associados em série haverá uma soma de tensão, o inversor deverá ter uma tensão máxima superior à 187 V ($5 * V_{painel}$).

O inversor usado no protótipo será de 12V constituído por uma ponte H formada por *MOSFETs* *IRF540N*, que através de chaveamentos estratégicos, permite a carga “enxergar” uma tensão alterada, como seria praticamente impossível efectuar as inversões através de chaves, recorre-se ao uso de transístores comandados por pulsos de algum tipo de controlador e será usado a modulação

SPWM, na qual o sinal AC de referência é comparada à uma portadora triangular de alta frequência.

Os *MOSFETs* serão accionados por *drivers TLP 250* que apresentam as seguintes características (Anexo 8): $I_F = 10 \text{ mA}$, $V_F = 1.8 \text{ V}$ e $I_o = 1.5 \text{ A}$. como a tensão de alimentação de saída do microcontrolador é de $V_{\mu c} = 5 \text{ V}$, Resistência mínima na entrada do *TLP250* será:

$$R_{22} = \frac{V_{\mu c} - V_F}{I_F} = \frac{5 - 1.8}{0.01} = 320\Omega \quad (3.25)$$

Para o protótipo será usada uma resistência de $1 \text{ k}\Omega$, assumindo que o circuito apresenta na saída 12 V a resistência da porta do transistor será:

$$R_{21} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{12}{1.5} = 8\Omega \quad (3.26)$$

Será usada uma resistência de 10Ω , na saída da ponte, encontra-se um transformador responsável por elevar a tensão de 12V para 220V e um capacitor de $1\mu\text{F}$ para filtrar a tensão que entregue a carga.

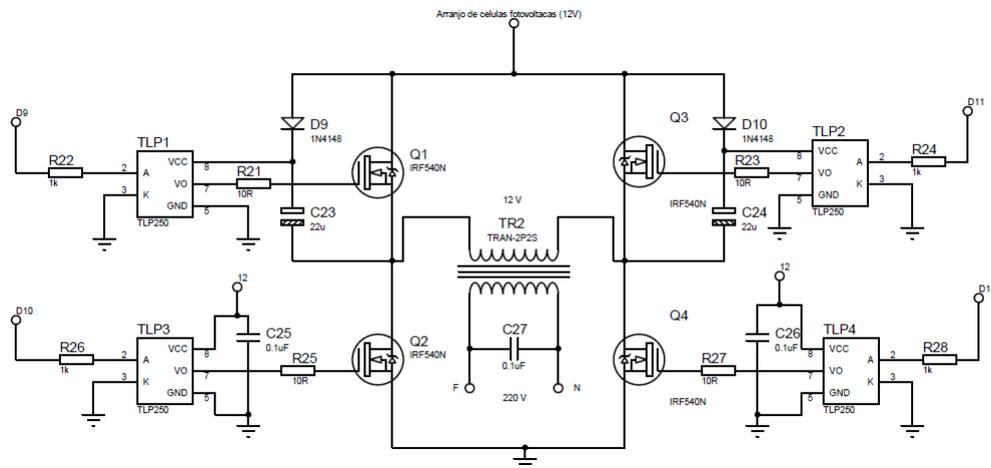


Figura 3.19: Circuito do inversor, Fonte: Ferroni (2018, p.34)

3.11.3 Controlador de carga

No secundário do transformador é conectado uma ponte de díodos para a retificação completa do sinal. O sinal rectificado é aplicado ao *LED* no terminal de entrada do CI 4n35 que comporta-se como um transmissor e emite raios infravermelhos, o fototransístor funciona como receptor captando os raios infravermelhos emitidos e produz uma saída proporcional ao sinal de entrada. As características principais deste CI são: Tensão limiar do *LED Infrared* $V_F = 1.5 \text{ V}$ e Corrente nominal do díodo $I_F = 10 \text{ mA}$. A tensão na saída da ponte será:

$$V_{DC} = \frac{2}{\pi}(V_{pico} - 0.7) = \frac{2}{\pi}(220\sqrt{2} - 0.7) = 197.178\text{V} \quad (3.27)$$

A resistência de entrada do CI 4n35 será:

$$R_{29} = \frac{V_{DC} - V_F}{I_F} = \frac{197.178 - 1.5}{0.01} \approx 20k\Omega \quad (3.28)$$

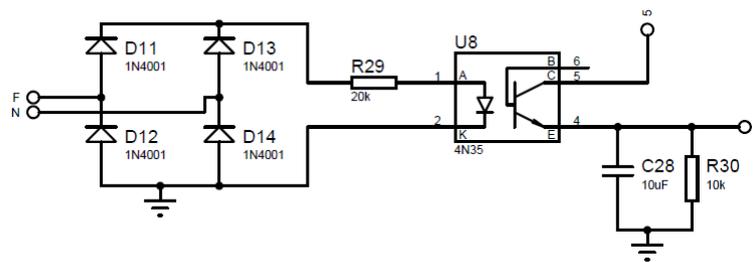


Figura 3.20: Circuito controlador de carga

3.12 Detecção de fraudes

Os métodos de detecção de fraudes usadas actualmente no país consistem em:

1. Utilização dos selos de chumbo que garante que o contador não foi aberto. Esse método requer que um fiscalizador verifique residência por residência a fim de verificar a integridade do selo.
2. Uso do contador e a caixa separada que é o caso do contador mais recente.

No entanto, os métodos acima apresentados não detectam fraudes em tempo real. Para permitir a detecção de fraudes serão usados dois medidores de corrente, um sistema de notificação e um estudo do comportamento do consumidor junto com os métodos acima mencionados.

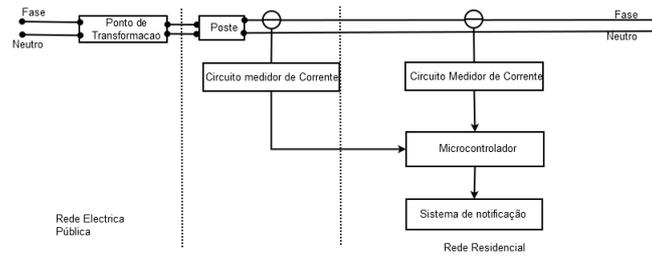


Figura 3.21: Detecção de fraudes

3.13 Accionamento remoto de cargas

Com o avanço da tecnologia e a evolução da web nas últimas décadas permitiu que os desenvolvedores de hardware tivessem a oportunidade de impulsionar a comunicação entre dispositivos através da *web*. Atendendo aos requisitos do sistema, será projectado um sistema de automação residencial que possibilite controlar via *web* diversos equipamentos eléctricos. Para atingir este requisito será usado o microcontrolador *ESP32* pelo facto de possuir a capacidade de trocar informações via protocolo *TCP/IP*, sem a necessidade de módulos externos. Para que o accionamento seja efectuado pelo microcontrolador serão usados actuadores (relés) e sensores. O accionamento remoto não só irá permitir que o consumidor ligue/desligue certas cargas mas também irá permitir que a fornecedora ligue/desligue a energia do consumidor em caso de ser detectada uma irregularidade também em caso do saldo for 0 kWh também a energia será desligada automaticamente. O desenvolvimento da página web será apresentado com mais detalhes na secção a seguir.

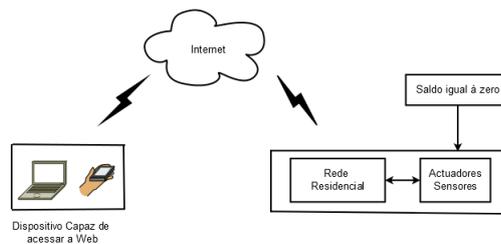


Figura 3.22: Acesso remoto de cargas

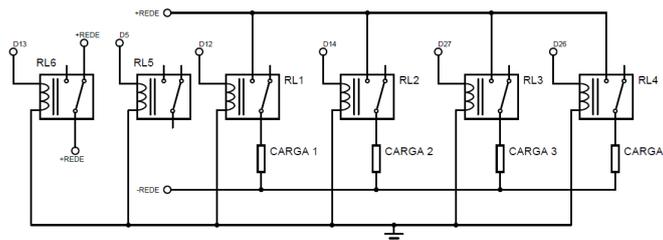


Figura 3.23: Esquema dos actuadores

3.14 Sistema Recarregamento

O sistema de recarregamento consiste em dois métodos o presencial através do teclado matricial e o remoto através da página *web* que será apresentada nos próximos capítulos, nesse projecto o sistema de recarregamento cumpre a tarefa de recarregar o saldo de energia eléctrica.

3.15 Sistema de notificação

O sistema de notificação está vinculado as mensagens enviadas à fornecedora e os consumidores, ao enviar uma notificação a fornecedora pretende deixar assentada uma determinada decisão que se tenha tomado ou que será tomada no futuro. Nesse projecto o sistema de notificação cumpre a tarefa de informar a fornecedora ou ao consumidor sobre acontecimentos marcantes como:

- Detecção de fraudes eléctricas;
- Término do saldo;

O sistema de notificação será implementado através do correio electrónico usando como recurso o protocolo *SMTP* que é o protocolo que permite o envio de correios entre máquinas numa rede.

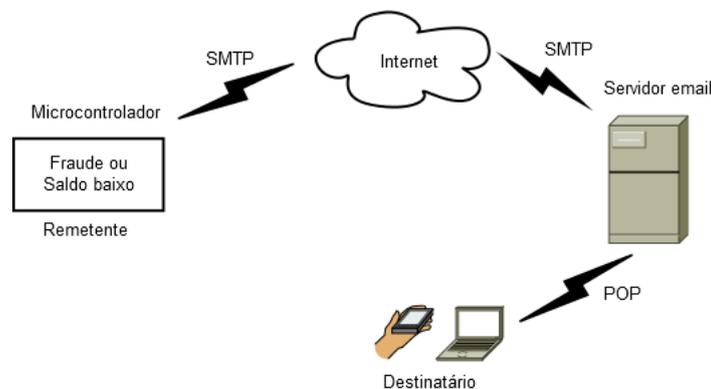


Figura 3.24: Arquitectura do sistema de notificação

3.16 Desenvolvimento da Página Web

Na etapa de construção da página Web pensou-se inicialmente usar uma linguagem simples e amplamente difundida. A linguagem de script conhecida como *PHP* foi escolhida por ser uma linguagem especialmente concebida para aplicações *Web*, que pode ser embutida na linguagem

HTML, sendo essa já bem conhecida entre as linguagens usadas para a criação de páginas para a *Internet*. Para além do *PHP* e do *HTML* foram usados:

- *CSS* - é uma linguagem de estilo da folha usada para organizar a apresentação de um documento escrito numa linguagem de marcação, usada para definir os estilos visuais da página *Web*;
- ***Bootstrap*** - é *framework* de auxílio no desenvolvimento *front-end* composto pelos documentos *HTML* e *CSS* e também, por arquivos em *JavaScript*, usado para definir os estilos visuais da página *Web*;
- ***MySQL*** – sistema de gerenciamento de banco de dados que está baseado nos padrões *SQL*, usado para tornar o sistema persistente.

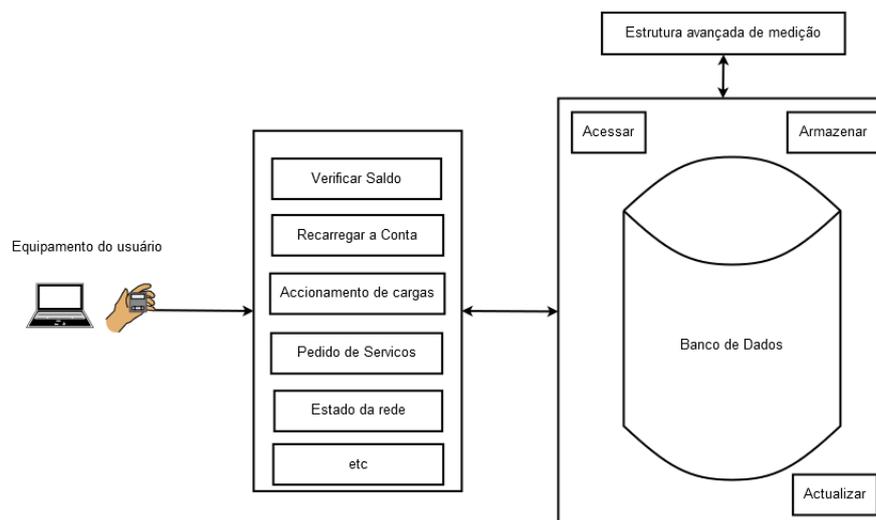


Figura 3.25: Arquitectura da página

A estrutura avançada de medição faz a leitura dos sensores e armazena todas leituras no banco de dados e o usuário acede à página como administrador ou consumidor e executa as suas tarefas.

3.17 Protocolos de comunicação usados

Arquitectura *TCP/IP* é um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede que se caracteriza pela definição de um modelo padrão de camadas para implementação na arquitectura de rede. O modelo de arquitectura *TCP/IP* possui suas funções divididas em 4 camadas nomeadamente: Aplicação, Transporte, Rede e Acesso a Rede.

3.17.1 Protocolo HTTP

Protocolo utilizado para transferir documentos de hipertexto e seus recursos de máquinas remotas. As principais características deste protocolo são:

- Protocolo de camada de aplicação da Arquitectura *TCP/IP*;
- Funciona baseado na troca de requisição resposta entre um cliente (navegadores) e um servidor *Web*;
- Toda a conversação se dá no formato *ASCII* (texto puro);
- Não guarda estado entre conexões distintas, isto é, cada conexão é nova para o servidor.

3.17.2 Protocolo SMTP

Protocolo de Transferência de Correio Simples é o protocolo padrão de envio de mensagens de correio electrónico através da *internet* entre dois dispositivos computacionais (emissor e receptor). Em outras palavras, o *SMTP* é um protocolo de *internet* que conecta máquinas e ajuda a transportar o *e-mail*, como um carteiro virtual. Ele faz parte da camada de aplicação do protocolo *TCP/IP*. Este protocolo consiste em texto plano, de somente de envio (semelhante a um carteiro), onde um ou vários destinatários de uma mensagem são especificados (e, na maioria dos casos, validados) sendo, depois, a mensagem transferida, por padrão via porta *TCP* 25 (ou 465 para conexão criptografada com *SSL*), podendo usar a porta alternativa 587. O *SMTP* por ter a função somente de envio, isto é, não permite que um usuário descarregue/solicite as mensagens de um servidor.

Assim para a leitura é necessário o uso de um software cliente de *e-mail* com suporte ao protocolo de leitura *POP* ou *IMAP*. Este protocolo foi usado para permitir a implementação do sistema de notificação no projecto.

3.18 Software do Microcontrolador

Com o hardware do projecto compatível com a entrada do microcontrolador, faz-se necessário programar o microcontrolador para efectuar os cálculos e as lógicas necessárias, a linguagem de programação usada é a linguagem C++ e o ambiente de desenvolvimento é o Arduíno IDE versão 1.8.13.

3.18.1 Software do medidor de energia

Inicialmente é definido um tempo para que a interrupção seja activa, isso se faz necessário para que a leitura do valor de tensão e corrente sejam feitas ao mesmo tempo e não de forma aleatória. Já dentro da interrupção é feita a leitura das portas analógicas, a conversão analógico/digital e os demais cálculos desejados.

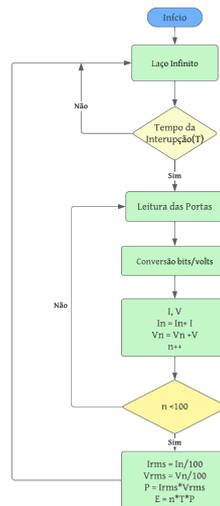


Figura 3.26: Fluxograma do Medidor de energia

3.18.2 Software do corrector de factor de potência

Quando o sistema é inicializado, o mesmo atualiza o valor do fator de potência (variável FP) de forma contínua (Loop principal) através da leitura dos tensão e corrente. Enquanto o valor do FP for menor que 0,92, os bancos capacitivos são acionados de forma sequencial a fim de se obter um FP entre 0.92 e 0.98. Caso em algum momento o sistema possua um valor de FP maior que 0.98, os bancos capacitivos são desligados, também de forma sequencial, evitando assim um sistema capacitivo.

3.18.3 Software do Inversor

Inicialmente são declaradas as variáveis (frequência da rede e do microcontrolador, período) que serão responsáveis por fazer o cálculo e a formação de um vector que conterà os valores específicos para correto acionamento das saídas do microcontrolador para a geração da senoide através do chaveamento correto dos MOSFETs, de seguida são definidos os *timers* que são responsáveis por

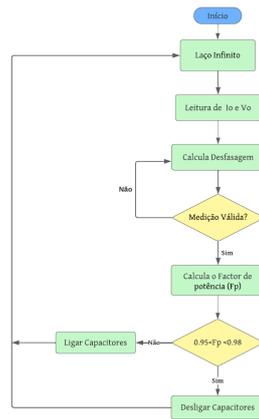


Figura 3.27: Lógica do corrector de factor de potência

manter as portas accionadas uma determinada quantidade de tempo para perfazer uma forma senoidal vista pelas saídas, de seguida posteriormente são declarados os estados que variam de acordo com a modulação SPWM ($state = 0$ estado positivo e $state = 1$ estado negativo) que permitem o accionamento síncrono dos MOSFETs.

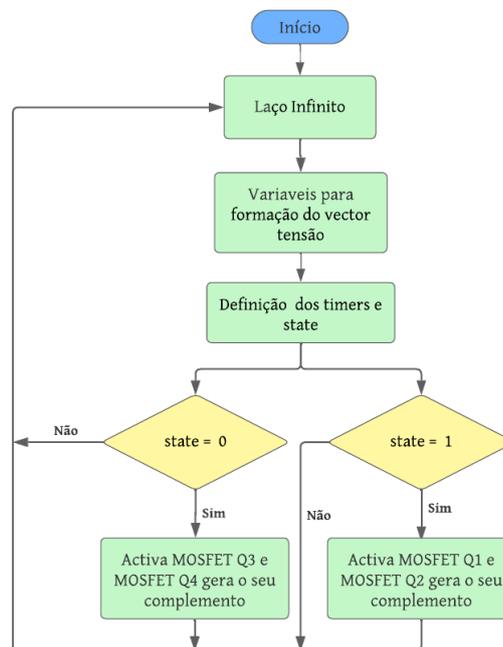


Figura 3.28: Lógica do Inversor

Os códigos usados para a programação do microcontrolador encontram-se nos anexos 11, 12, 13 e 14.

Capítulo 4

Resultados e discussões

Neste capítulo é apresentado todos os resultados obtidos após a montagem do protótipo do projecto e das simulações apresentadas nos capítulos anteriores. Para efectuar os testes usou-se uma fonte simétrica linear de $\pm 15V$, um multímetro, um osciloscópio, um laptop e cargas aleatórias.

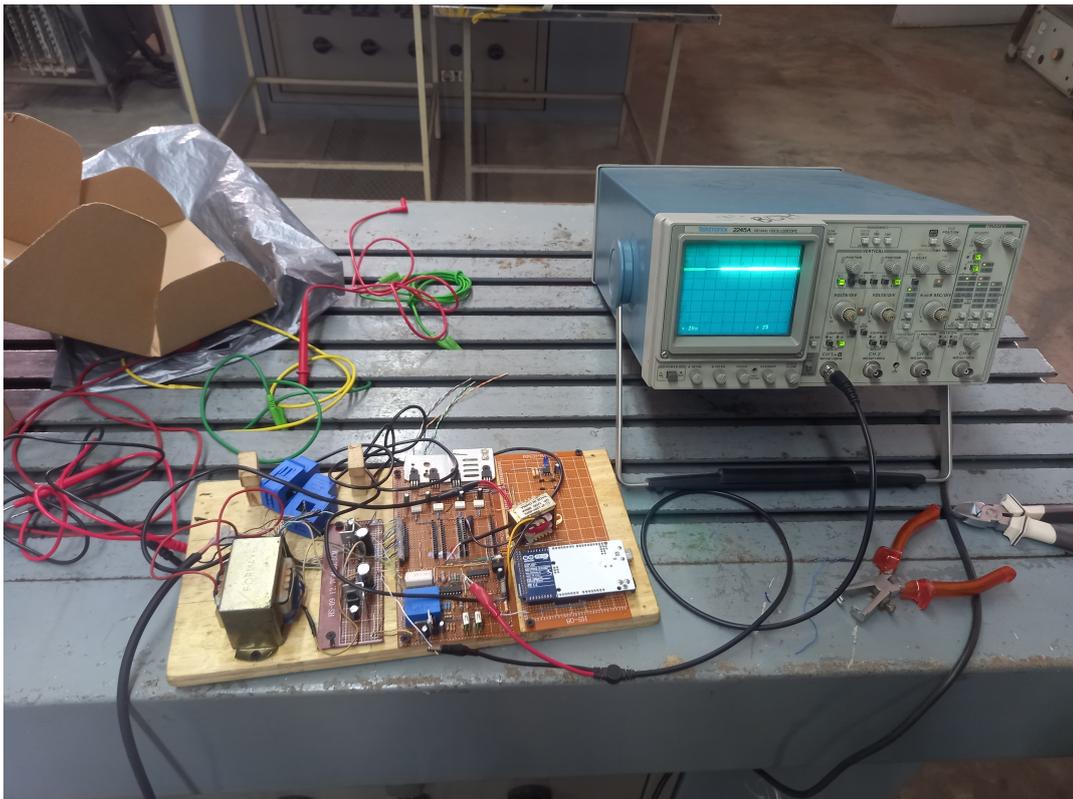


Figura 4.1: Testes dos circuitos do protótipo (Laboratório de Máquinas UEM-FE)

Serão apresentados resultados experimentais para a estrutura de medição, estrutura de comunicação e aplicações e serviços.

4.1 Interface do consumidor

A interface do consumidor baseia-se num contador dividido projectado para suprimir as fraudes eléctricas. A principal unidade de medição e controle é a estrutura de medição inacessível para o usuário, o usuário pode verificar o saldo e recarregar o saldo através desta interface que é apresentada da figura 4.2.



Figura 4.2: Interface do consumidor

4.2 Estrutura de medição

A estrutura de medição, apresentado na figura 4.3 efectua todas medições ao nível do sistema, tem a capacidade de armazenar todas as medições num banco de dados, os principais constituintes desta estrutura, na qual foram realizados os testes, são o medidor de tensão, medidor de corrente, actuadores, inversor e o corrector do factor de potência.

4.2.1 Medidor de tensão

Os circuito do medidor de tensão é basicamente constituído pelo transformador de tensão e o circuito condicionador de sinal que são alimentados através da fonte de ± 15 . Para o condicionador de sinal foi usado o amplificador operacional LM324 que é constituído por 4 amplificadores operacionais e um regulador de LM7805. Para a visualização do sinal foi usado o osciloscópio do Laboratório de Máquinas da Faculdade de engenharia da UEM.

Para verificação do circuito de tensão efetuou-se 10 medições de tensão da rede e obteve-se os seguintes resultados:



Figura 4.3: Estrutura de medição

O valor esperado é de 220 V, no entanto, o medidor de tensão apresenta uma precisão de:

$$\Gamma = 100\% \frac{V_{esperado}}{V_{medio}} = \frac{220}{220.282} = 99.63\% \quad (4.1)$$

As medições apresentam uma precisão aceitável, o que é satisfatório uma vez que não representa uma flutuação crítica em ordem do valor nominal.

4.2.2 Medidor de corrente

Os circuito do medidor de corrente é basicamente constituído pelos mesmos elementos do medidor de tensão com a substituição do transformador de tensão pelo transformador de corrente.

Para verificação do medidor efetuou-se medições de corrente usando diversas cargas de teste, durante as medições verificou-se que sem cargas ligadas o medidor de corrente detecta uma corrente de 0.09 A causada pelo facto de não haver uma calibração perfeita do transformador. Este impasse acabou por ser resolvido ao nível da programação do microcontrolador.

4.2.3 Inversor

Modulação *sPWM* através do microcontrolador

A implementação de um sinal *sPWM* se deu apenas mudando dinamicamente o valor dos registradores OCR1A e OCR1B o que muda o *duty cycle* do sinal *PWM*, onde foi montado um vetor dentro da função *setup* e aloca-lo na memória dinâmica do microcontrolador.

O sinal *sPWM* é resultado de pulsos de pequena largura no início e final do ciclo e de grande

Tabela 4.1: Medições de tensão da rede

n	Tensão medida
1	217.23
2	225.55
3	220.5
4	230
5	209
6	212.7
7	220
8	218.2
9	222.3
10	227.34
Média	220.282

largura, 100% de *duty cycle*, no meio do ciclo.

A partir das simulações foram obtidos os sinais na figura ?? através dos pinos 2, 5, 9 e 12, também pode - se ver que os pino 2 e 9 são complementares como também os pinos 12 e 5.

Testes de Carga

Para se realizar os testes no inversor, primeiramente o mesmo foi ligado em vazio, e depois foi ligado com dois tipos diferentes de carga, uma lâmpada LED e uma lâmpada incandescente e foram realizadas as medições de tensão e corrente apresentados na tabela ??

Tabela 4.2: Testes no inversor

Parâmetro	Em vazio	Lâmpada (9 W)
Tensão V_{cc} [V]	15	15
Tensão na saída da ponte V_H	9.51 [V]	8.95
Tensão de saída do Trafo [V]	173.5	164.083
Corrente na saída do Trafo [A]	0	0.0552

O transformador usado nos teste apresenta uma tensão no primário $V_2 = 12V$ e corrente $I_1 = 2A$, nestas condições a potência máxima teórica é de:

$$S = VI = 2V * 12A = 24VA$$

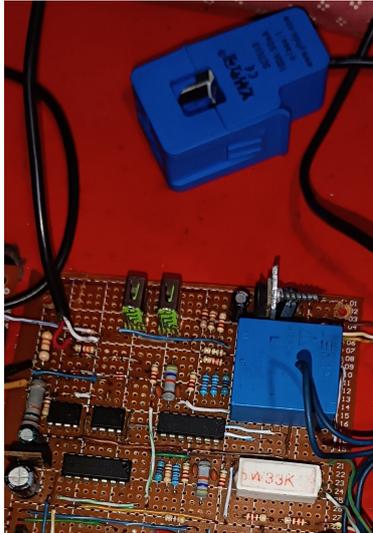


Figura 4.4: Medidor de tensão e corrente

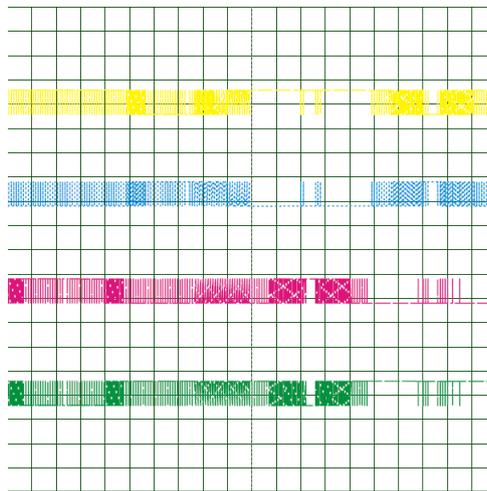


Figura 4.5: Modulação *sPWM* através do microcontrolador

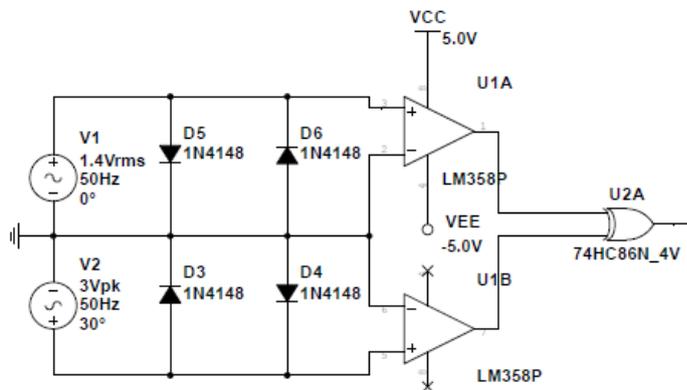
Verifica-se que a potência no secundário é muito baixa e insuficiente para o consumo residencial, aconselha - se o uso de um transformador de maior capacidade pelo menos 5 kVA ou o mais desejável a obtenção de um inversor com capacidade de pelo menos 5 kW.

Através dos testes também notou-se que existe uma variação na tensão entre o ensaio em vazio e o ensaio em carga, para evitar isso propõe-se o uso de um circuito controlador para evitar essa variação.

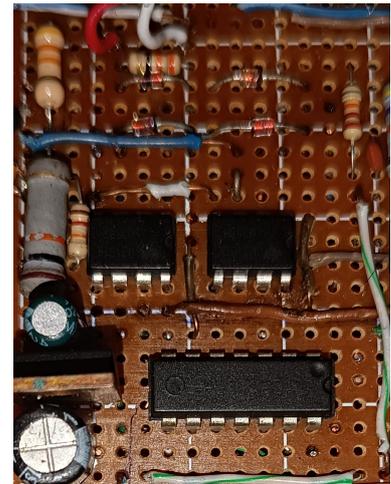
4.2.4 Corrector do factor de potência

Para se efectuar os testes do corrector do factor potência, inicialmente foram realizadas simulações do circuito detector de desfasamento usando dois sinais com um desfasamento de $\phi_0 = 30^\circ$

entre eles, foram obtidos os seguintes sinais na figura 4.7.



(a) Simulação do detector de fase, Fonte: O autor



(b) Detector de fase, Fonte: O autor

Figura 4.6: Circuito detector de desfasamento, Fonte: Autor

Na figura 4.7a os dois sinais apresentam um desfasamento entre si, nas figuras 4.7b e 4.7c os comparadores geram na saída um sinal de onda quadrada que varia de V_{CC} à V_{EE} , na figura 4.7d é nítido que os sinais gerados pelos comparadores apresentam um atraso entre-si originado pela diferença de fase. Na figura 4.7e é mostrado saída da porta lógica XOR que apresenta pulsos com duração correspondente ao atraso entre os dois sinais ($\Delta t = 1.705ms$), nestas condições a fase foi determinada da seguinte forma:

$$\phi_1 = 2\pi f \Delta t = 2\pi * 50 * 1.705 * 10^{-3} = 0.535rad = 30.69^\circ \quad (4.2)$$

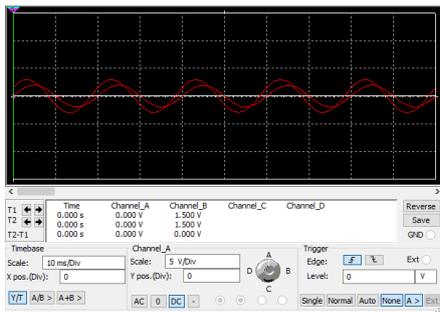
Para sinais com diferença de fase de 30° o circuito gerou uma diferença de fase de 30.69° , isto significa que o detector de fase apresenta um erro relativo de:

$$\varepsilon\% = 100\% \frac{\phi_1 - \phi_0}{\phi_0} = 100\% \frac{30.69 - 30}{30} = 2.3\% \quad (4.3)$$

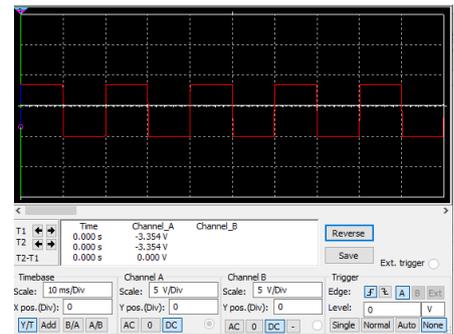
As medições apresentam uma precisão aceitável, o que é satisfatório uma vez que não apresenta uma flutuação crítica na ordem do valor nominal, para o teste de correcção do factor de potência foram usados os seguintes equipamentos:

- Liquidificador Smart, com 5 velocidades (v), 500 W;
- Ventoinha, 3 velocidades (v), 106 W.

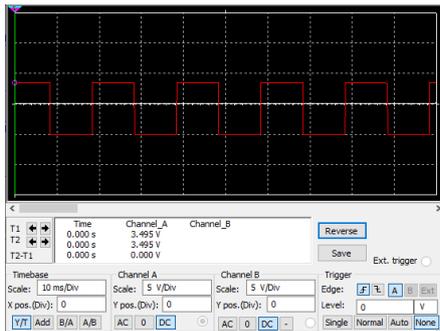
Foram obtidos os seguintes resultados:



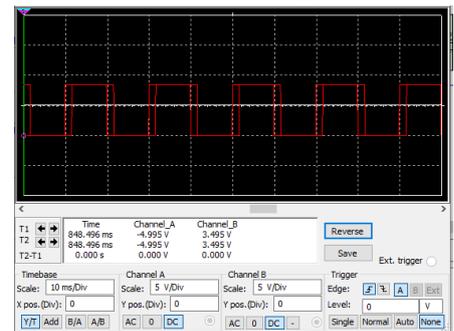
(a) Sinais na entrada dos comparadores



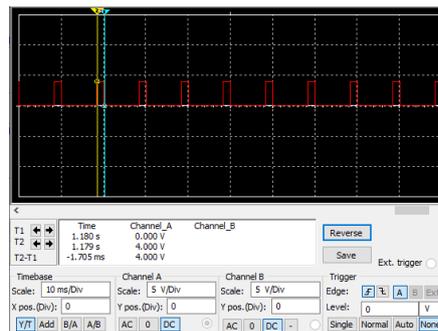
(b) Sinal na saída do comparador U1A



(c) Sinal na saída do comparador U1B



(d) Saída dos dois comparadores



(e) Sinal na saída da porta XOR

Figura 4.7: Detector de desfasamento

Verificou - se que independentemente da carga o microcontrolador seleccionava a combinação dos capacitores necessária para corrigir o factor de potência.

4.2.5 Actuadores

Para este protótipo foram usados no total 14 actuadores dos quais 12 foram relés (5V/10A) e contactores (25 A e 50 A), estes actuadores foram usados para permitir o accionamento automático do banco de capacitores e accionamento remoto de cargas.

Tabela 4.3: Testes do corrector do factor de potência

Equipamento	F_{pantes}	Combinação de C_i	C_T (uF) ($C_T = \sum C_i$)	$F_{pdepois}$
Liquidificador em $v = 1$	0.82	00000100 ₂ = 4	22	0.9996
Liquidificador em $v = 2$	0.77	00000101 ₂ = 5	26.7	0.9998
Liquidificador em $v = 3$	0.74	00000101 ₂ = 5	26.7	0.995
Ventoinha em $v = 1$	0.68	00000110 ₂ = 6	32	0.9945
Ventoinha em $v = 2$	0.65	00000111 ₂ = 7	36.7	0.998
Ventoinha em $v = 3$	0.63	00000111 ₂ = 7	36.7	0.9933

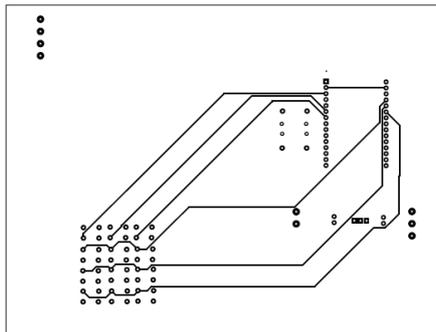
4.3 Aplicações e Serviços

Aplicações e serviços refere-se aos serviços que sistema dedica aos consumidores e a fornecedora, os principais serviços oferecidos e testados com sucesso foram:

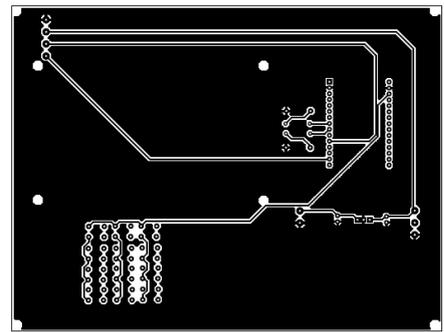
- Accionamento remoto de carga - foram accionadas cargas presentes na bancada de teste usando um celular, laptop capazes de aceder ao ambiente *web* a partir de um navegador;
- Sistema de recarregamento - efectuou-se o recarregamento do saldo usando o teclado matricial e através do ambiente *web*, inicialmente surgiram conflitos entre as duas formas mais foram resolvidos atribuindo prioridades;
- Sistema de notificação - verificou-se que o sistema notificava aos usuários do sistema sobre o término do saldo e quando fraudes fossem detectadas;
- Emissão de relatórios - sempre que requisitado o sistema permitiu a emissão de relatórios com um bom tempo de resposta;
- Sistema de ordem e pedidos de serviço - sempre que requisitado pelos consumidores o sistema permitiu a emissão de ordem de serviços e o lado da fornecedora foi capaz de verificar o pedido de serviço;
- Estado da rede eléctrica - o sistema sempre fazia uma análise das condições da rede a fim de verificar se rede eléctrica está a fornecer serviços de qualidade.

Os principais serviços dedicados para o consumidor e o gestor na serão apresentados nos anexos 15 e 16.

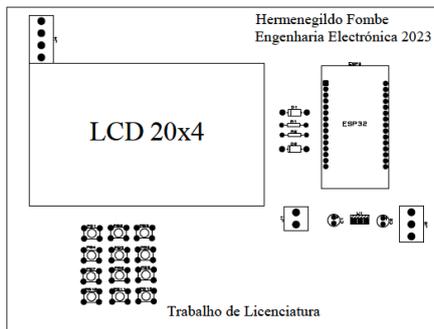
4.4 Placa de circuito impresso da interface do consumidor



(a) Top



(b) Botton

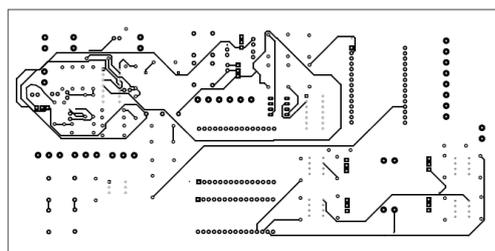


(c) Top Silk

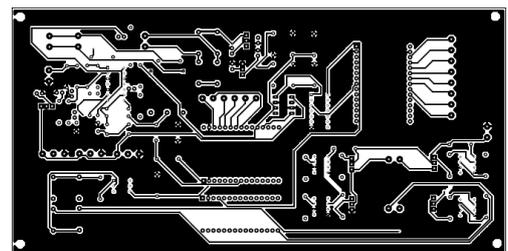


(d) Visão 3D

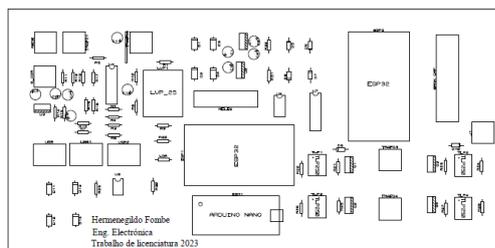
4.5 Placa de circuito impresso da estrutura de medição



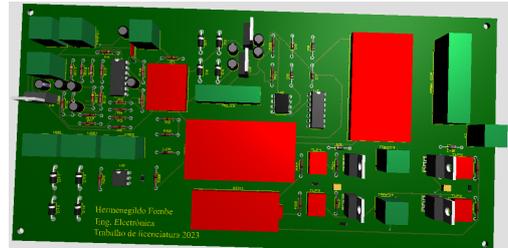
(a) Top



(b) Botton



(c) Top Silk



(d) Visão 3D

4.6 Orçamento do Projecto

Tabela 4.4: Orçamento do Projecto

Descrição	Quantidade	Custo unitário (MZN)	Custo total(MZN)
ESP32	3	600,00	1.800,00
Arduino Nano	1	600,00	600,00
Transformador LVP25	1	1.250,00	1.250,00
Transformador Corrente	2	700,00	1.400,00
Transformador 220/2x24	1	600,00	600,00
Transformador 220/2x12	1	450,00	450,00
LM324	1	45,00	45,00
LM358	1	45,00	45,00
Regulador de Tensão	4	35,00	140,00
74HC386	1	70,00	70,00
TLP 250	4	300,00	1.200,00
MOSFET IRF540N	4	50,00	200,00
Painel Solar	5	2.000,00	10.000,00
CI 4n35	1	40,00	40,00
LCD 20x4	1	700,00	700,00
Modulo Relé 16 canais	1	1.000,00	1.000,00
Contactora	6	1.500,00	9.000,00
Resistor	30	20,00	600,00
Capacitor	20	50,00	1.000,00
Diodo	14	10,00	140,00
Push Button	14	20,00	280,00
Total			29.500,00

Capítulo 5

Conclusões, limitações e recomendações de estudo

5.1 Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido com objectivo principal de Desenvolver um sistema de gestão de energia eléctrica como alternativa à rede inteligente de distribuição de energia eléctrica através do projecto de um sistema microcontrolado, inicialmente foi realizada um descrição do estado actual da rede no país para poder ressaltar os principais problemas desta e destacar as principais funções das redes inteligentes sem esquecer de mencionar o quão importante seria a sua contribuição no país.

A partir de uma análise das principais funções da rede inteligente foi realizada uma modelagem do sistema proposto que levaram ao dimensionamentos de um conjunto de circuitos electrónicos que permitiram a construção do protótipo físico do sistema de gestão de energia eléctrica que através de testes verificou-se que seria capaz de revolucionar a rede actual do país.

Com o advento da internet das coisas, as facilidades e os ganhos que ela traz consigo foi implementada um aplicativo *web* que mostrou ser eficaz e eficiente no monitoramento de todo o sistema.

Em suma, com o estudo feito, o protótipo projectado, implementando, ensaiando e sobretudo com os resultados acima discutidos foi possível comprovar o funcionamento do sistema desenvolvido.

5.2 Limitações

As principais de limitações encontradas ao longo do trabalho foram:

- Falta de bibliografias referentes a rede inteligentes no contexto actual de moçambicano o que fez com que o autor recorresse a analogias com os países que estão no processo de migração para as redes inteligentes e as principais dificuldades que estes encontraram;
- Falta de equipamentos para o protótipo o que fizeram o autor recorrer a equipamentos com eficiência baixa o que originou problemas que envolviam sinais indesejados ou até mesmo a ausência de sinais no decorrer dos circuitos.

5.3 Recomendações de estudo

Recomenda-se aos trabalhos futuros:

- Uso de algoritmos de mineração de dados para o estudo do comportamento do consumidor;
- Uso de um sistema de notificação mais acessível e comum para os usuários do sistema;
- Projecto de um circuito capaz de realizar a correção do factor de potência a partir de banco de capacitores e indutores.

Bibliografia

- [1] BISWAS, S. Development of microcontroller based smart grid framework. *arXiv preprint arXiv:2111.10835* (2021).
- [2] BOYLESTAD, R., AND NASHELSKY, L. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*, vol. 6. Prentice-Hall do Brasil, 1984.
- [3] CALHAU, F. G., NASCIMENTO, F. M. S., DA SILVA, R. M., AND BEZERRA, J. S. B. M. Smart grids: Características, requisitos e perspectivas. *ETC Educação, Tecnologia e Cultura* 10 (2014), 17–30.
- [4] CHAPALA, N. Implantação das redes eléctricas inteligentes em moçambique: por onde começar?
- [5] CHAPALA, N. A previsão do consumo de eletricidade nas residências da cidade de maputo. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/consumo-de-eletricidade>, 2020. Acessado: 27/04/2023.
- [6] COELHO, A. Análise e desenvolvimento de um medidor de consumo de energia microcontrolado, 2016.
- [7] COSTA, V. Contagens de energia eléctrica.
- [8] COUTINHO, M. Automação residencial: acionamento remoto de cargas via web.
- [9] DA SILVA SALSA, F. A. *Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica-Comunicações Wireless*. PhD thesis, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal), 2017.
- [10] EDM, E. Contador credelec. <https://www.edm.co.mz/pt/products/contador-credelec>. Acessado: 06/03/2023.

- [11] ENERGYEDIA. Situação da eletricidade em moçambique. https://energypedia.info/wiki/Situa%C3%A7%C3%A3o_da_Eletricidade_em_Mo%C3%A7ambique. Acessado: 09/04/2023.
- [12] ESTRATÉGICOS. Redes elétricas inteligentes: contexto nacional.
- [13] FARDIN, J. Smart grid.
- [14] FERRONI, F. Inversor de tensão senoidal microcontrolado por arduino, 2018.
- [15] FORTES, E., AND ANLAUE, O. Sistema de notificação do término do saldo de credelec.
- [16] IARONKA, O. Projeto e desenvolvimento de um sistema inteligente de monitoramento de energia elétrica para residências, 2019.
- [17] KHAN, M. Automatic power factor improvement system.
- [18] KNUPPE, L. Impacto na qualidade de energia do desvio de frequência. <https://www.leoknuppe.wordpress.com/2015/11/16/impacto-na-qualidade-de-energia-do-desvio-de-frequencia/>, 2015. Acessado: 30/04/2023.
- [19] MALVINO, A. P., AND BATES, D. *Eletrônica-Vol. 2: 8ª Edição*. McGraw Hill Brasil, 2016.
- [20] MATTEDE, H. Banco de capacitores – o que é e para que serve! <https://www.mundodaeletrica.com.br/banco-de-capacitores-o-que-e-para-que-serve/>. Acessado: 12/03/2023.
- [21] MAYFIELD. Microgrids explained: Part 1. <https://www.mundodaeletrica.com.br/banco-de-capacitores-o-que-e-para-que-serve/>. Acessado: 17/06/2023.
- [22] NEOSOLAR. Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes/>, 2015. Acessado: 11/04/2023.
- [23] PERTENCE, A. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos-8*. Bookman Editora, 2015.
- [24] PINHEIRO, A., AND LORDELLO, I. Controlador de fator de potência utilizando arduino.
- [25] POMILIO, J. Princípios e conceitos de redes elétricas inteligentes.

- [26] PONTES, P. Desenvolvimento de um contador digital com leitura de harmônicos, 2015.
- [27] SILVA, J., AND LIMA, J. Simulação de um sistema automático de correção do fator de potência, microcontrolado pela plataforma arduino.

ANEXOS

Anexo 1: Folha de dados do transformador de tensão



Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of voltages: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$U_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal RMS current	10	mA
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 ... ±14	mA
R_M	Measuring resistance	$R_{M, \text{min}}$	$R_{M, \text{max}}$
		with ±12 V	with ±14 mA _{max}
	with ±15 V	with ±10 mA _{max}	with ±14 mA _{max}
		with ±14 mA _{max}	
I_{SN}	Secondary nominal RMS current	25	mA
N_p/N_s	Turns ratio	2500 : 1000	
U_C	Supply voltage (±5 %)	±12 ... 15	V
I_C	Current consumption	10 (@ ±15 V) + I_p	mA

Accuracy - Dynamic performance data

e_{tot}	Total error @ $I_{PM}, T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	@ ±12 ... 15 V	±0.9	%
		@ ±15 V (±5 %)	±0.8	%
e_L	Linearity error		< 0.2	%
I_O	Offset current @ $I_p = 0, T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ	±0.15	mA
		Max	±0.25	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0 °C ... +25 °C	±0.06	±0.25
		+25 °C ... +70 °C	±0.10	±0.35
t_{90}	Delay time ¹⁾ to 90 % of the final output value for U_{PN} step 40			µs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 ... +70	°C
T_{AM}	Ambient storage temperature	-25 ... +85	°C
R_p	Resistance of primary (winding) @ $T_A = 70 \text{ }^\circ\text{C}$	250	Ω
R_s	Resistance of secondary winding @ $T_A = 70 \text{ }^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010	

Note: ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 , which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

N° 97.27.19.000.0

8July2021/Version 20

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice

Page 1/4
LEM International SA
Chemin des Aubes 8
1228 PLAN-LES-OUATES Switzerland
www.lem.com

Anexo 2: Folha de dados do transformador de corrente



Product Specification

Date:2015-8-7

Product Name	Current transformer	Model	SCT013-000
--------------	---------------------	-------	------------

Characteristics: Opening size 13mm*13mm, 1m leading wire, standard Φ 3.5 three-core plug output.
Current output type

Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc.
Patent No.: ZL 2015 3 0060067. X

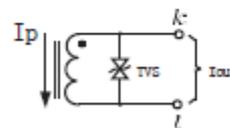
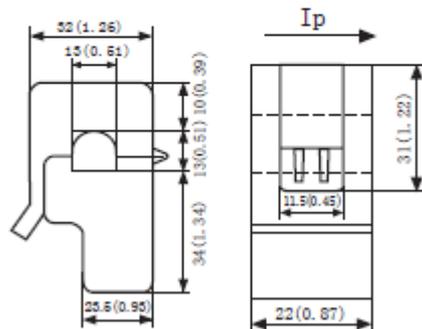
Technical Data

I_{PN}	Rated input	0-100A
I_{PM}	Max. detection input	
I_{OUT}	Rated output	0-50mA
X	Accuracy	$\pm 1\%$
ϵ_L	Linearity	$\pm 3\%$
N	Turns ratio	1:1800
Φ	Phase shift	$\leq 180'$
R_L	Max. Sampling resistance	10 Ω
V_{FN}	Work voltage	660V
f	Work frequency	50-1KHz
T_A	Operating temperature	-25..+70 $^{\circ}$ C
T_S	Storage temperature	-40..+85 $^{\circ}$ C
Vd	Dielectric strength, 50 Hz, 1 min	3KV

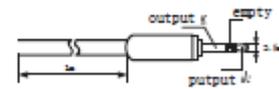


Fire resistance	UL94-V0
Material of core	Ferrite
Mounting type	Suspension
Weight	55g

Dimension (mm(in). 1 mm= 0.0394 inch)



current output type



(can provide other wiring way)

Front view

Side view

Schematic diagram

Standard three-core plugs
schematic diagram

Anexo 3: Folha de dados do AMPOP LM324



UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD

LM324

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

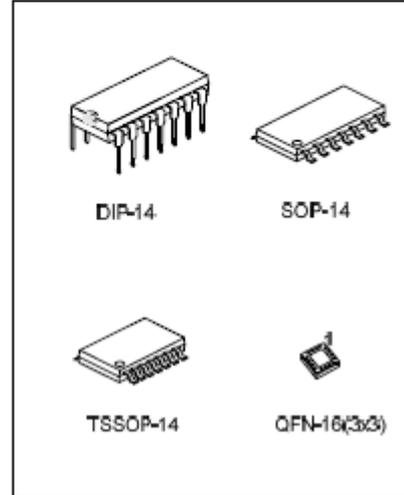
QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

DESCRIPTION

The UTC LM324 consists of four independent, high gain internally frequency compensated operational amplifiers which are designed specifically to operated from a single power supply over a wide voltage range. Operation from split power supplies is also possible. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply system.

FEATURES

- *Internally frequency compensated for unity gain
- *Large DC voltage gain :100dB
- *Wide operating supply range ($V_{CC}=3V\sim 32V$)
- *Input common-mode voltage includes ground
- *Large output voltage swing: From 0V to $V_{CC}-1.5V$
- *Power drain suitable for battery operation



ORDERING INFORMATION

Ordering Number		Package	Packing
Lead Free	Halogen-Free		
LM324L-D14-T	LM324G-D14-T	DIP-14	Tube
LM324L-S14-R	LM324G-S14-R	SOP-14	Tape Reel
LM324L-P14-R	LM324G-P14-R	TSSOP-14	Tape Reel
LM324L-Q16-3030-R	LM324G-Q16-3030-R	QFN-16(3x3)	Tape Reel

<p>LM324G-D14-T</p> <p>(1)Packing Type (2)Package Type (3)Green Package</p>	<p>(1) T: Tube, R: Tape Reel (2) DIP: DIP-14, S14: SOP-14, P14: TSSOP-14 Q16-3030: QFN-16(3x3) (3) G: Halogen Free and Lead Free, L: Lead Free</p>
---	--

Anexo 4: Parâmetros a e b para filtros Butterworth até oitava ordem

n	a	b
2	1,414214	1
3	1,000000	1
	-	1
4	0,765367	1
	1,847759	1
5	0,618034	1
	1,618034	1
	-	1
6	0,517638	1
	1,414214	1
	1,931852	1
7	0,445042	1
	1,246980	1
	1,801938	1
	-	1
8	0,390181	1
	1,111140	1
	1,662939	1
	1,961571	1

Anexo 5: Folha de dados da porta XOR SN74HC86



SN74HC86, SN54HC86

SCLS100F – DECEMBER 1982 – REVISED APRIL 2021

SNx4HC86 Quadruple 2-Input XOR Gates

1 Features

- Buffered inputs
- Wide operating voltage range: 2 V to 6 V
- Wide operating temperature range: -40°C to +85°C
- Supports fanout up to 10 LSTTL loads
- Significant power reduction compared to LSTTL logic ICs

2 Applications

- Detect phase differences in input signals
- Create a selectable inverter / buffer

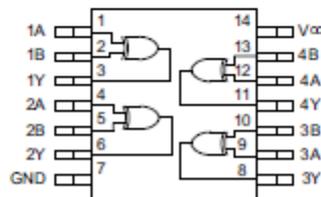
3 Description

This device contains four independent 2-input XOR gates. Each gate performs the Boolean function $Y = A \oplus B$ in positive logic.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
SN74HC86D	SOIC (14)	8.70 mm × 3.90 mm
SN74HC86N	PDIP (14)	19.30 mm × 6.40 mm
SN74HC86NS	SO (14)	10.20 mm × 5.30 mm
SN74HC86PW	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm
SN54HC86J	CDIP (14)	21.30 mm × 7.60 mm
SN54HC86W	CFP (14)	9.20 mm × 6.29 mm
SN54HC86FK	LCCC (20)	8.90 mm × 8.90 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



Functional pinout

Anexo 6: Folha de dados do módulo fotovoltaico



ELECTRICAL DATA | STC

Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P	CS6P-260P
Nominal Maximum Power (Pmax)	250W	255W	260W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	30.1V	30.2V	30.3V
Optimum Operating Current (Imp)	8.30A	8.43A	8.60A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.2V	37.4V	37.6V
Short Circuit Current (Isc)	8.87A	9.00A	9.10A
Module Efficiency	15.54%	15.85%	16.16%
Operating Temperature	-40°C~+85°C		
Maximum System Voltage	600V (UL)/1000V (UL)/1000V (IEC)		
Maximum Series Fuse Rating	15A		
UL Fire Classification	Class C		
Power Tolerance	0~+5W		

*Under standard test conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C

ELECTRICAL DATA | NOCT

Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P	CS6P-260P
Nominal Maximum Power (Pmax)	181W	185W	189W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	27.5V	27.6V	27.7V
Optimum Operating Current (Imp)	6.60A	6.71A	6.82A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.2V	34.4V	34.6V
Short Circuit Current (Isc)	7.19A	7.29A	7.40A

*Under nominal operating temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PRODUCT | MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type:	Poly-crystalline 156 x 156mm.
Cell Arrangement:	60 (6 x 10)
Dimensions:	1638 x 982 x 40mm (64.5 x 38.7 x 1.57in)
Weight:	18.5kg (40.8 lbs.)
Front Cover:	3.2mm tempered glass
Module Frame Material:	Anodized aluminum alloy
J-Box:	IP65 or IP67, 3 diodes
Cable:	4mm ² (IEC) 4mm ² & 12AWG (UL 1000V)/12AWG (UL 600V), 1000mm
Connectors:	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging:	24 pcs, 304kg (Quantity and weight per pallet)
Module Pieces per Container:	672 pcs (40' HQ)

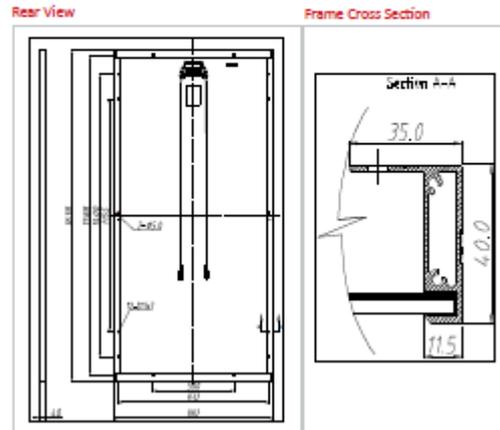
TEMPERATURE | CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.063%/°C
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C

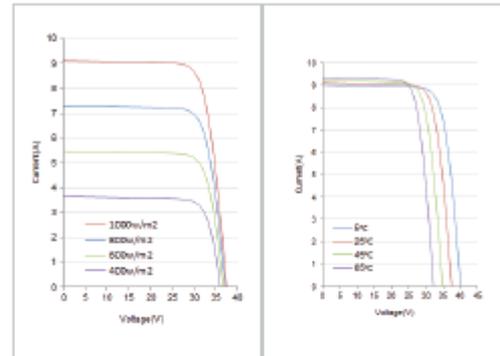
PERFORMANCE | AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiation environments, +95.3% PV module efficiency from an irradiance of 1000w/m² to 200w/m² (AM 1.5, 25°C.)

MODULE | ENGINEERING DRAWING



CS6P-260P I-V CURVES

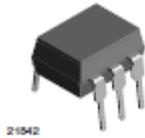


Anexo 7: Folha de dados do fotoacoplador 4n35

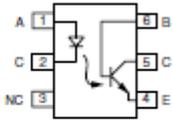


4N35, 4N36, 4N37
Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21542



470842

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60960:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60960 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V_R	6	V
Forward current		I_F	50	mA
Burge current	$t \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	1	A
Power dissipation		P_{Diss}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V_{EB0}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
	$t \leq 1 ms$	I_C	100	mA
Power dissipation		P_{Diss}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

Anexo 8: Folha de dados do driver TLP250

TOSHIBA

TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

Transistor Inverter
 Inverter For Air Conditioner
 IGBT Gate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

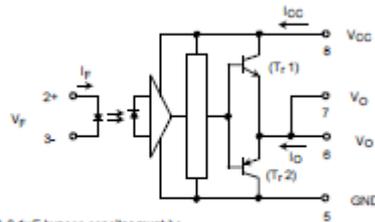
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_T = 5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}55\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{Vrms}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, File No. E67549
- Option (D4) type
 VDE approved: DIN VDE0884/05.02, certificate No.70825
 Maximum operating insulation voltage: 650VPK
 Highest permissible over voltage: 4000VPK

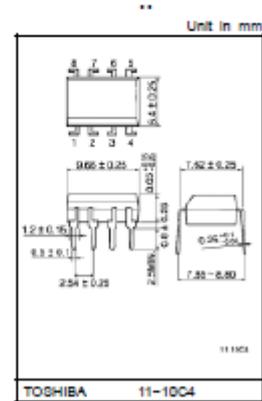
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: $5.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance: $5.4\text{mm}(\text{min.})$

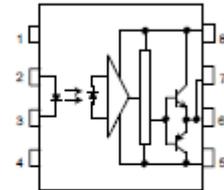
Schematic



A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



Pin Configuration (top view)



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6: V_O (Output)
- 7: V_O
- 8: V_{CC}

Truth Table

Input LED	On	Off	Tr1	Tr2
On	On	Off	On	Off
Off	Off	On	Off	On

Anexo 9: Folha de dados do MOSFET IRF540N



IRF540, IRF541, IRF542, IRF543, RF1S540, RF1S540SM

25A and 28A, 80V and 100V, 0.077 and 0.100 Ohm,
N-Channel Power MOSFETs

November 1997

Features

- 25A and 28A, 80V and 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.077\Omega$ and 0.100Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Description

These are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

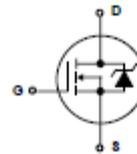
Formerly developmental type TA17421.

Ordering Information

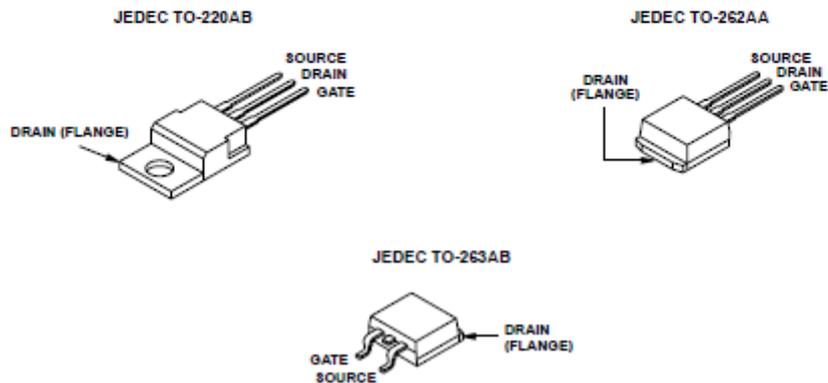
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF540	TO-220AB	IRF540
IRF541	TO-220AB	IRF541
IRF542	TO-220AB	IRF542
IRF543	TO-220AB	IRF543
RF1S540	TO-262AA	RF1S540
RF1S540SM	TO-263AB	RF1S540SM

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix 9A to obtain the TO-263AB variant in the tape and reel, i.e., RF1S540SM9A.

Symbol



Packaging



Anexo 10: Especificação da capacidade dos actuadores para banca de capacitores

i	Capacitor [uF]	$(I_{C_i} = 2\sqrt{2}\pi f C_i V)$ em [A]	Capacidade $I_a = 1.15 * I_c$ em [A]
1	4.7	0.46	0.53
2	10	0.977	1.125
3	22	2.15	2.5
4	47	4.6	5.3
5	100	9.77	11.25
6	220	21.5	24.73
7	363	35.5	40.8
8	690	67.5	77.6
-	Total	142.46	163.83

Onde:

- I_{C_i} é a corrente de pico que flui no capacitor quando alimentado por 220V à 50Hz;
- I_a é a corrente de pico mínima que o actuador deverá suportar, foi usada a regra de 15 % para à determinar.

Anexo 11: Programa do microcontrolador do contador do consumidor Linguagem C++

```

.....
Contador do consumidor
.....
-- IDE do Arduino Versão 1.8.13
-- Autor : Hermenegildo Fombe
-- Supervisor : Msc. Heider Baloi, Eng
-- Junho, 2023
.....
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <WiFi.h>
void recarga();
void AtualizarEnergia();
void RecarregaManual();
const byte ButtonPin = 4, Redled = 23, Yellowled = 34;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 3;
const char* ssid = "Hermenegildo";
const char* password = "cubafombe";
const char* host = "192.168.204.172";
const char* host_0 = "http://192.168.204.172/sistema_electrico/AtualizarEnergia.php";
double Energia, Consumo, Vrms;
int Recarga, Valor, Controle = 0, i, x = 0, y = 0, z = 0;
boolean change = false;
String num = "";

```

(a)

```

56 void loop() {
57   AtualizarEnergia();
58   change = true;
59   Serial.print(digitalRead(ButtonPin));
60 }
61 if (change) {
62   RecarregaManual();
63 }
64 else {
65   lcd.setCursor(0, 1);
66   lcd.print("Energia");
67   lcd.setCursor(0, 2);
68   lcd.print(Energia);
69 }
70 }
71 void RecarregaManual() {
72   char key;
73   lcd.clear();
74   x = 0;
75   y = 0;
76   num = "";
77   do {
78     key = customKeypad.getKey();
79     if (isDigit(key)) { // verifica se a tecla pressionada é um numero
80       num = num + key;
81       lcd.setCursor(x, y);

```

(c)

```

111   else {
112     Valor = 20;
113   }
114 }
115 recarga();
116 Serial.println(Recarga);
117 }
118 else {
119   num = "Inválida";
120   digitalWrite(Redled, 1);
121   delay(200);
122   digitalWrite(Redled, 0);
123   delay(200);
124 }
125 }
126 void AtualizarEnergia() {
127   http.begin(host_0);
128   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
129   int httpCode = http.GET();
130   String payload = http.getString(); // get data from webhost continuously
131   Energia = payload.toDouble();
132   Serial.print(Energia);
133   delay(500);
134   http.end();
135 }
136 }
137 }

```

(e)

```

155 // This will send the request to the server
156 client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
157             "Host: " + host + "\r\n" +
158             "Connection: close\r\n\r\n");
159 unsigned long timeout = millis();
160 while (client.available() == 0) {
161   if (millis() - timeout > 5000) {
162     Serial.println(">>> Client Timeout !");
163     client.stop();
164     return;
165   }
166 }
167 // Read all the lines of the reply from server and print them to Serial
168 while (client.available()) {
169   String line = client.readStringUntil('\r');
170   Serial.println(line);
171 }
172 Serial.println();
173 Serial.println("closing connection");
174 delay(1000);
175 }

```

(g)

```

27 char Keys[ROWS][COLS] = {
28   {'1', '2', '3'},
29   {'4', '5', '6'},
30   {'7', '8', '9'},
31   {'*', '0', '#'}
32 };
33 byte rowPins[ROWS] = {13, 32, 33, 25};
34 byte colPins[COLS] = {27, 14, 12};
35 Keypad customKeypad = Keypad(makeKeypad(Keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);
36 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
37 HTTPClient http;
38 void setup() {
39   pinMode(Redled, OUTPUT);
40   pinMode(Yellowled, OUTPUT);
41   pinMode(ButtonPin, INPUT_PULLUP);
42   lcd.init();
43   lcd.backlight();
44 }
45 Serial.begin(9600);
46 Serial.print("Connecting to ");
47 Serial.println(ssid);
48 WiFi.begin(ssid, password);
49 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
50   delay(500);
51   Serial.print(".");
52 }
53 }

```

(b)

```

83   lcd.print(key); // imprime no lcd
84   x++; // incrementa a posicao
85   if (x > 20) // verifica se ja atingiu a posicao maxima
86     { // avanca para outra linha
87       x = 0;
88       y = y + 1;
89     }
90   } else {
91     if (key == '*') { // if *, apagar
92       if ((x > 0) || (y > 0)) { // verifica se ha algo
93         x = x - 1; // volta a posicao anterior
94         lcd.setCursor(x, y); // define a posicao do lcd
95         lcd.print(""); // write a stringa vazia para
96         num.remove(num.length() - 1); // remove o ultimo digito da string
97       }
98     }
99   }
100   change = false;
101 } while (key != '#'); // sai do loop
102 }
103 lcd.clear();
104 x = num.length();
105 if (z == 0) {
106   Recarga = num.toInt();
107 }
108 if (Recarga & 2 == 0) {
109   Valor = 10;
110 }
111 else {

```

(d)

```

127 void AtualizarEnergia() {
128   http.begin(host_0);
129   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
130   int httpCode = http.GET();
131   String payload = http.getString(); // get data from webhost continuously
132   Energia = payload.toDouble();
133   Serial.print(Energia);
134   delay(500);
135   http.end();
136 }
137 void recarga() {
138   Serial.print("Connecting to ");
139   Serial.println(host);
140   WiFiClient client;
141   const int httpPort = 80;
142   if (!client.connect(host, httpPort)) {
143     Serial.println("connection failed");
144     return;
145   }
146 }
147 String url = "/sistema_electrico/Recarga.php?";
148 url += "Recarga=";
149 url += Recarga;
150 url += "&Valor=";
151 url += Valor;
152 Serial.print("Requesting URL: ");
153 Serial.println(url);
154 Serial.println(url);

```

(f)

Anexo 12: Programa do microcontrolador do inversor Linguagem C++

```

1 //*****
2 Inversor de tensão DC / AC controlado pelo Arduino
3 //*****
4 -- IDE do Arduino Versão 1.8.13
5 -- Autor código inicial sPWM: Kurt Rutten
6 -- https://github.com/Terbyncas/Arduino-Armed-sPWM
7 -- Autor versão com o Mega e display, modulando os 4 MOSFETs: Eduardo Avelar
8 -- Blog: easytronic.com
9 -- Autor versão com os controladores de carga : Hermenegildo Fombe
10 -- Julho, 2023
11 //*****
12 *****
13 *****
14 #include <avr/io.h>
15 #include <avr/interrupt.h>
16 #include <stdint.h>
17
18 // Defines
19 #define SinDivisions (100) // Sub divisões da onda senoidal
20 #define N 30
21
22 // Declaração de variáveis
23 int ACOffset = 2500;
24 static int microMHz = 16; // Frequencia do microcontrolador
25 static int freq = 50; // Frequencia da senoide
26 static long int period; // Período 16,6 ms
27 static unsigned int lookUp[SinDivisions];
28 int state = 0;

```

(a)

```

59 ICRL = period; // Período para 16MHz de cristal, 100 subdivisões e 50Hz de frequência da onda de saída
60
61 sei(); // Enable global interrupts.
62
63 // Set outputs pins
64 OCRB = 0b1100000; // Arduino MEGA - Set PB5 (D11-PWM), PB6 (D12-PWM), PB7 (D13-LED) como saídas
65 DDRE = 0b00010000; // Arduino MEGA - Set PE3 (D5-PWM), PE4 (D2-PWM) como saídas
66
67
68 void loop() {
69 ;
70 }
71
72 ISR(TIMER1_OVF_vect) {
73 static int num;
74
75 if (num >= SinDivisions / 2) {
76 num = 0; // Reset num
77 state ^= 1;
78
79 PORTB ^= 0b10000000; // Arduino MEGA - Faz um toggle no pino PB0 - D8 (LED)
80 //sem afetar os outros pines utilizando uma XOR
81 }
82
83 if (state == 0) {
84 OCRA = 0; // D11 - Q1 -> OFF
85 OCRB = 0; // D12 - Q2 -> ON (Complemento do D11)
86
87 OCRA = lookUp[num]; // D5 - Q3 -> PWM
88
89 }

```

(c)

```

30 void setup() {
31 Serial.begin(9600);
32 analogReference(EXTERNAL);
33 double temp;
34 period = microHz * 1e6 / freq / SinDivisions; // (3200) Period of PWM in clock cycles
35 for (int i = 0; i < SinDivisions / 2; i++) { // Gera a tabela ou vetor
36 temp = sin(i * 2 * M_PI / SinDivisions) * period;
37 lookUp[i] = (int)(temp + 0.5); // Arredonda para um numero inteiro
38 }
39 // Inicialização do registrador.
40 TCCR1A = 0b0110010; //variable for TCCR1A
41 TCCR1B = 0b1010010; //variable for TCCR1B
42 /*10 Comp A, apaga no valor de comparação, (Modo não invertido)
43 /*11 Comp B, ativa no valor de comparação, (Modo invertido)
44 00
45 /*10 WGM1 110 for waveform 14.
46 */
47 TCCR1B = 0b00011001;
48 TCCR3B = 0b00011001;
49 /*000
50 /*11 WGM1 112 for waveform 14.
51 001 no prescale on the counter.
52 */
53 TIMSK1 = 0b00000001;
54 TIMSK3 = 0b00000001;
55 /*00000000
56 /*1 TCVIF Flag interrupt enable.
57 */
58 ICRL = period; // Período para 16MHz de cristal, 100 subdivisões e 50Hz de frequência da onda de saída

```

(b)

```

79 PORTB ^= 0b10000000; // Arduino MEGA - Faz um toggle no pino PB0 - D8 (LED)
80 //sem afetar os outros pines utilizando uma XOR
81 }
82
83 if (state == 0) {
84 OCRA = 0; // D11 - Q1 -> OFF
85 OCRB = 0; // D12 - Q2 -> ON (Complemento do D11)
86
87 OCRA = lookUp[num]; // D5 - Q3 -> PWM
88 OCRB = lookUp[num]; // D2 - Q4 -> PWM Complemento
89 num++;
90 }
91
92 if (state == 1) {
93 OCRA = lookUp[num]; // D11 - Q1 -> PWM
94 OCRB = lookUp[num]; // D12 - Q2 -> PWM Complemento
95
96 OCRA = 0; // D5 - Q3 -> OFF
97 OCRB = 0; // D2 -> ON
98 num++;
99 }
100 }
101
102 ISR(TIMER3_OVF_vect) {
103 }
104 //--- Apenas como entendimento da matemática nos pines ----//
105 //PORTB ^= 0b00000001; // Faz um toggle no pino PB0 - (D8) sem afetar os outros bits utilizando uma XOR
106 //PORTB = 0b00000001; // Escreve no pino PB0 - (D8) sem afetar os outros pines
107 //PORTB = 0b11111110; // Apaga o bit PB0 - (D8) sem afetar os outros pines

```

(d)

Anexo 13: Programa do microcontrolador principal Linguagem

C++

```
1 //*****
2 Programa principal
3
4 -- IDE do Arduino Versão 1.8.13
5 -- Autor : Hermannildo Faria
6 -- Supervisor : Mac. Wálder Balci, Eng
7 -- Julho, 2023
8
9
10 #include <HTTPClient.h>
11 #include <ESP_Mail_Client.h>
12 #include <WiFi.h>
13 #include <String.h>
14 #include <Wire.h>
15
16 #define SMTP_HOST "smtp.gmail.com"
17 #define SMTP_PORT 465
18 #define AUTHOR_EMAIL "hermannildofaria@gmail.com"
19 #define SMTP_USERNAME "hermannildofaria@gmail.com"
20 #define RECIPIENT_EMAIL "chubanaunes@gmail.com"
21
22
23 void Consumo_de_Energia();
24 void Carga_1();
25 void Carga_2();
26 void Carga_3();
27 void Carga_4();
28 void CorteEnergia();
29 void AtualizaEnergia();
```

(a)

```
23 void Consumo_de_Energia() {
24   float V = analogRead(A0) * 225 / 4096;
25   for (int i = 0; i < 100; i++) {
26     Vt = Vt + V;
27   }
28   Vrms = Vt / 100;
29   Imrms = emoni.calcIrms(1480);
30   Cons = Vrms * Imrms / 3600;
31   Energia = Energia - Consumo;
32   if (Energia <= 0) {
33     EnviarEmailSaida();
34   }
35   if (Energia <= 0) {
36     Energia = 0;
37     Consumo = 0;
38     digitalWrite(Corte, HIGH);
39     corteE = true;
40   }
41   if (Diferenca != 0) {
42     EnviarEmail();
43   }
44 }
45
46 Serial.print("Connecting to ");
47 Serial.println(host);
48 #if !defined(CLIEN)
49 const int httpPort = 80;
```

(b)

```
55 void setup() {
56   pinMode(Corrente, OUTPUT);
57   Serial.begin(9600);
58   Serial.println("Connecting to ");
59   Serial.println(host);
60   WiFi.begin(ssid, password);
61   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
62     delay(500);
63     Serial.print(".");
64   }
65 }
66
67 void loop() {
68   Consumo_de_Energia();
69   Carga_1();
70   Carga_2();
71   Carga_3();
72   Carga_4();
73   CorteEnergia();
74   RecarregamentoArduino();
75   delay(100);
76 }
77
78 void Consumo_de_Energia() {
79   AtualizaEnergia();
80   RecarregamentoArduino();
81   Serial.println(Recharge);
82   V = analogRead(A0) * 225 / 4096;
```

(c)

```
82 V = analogRead(A0) * 225 / 4096;
83 for (int i = 0; i < 100; i++) {
84   Vt = Vt + V;
85 }
86 Vrms = Vt / 100;
87 Imrms = emoni.calcIrms(1480);
88
89 Cons = Vrms * Imrms / 3600;
90
91 Energia = Energia - Consumo;
92 if (Energia <= 0) {
93   EnviarEmailSaida();
94 }
95 if (Energia <= 0) {
96   Energia = 0;
97   Consumo = 0;
98   digitalWrite(Corte, HIGH);
99   corteE = true;
100 }
101 if (Diferenca != 0) {
102   EnviarEmail();
103 }
104 }
105
106 Serial.print("Connecting to ");
107 Serial.println(host);
108 #if !defined(CLIEN)
109 const int httpPort = 80;
```

(d)

```
110 if (!WiFi.isConnected()) {
111   Serial.println("Connection failed");
112   return;
113 }
114 String url = "http://192.168.233.172/system_electronic/VerificaRecharge.php?";
115 url += "Recharge=";
116 url += "Recharge=";
117 url += "Recharge=";
118 url += "Recharge=";
119 url += "Recharge=";
120 Serial.println("Requesting URL: ");
121 Serial.println(url);
122 // This will send the request to the server
123 HTTPClient http(url);
124 http.addHeader("Host", "192.168.233.172");
125 http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
126 http.setTimeout(1000);
127 while (http.connected() && !http.isDone()) {
128   // Send request
129   http.write("Recharge=" + Recharge + "&");
130   http.write("Recharge=" + Recharge + "&");
131   http.write("Recharge=" + Recharge + "&");
132   http.write("Recharge=" + Recharge + "&");
133 }
134 // Read all the lines of the reply from server and print them to Serial
135 while (http.available()) {
136   String line = http.readStringUntil('\n');
137   Serial.println(line);
138 }
```

(e)

```
139 }
140 Serial.println();
141 Serial.println("Closing connection");
142 delay(1000);
143
144 void Carga_1() {
145   http.begin(host, "/");
146   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
147   int httpCode = http.GET();
148   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
149   if (httpCode == "200") {
150     digitalWrite(Carga_01, HIGH);
151   }
152   if (payload == "100%") {
153     digitalWrite(Carga_01, LOW);
154   }
155   delay(100);
156   http.end();
157 }
158
159 void CargaEnergia() {
160   http.begin(host, "/");
161   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
162   int httpCode = http.GET();
163   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
```

(f)

```
164 Serial.println(payload);
165 if (payload == "100%") {
166   digitalWrite(Corte, HIGH);
167 }
168 if (payload == "100%") {
169   digitalWrite(Corte, LOW);
170 }
171 delay(100);
172 http.end();
173 }
174
175 void Carga_2() {
176   http.begin(host, "/");
177   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
178   int httpCode = http.GET();
179   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
180   if (httpCode == "200") {
181     digitalWrite(Carga_02, HIGH);
182   }
183   if (payload == "100%") {
184     digitalWrite(Carga_02, LOW);
185   }
186   delay(100);
187   http.end();
188 }
189
190 void Carga_3() {
191   http.begin(host, "/");
192   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
193   int httpCode = http.GET();
194   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
195   if (httpCode == "200") {
196     digitalWrite(Carga_03, HIGH);
197   }
198   if (payload == "100%") {
199     digitalWrite(Carga_03, LOW);
200   }
201   delay(100);
202   http.end();
203 }
204
205 void Carga_4() {
206   http.begin(host, "/");
207   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
208   int httpCode = http.GET();
209   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
210   if (httpCode == "200") {
211     digitalWrite(Carga_04, HIGH);
212   }
213   if (payload == "100%") {
214     digitalWrite(Carga_04, LOW);
215   }
216   delay(100);
217   http.end();
218 }
```

(g)

```
219 void VerificaRecharge() {
220   http.begin(host, "/");
221   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
222   int httpCode = http.GET();
223   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
224   if (httpCode == "200") {
225     digitalWrite(Corte, HIGH);
226   }
227   if (payload == "100%") {
228     digitalWrite(Corte, LOW);
229   }
230   delay(100);
231   http.end();
232 }
```

(h)

```
233 void AtualizaEnergia() {
234   http.begin(host, "/");
235   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
236   int httpCode = http.GET();
237   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
238   if (httpCode == "200") {
239     Energia = payload.toInt();
240   }
241   delay(100);
242   http.end();
243 }
244
245 void RecarregamentoArduino() {
246   http.begin(host, "/");
247   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
248   int httpCode = http.GET();
249   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
250   if (httpCode == "200") {
251     Recharge = payload.toInt();
252   }
253   delay(100);
254   http.end();
255 }
```

(i)

```
256 void RecarregamentoArduino() {
257   http.begin(host, "/");
258   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
259   int httpCode = http.GET();
260   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
261   if (httpCode == "200") {
262     Recharge = payload.toInt();
263   }
264   delay(100);
265   http.end();
266 }
```

(j)

```
267 void VerificaRecharge() {
268   http.begin(host, "/");
269   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
270   int httpCode = http.GET();
271   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
272   if (httpCode == "200") {
273     digitalWrite(Corte, HIGH);
274   }
275   if (payload == "100%") {
276     digitalWrite(Corte, LOW);
277   }
278   delay(100);
279   http.end();
280 }
```

(j)

```
281 void VerificaRecharge() {
282   http.begin(host, "/");
283   http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
284   int httpCode = http.GET();
285   String payload = http.getString(); // get data from weebot continuously
286   if (httpCode == "200") {
287     digitalWrite(Corte, HIGH);
288   }
289   if (payload == "100%") {
290     digitalWrite(Corte, LOW);
291   }
292   delay(100);
293   http.end();
294 }
```

Anexo 14: Programa do microcontrolador do corrector do factor de potência Linguagem C++

```

1 //.....
2                               Programa principal
3 .....
4 -- IDE do Arduino Versão 1.8.13
5 -- Autor : Benemegildo Fombe
6 -- Supervisor : Msc. Helder Saloi, Eng
7 -- Julho, 2023
8 .....
9 void Measure(); // função que mede o fator de potencia e atualiza a variavel de selecao de capacitores
10 void Correction(int x); // selecciona e acciona os actuadores
11 float PF, Angle;
12 int dur = 0; // mede a duracao do pulso da destaaagem entre a tensao e corrente
13 int Case = 0; // sequencia seleccionada
14 float IL, ILL; // pino para controle em vazio
15 int R1 = 1; // 0 menos significativo
16 int R2 = 2;
17 int R3 = 3;
18 int R4 = 4;
19 int R5 = 5; // 0 mais significativo MSB
20 int ReadDur = 0;
21 void setup() {
22   pinMode(ReadDur, INPUT);
23   pinMode(A0, INPUT);
24   pinMode(R1, OUTPUT);
25   pinMode(R2, OUTPUT);
26   pinMode(R3, OUTPUT);
27   pinMode(R4, OUTPUT);
28   pinMode(R5, OUTPUT);
29 }

```

(a)

```

30   digitalWrite(R1, LOW);
31   digitalWrite(R2, LOW);
32   digitalWrite(R3, LOW);
33   digitalWrite(R4, LOW);
34   digitalWrite(R5, LOW);
35 }
36
37 void loop() {
38   Case = 0;
39   Correction(Case);
40   Measure();
41   delay(500);
42   while (IL < 1 && ILL < 1)
43   {
44     Measure();
45     delay(500);
46   }
47   Case = 0;
48   Correction(Case);
49   Measure();
50   delay(500);
51
52   while (PF < 1)
53   {
54     Case++;
55     if (Case > 15)
56       Case = 0;
57     break;
58   }

```

(b)

```

59   Correction(Case);
60   delay(100);
61   Measure();
62   delay(500);
63   if (Angle > 20 || PF > 1)
64     break;
65   delay(400);
66 }
67 delay(400);
68 while (1)
69 {
70   if (PF < 0.1)
71   {
72     break;
73   }
74   Measure();
75 }
76
77 delay(500);
78 }
79
80 void Measure()
81 {
82   dur = pulseIn(ReadDur, HIGH);
83   Angle = 2 * PI * 50 * dur*pow(10, -6);
84   PF = cos(Angle);
85   IL = analogRead(A0);
86   delay(500);
87   ILL = analogRead(A0);

```

(c)

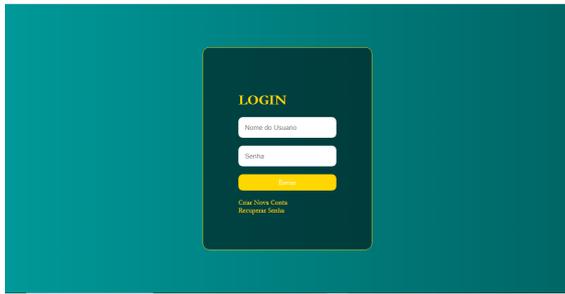
```

80 void Measure()
81 {
82   dur = pulseIn(ReadDur, HIGH);
83   Angle = 2 * PI * 50 * dur;
84   PF = cos(Angle);
85   IL = analogRead(A0);
86   delay(500);
87   ILL = analogRead(A0);
88 }
89
90 void Correction(int x)
91 {
92   if (x == 1)
93   {
94     digitalWrite(R1, 1);
95     digitalWrite(R2, 0);
96     digitalWrite(R3, 0);
97     digitalWrite(R4, 0);
98     digitalWrite(R5, 0);
99   }
100   else if (x == 2)
101   {
102     digitalWrite(R1, 0);
103     digitalWrite(R2, 1);
104     digitalWrite(R3, 0);
105     digitalWrite(R4, 0);
106     digitalWrite(R5, 0);
107   }
108 }

```

(d)

Anexo 15: Serviços dedicados ao consumidor



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

O arquivo que contém o código fonte da página *web* pode ser encontrado no seguinte link:
https://drive.google.com/file/d/1gC1xkPkvUjyfBFGglCcYkcmpxji76o7j/view?usp=share_link

Anexo 16: Serviços dedicados ao gestor



(a)



(b)

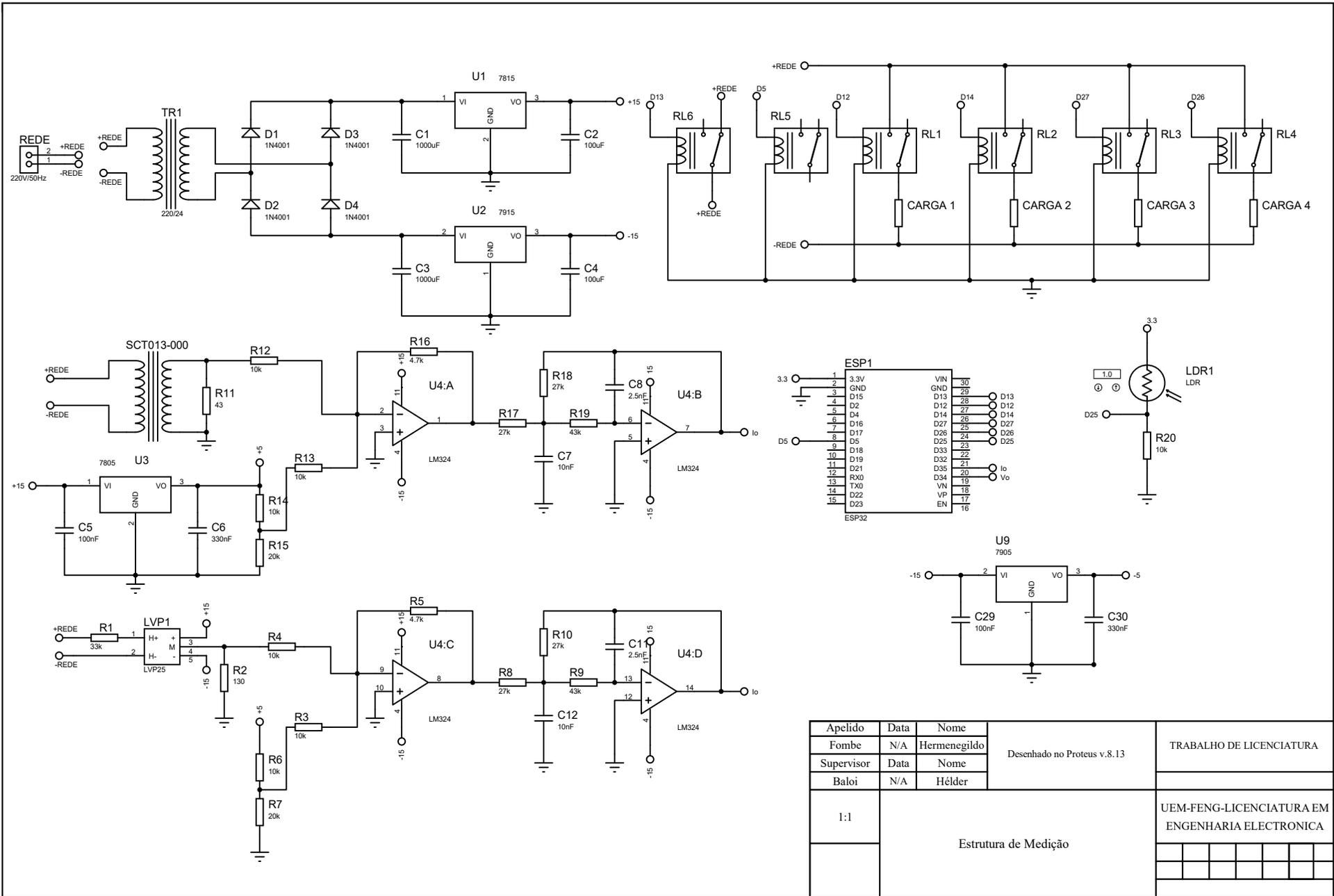


(c)

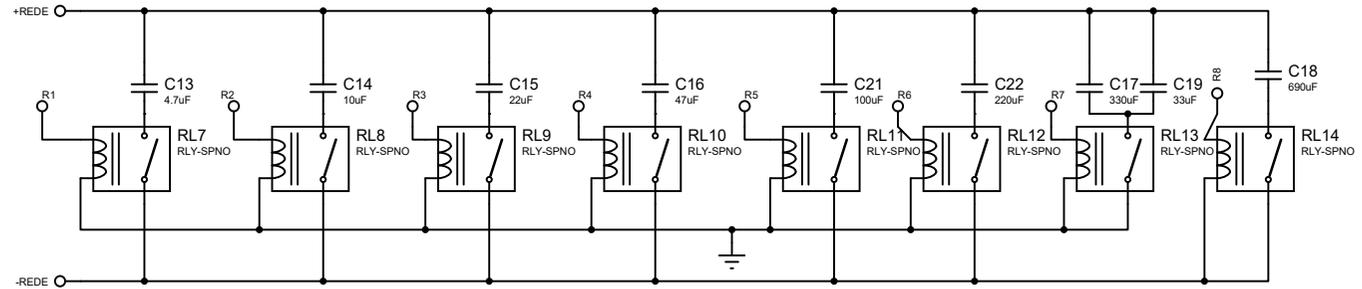
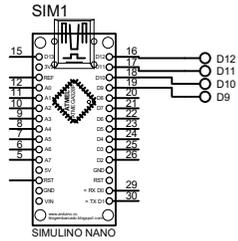


(d)

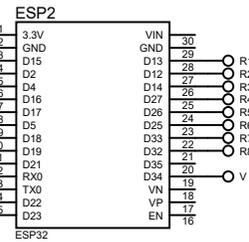
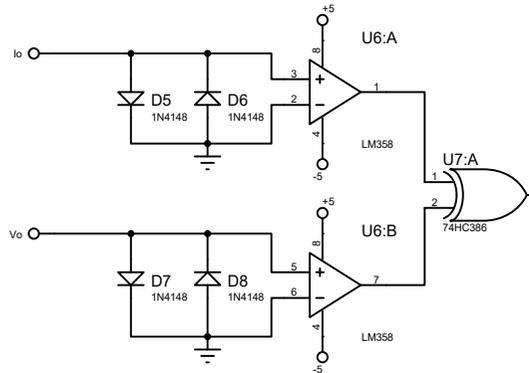
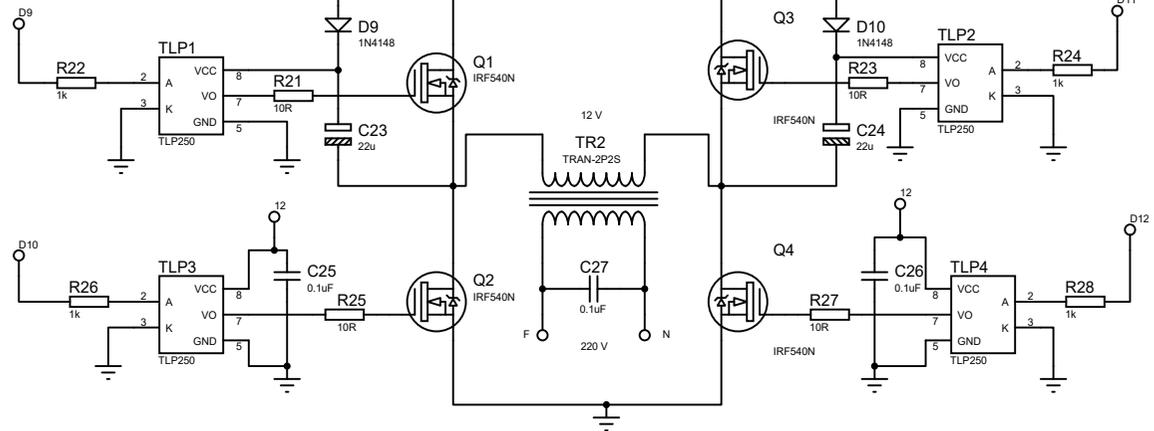
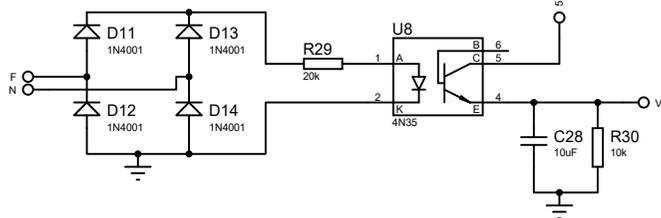
O arquivo que contém o código fonte da página *web* pode ser encontrado no seguinte link:
https://drive.google.com/file/d/1gC1xkPkvUjyfbFGglCcYkcmpxji76o7j/view?usp=share_link



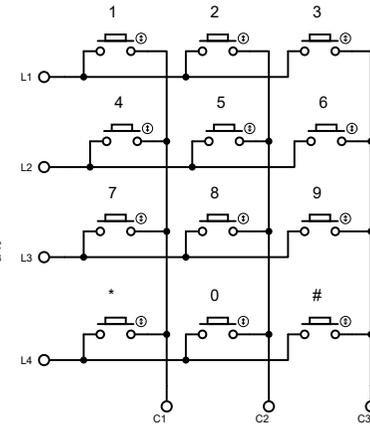
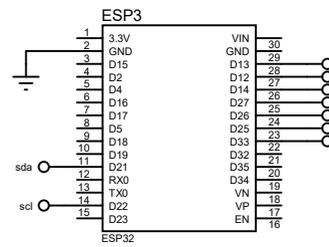
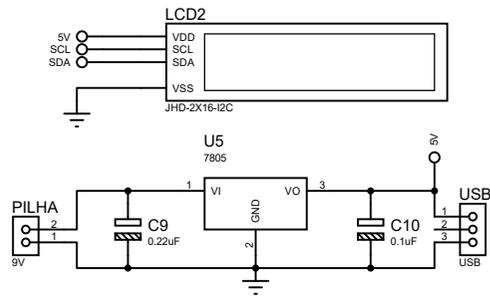
Apelido	Data	Nome	Desenhado no Proteus v.8.13	TRABALHO DE LICENCIATURA
Fombe	N/A	Hermenegildo		
Supervisor	Data	Nome		
Baloi	N/A	Hélder		
1:1	Estrutura de Medição			UEM-FENG-LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTRONICA



Arranjo de células fotovoltaicas (12V)



Apelido	Data	Nome	Desenhado no Proteus v.8.13	TRABALHO DE LICENCIATURA		
Fombe	N/A	Hermenegildo				
Supervisor	Data	Nome				
Baloi	N/A	Hélder				
1:1	Estrutura de Medição			UEM-FENG-LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTRONICA		



Apelido	Data	Nome	
Fombe	N/A	Hermenegildo	
Supervisor	Data	Nome	
Baloi	N/A	Hélder	
1:1	Interface do Consumidor		UEM-FENG-LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTRONICA