



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DIRETORIA DE ENSINO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

CÉSAR FRANCISCO FILIZOLA FILGUEIRAS

**CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DE MOTORES UTILIZANDO BANCO DE
CAPACITORES COM MONITORAMENTO VIA BLUETOOTH**

**MANAUS-AM
2020**

CÉSAR FRANCISCO FILIZOLA FILGUEIRAS

**CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DE MOTORES UTILIZANDO BANCO DE
CAPACITORES COM MONITORAMENTO VIA BLUETOOTH**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Amazonas, como
requisito para obtenção do título de Tecnólogo
em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof^o MSc José de Jesus Botelho de
Lima.

**MANAUS-AM
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F481c Filgueiras, César Francisco Filizola

Correção de fator de potência de motores utilizando banco de capacitores com monitoramento via Bluetooth / César Francisco Filizola Filgueiras – Manaus, 2020.

85f. il. Color

TCC (Tecnologia em Mecatrônica Industrial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2020

Orientador: Prof MSc. José de Jesus Botelho de Lima

1. Fator de Potência. 2. Monitoramento. 3. Correção. 4. Microcontrolador. 5. Eficiência energética. I. Lima, José de Jesus Botelho de (Orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.89

Elaborada por Fc^a. Amélia Frota, registro n.858 (CRB11)

CÉSAR FRANCISCO FILIZOLA FILGUEIRAS

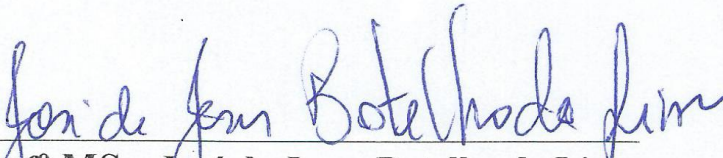
CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DE MOTORES UTILIZANDO BANCO DE CAPACITORES COM MONITORAMENTO VIA BLUETOOTH

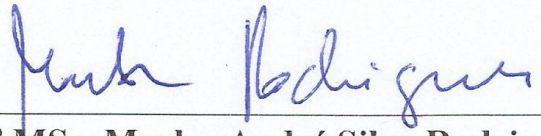
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, na linha de pesquisa em eficiência energética em instalações industriais.

Orientador: Prof^o MSc. José de Jesus Botelho de Lima

Data da aprovação 27 / 03 / 2020

BANCA EXAMINADORA


Prof^o MSc. José de Jesus Botelho de Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)


Prof^o MSc. Marlos André Silva Rodrigues
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)


Prof^o Dr. Vanderson de Lima Reis
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Este trabalho é dedicado com todo o meu carinho e amor aos meus pais, ao meu irmão, aos meus amigos pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me agraciado pelo dom da vida me abençoando e conduzindo em todas as etapas de minha vida.

Agradeço meus pais Cezion Filgueiras e Auxiliadora Carmen Castro Filizola, que apesar das dificuldades sempre estiveram presentes e tiveram sabedoria em mostrar a importância dos estudos em minha vida.

A minha querida esposa Ducivânia uchôa, minha eterna companheira que me incentiva deste o início que a conheci e por quem tenho grande admiração.

Aos meus amigos de curso em especial dois que tenho muito apreço Thiago Silveira e Mateus de Paula grandes parceiros de estudos.

Ao meu orientador professor José Jesus pelo apoio e paciência

Meus sinceros agradecimentos a todos.

RESUMO:

O mercado energético está constantemente necessitando de demanda de energia, atualmente com os recursos naturais esgotando-se a necessidade de otimização e rendimento tornou-se um diferencial para as indústrias que depende diretamente de energia elétrica para seus processos. O principal objetivo do projeto consiste na abordagem da tecnologia de correção dinâmica do fator de potência com base em acionamentos de capacitores por meio de um monitoramento e controle capaz de comutar bancos capacitivos utilizando um microcontrolador. Para isso, o protótipo deve informar aos usuários por meio de um smartphone parâmetros elétricos como sinais de tensão, corrente da fase e fator de potência.

Na realização desse trabalho foi utilizado o microcontrolador dsPIC30F3012. Toda programação foi desenvolvida em ambiente MikroC.

Palavras-chaves: fator de potência, monitoramento, correção, microcontrolador, eficiência energética.

RESUMEN:

El mercado energético está constantemente necesitando demanda de energía, actualmente con los recursos naturales agotando la necesidad de optimización y rendimiento se ha convertido en un diferencial para las industrias que depende directamente de la energía eléctrica para sus procesos.

El principal objetivo del proyecto consiste en el enfoque de la tecnología de corrección dinámica del factor de potencia basado en accionamientos de condensadores por medio de un monitoreo y control capaz de conmutar bancos capacitivos utilizando un microcontrolador. Para ello, el prototipo debe informar a los usuarios a través de un smartphone parámetros eléctricos como señales de tensión, corriente de fase y factor de potencia.

En la realización de ese trabajo se utilizó el microcontrolador dsPIC30F3012. Toda programación fue desarrollada en ambiente MikroC.

Palabras clave: factor de potencia, monitoreo, corrección, microcontrolador, eficiencia energética.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1- Detalhe dos tipos de correntes	22
Figura 2.2- Detalhe da Potência Ativa.....	25
Figura 2.3- Detalhe da Potência Reativa	25
Figura 2.4- Triangulo das Potências	26
Figura 2.5 - Exemplo Ilustrativo da Eficiência Energética.....	27
Figura 2.6-Faixa permissível para o fator de potência	27
Figura 2.7 -Método analítico de cálculo de potência dos capacitores	31
Figura 2.8 - Método tabular de cálculo dos capacitores de correção.....	32
Figura 2.9-Localização dos capacitores.....	33
Figura 2.10- Circuito de Sample and Hold.....	34
Figura 2.11-(a) amostragem no CAD; (b) Sinais com frequência mais altas	35
Figura 2.12- (a) Sinal contínuo; (b) trem de impulsos; (c) sinal (digital) amostrado. ...	36
Figura 2.13- Representação de um Filtro	37
Figura 2.14 - Circuito passa-baixas de 2º ordem.....	39
Figura 2.15- Efeito do fator de qualidade em um filtro de 2º ordem.....	39
Figura 2.16 - Tela do Desing do Aplicativo	41
Figura 2.17 - Tela de Blocos do Aplicativo.....	41
Figura 3.1-Transformador abaixado	43
Figura 3.2 – Principais tipos de sensor de corrente	44
Figura 3.3-Curva do sensor de Corrente.....	44
Figura 3.4-Sensor de Corrente ACS 712	45
Figura 3.5 - Pinagem do dsPIC30F3012.....	46
Figura 3.6-Módulo Bluetooth	47
Figura 3.7-Esquemático de um Relé Eletromecânico.....	48
Figura 3.8 – Optoacoplador 4N25	49
Figura 3.9 - Amplificador Operacional, LM358	49
Figura 3.10-Sistema de Aquisição de dados.....	50
Figura 3.11 - Diagrama do Sistema	51
Figura 3.12- Circuito de condicionamento de tensão	52
Figura 3.13- Filtro Passa Baixa	53
Figura 3.14 - Esquema de Ligação do Sensor	53

Figura 3.15 - Filtro passa baixa de segunda Ordem	54
Figura 3.16 - Diagrama elétrico do circuito principal	55
Figura 3.17 - Fonte de Alimentação	56
Figura 3.18 - Circuito do Microcontrolador	57
Figura 3.19 - Diagrama do circuito UCS	58
Figura 3.20 - Circuito principal em placa ilhada	58
Figura 3.21 - Design do aplicativo	59
Figura 3.22 - configurando o Bluetooth do aplicativo.....	61
Figura 3.23 - Configuração do Bluetooth e dados	62
Figura 3.24 - Ambiente de Desenvolvimento MikroC PRO	62
Figura 3.25 - Função Principal	66
Figura 3.26 - Algoritmo para o cálculo da Tensão Eficaz	66
Figura 3.27 - Algoritmo para o cálculo da Corrente Eficaz	67
Figura 3.28 - Algoritmo para o Cálculo da Potência Aparente	67
Figura 3.29 - Algoritmo para o Cálculo da Potência Media ou Ativa.....	68
Figura 3.30 - Algoritmo para Cálculo do Fator de Potência.....	68
Figura 3.31 - Algoritmo para o Cálculo de Potência Reativa.....	69
Figura 3.32 - algoritmo para o Cálculo de Potência Reativa Corrigida.....	69
Figura 3.33 - Algoritmo para Cálculo da Capacitância	70
Figura 3.34 - Algoritmo para Calcular quantidade de Capacitores	70
Figura 3.35 - Circuito de Acionamento	71
Figura 3.36 - Circuito de relé.....	72
Figura 3.37 - Circuito de Acionamento em Placa Ilhada.....	73
Figura 3.38 - Disposição dos Capacitores	73
Figura 4.1 - Protótipo montado em MDF	74
Figura 4.2 - Alicate Amperímetro HA-300	75
Figura 4.3 - Medidor de Referência.....	75
Figura 4.4 - Diagrama de conexões	76
Figura 4.5 - Cargas: 1- 1-Ferro de solda; 2-Motor 1; 3-Motor 2.....	77
Figura 4.6 - Valores adquiridos com o protótipo.....	78
Figura 4.7 - Protótipo durante a correção	79
Figura 4.8 - Calculadora de Capacitores para correção de FP.....	80

LISTA DE QUAROS

Quadro 1 - Principias Arquiteturas	45
Quadro 2 - Tipos de Classe de um Bluetooth	47
Quadro 3 - Componentes do Aplicativo	60
Quadro 4 - Programa em C que realiza a configuração do ADC	63
Quadro 5 - Programa em C que realiza a função Interrupção	64
Quadro 6 - Função void Init_Timer1() em C.....	64
Quadro 7 - Função auxiliar da corrente e tensão eficazes	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do Módulo HC-06.....	47
Tabela 2 – Valores obtidos com medidor de Referência.....	77
Tabela 3 - Valores obtidos com o protótipo	77
Tabela 4 - Diferença entre fatores de Potência	77
Tabela 5 - Valores medidos com o medidor de referência após a correção	79
Tabela 6 - Status dos capacitores	80
Tabela 7 – Diferença entre o valor da Legislação e o medidor de referência.....	81
Tabela 8 - Percentual de Erro	81

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES

ADC – Conversor Analógico/Digital
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Continua
CPU – Central Processing Unit
FP – Fator de Potência
Fem – Força eletromotriz
I - Valor Instantâneo da Corrente Elétrica
MCU – Microcontrolador
P – Potência Elétrica ou Potência Ativa
Q - Potência Reativa
RMS – Raiz quadrada da média do valor ao quadrado
S- Potência Aparente
UCS – Unidade de Condicionamento de Sinal
V - Valor Instantâneo da Tensão Elétrica
 μC – Microcontrolador

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	MOTIVAÇÃO.....	17
1.4	OBJETIVO GERAL.....	18
1.5	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	18
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	TEORIA DA ELETRICIDADE	20
2.2	TIPOS DE CORRENTE	22
2.3	VALORES EFICAZES	23
2.4	DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA ELÉTRICA	24
2.4.1	<i>Potência Ativa</i>	24
2.4.2	<i>Potência Reativa</i>	25
2.4.3	<i>Potência Aparente</i>	26
2.5	FATOR DE POTÊNCIA	26
2.5.1	<i>Tarifação relativa ao Fator de Potência</i>	27
2.6	CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS	28
2.7	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	28
2.8	COMPENSAÇÃO DE REATIVOS	29
2.8.1	<i>Consumo de Energia Ativa</i>	29
2.8.2	<i>Motores Síncronas</i>	29
2.8.3	<i>Método dos Capacitores</i>	30
2.8.3.1	<i>Banco de Capacitores Fixo</i>	31
2.8.3.2	<i>Banco de Capacitores Automático</i>	33
2.9	LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES	33
2.10	PROCESSAMENTO DE SINAIS DIGITAIS NO TEMPO CONTINUO ...	34
2.10.1	<i>Amostragem</i>	35
2.10.2	<i>Teorema de Amostragem</i>	37
2.10.3	<i>Filtros</i>	37
2.10.3.1	<i>Filtro Ativo Passa Baixa</i>	38

2.11	APP INVENTOR.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	TRANSFORMADOR ABAIXADOR.....	43
3.2	SENSOR DE CORRENTE INVASIVO ACS712	43
3.3	MICROCONTROLADOR.....	45
3.4	MÓDULO BLUETOOTH.....	47
3.5	RELÉ ELETROMECAÂNICO.....	48
3.6	OPTOACOPLADOR	48
3.7	CIRCUITO INTEGRADO – LM358.....	49
3.8	MODELO PROPOSTO.....	50
3.9	UNIDADE DE CONDICIONAMENTO DE SINAL (UCS).....	51
3.9.1	<i>Circuito de Condicionamento de Tensão</i>	<i>52</i>
3.9.2	<i>Circuito de Condicionamento de Corrente</i>	<i>53</i>
3.10	CIRCUITO PRINCIPAL.....	54
3.10.1	<i>Software.....</i>	<i>59</i>
3.10.2	<i>Componentes do Aplicativo.....</i>	<i>60</i>
3.10.3	<i>Código do Aplicativo.....</i>	<i>60</i>
3.10.4	<i>Código fonte</i>	<i>62</i>
3.11	CIRCUITO DE ACIONAMENTO.....	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1	MONTAGEM DO PROTÓTIPO	74
4.2	EQUIPAMENTOS USADOS PARA VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO	75
4.2.1	<i>Alicate Amperímetro.....</i>	<i>75</i>
4.2.2	<i>Medidor de Referência</i>	<i>75</i>
4.3	TESTE DO PROTÓTIPO	76
5	CONCLUSÃO.....	82
5.1	TRABALHO FUTURO.....	82
6	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

O problema da qualidade da energia elétrica vem se agravando em todo mundo, isso ocorre devido à inserção de cargas não lineares ou reativas nas redes de energia elétrica afetando a qualidade (AUGUSTO, 2010). O fator de potência é uma grandeza muito importante, seu valor se deve em parte ao impacto econômico gerado entre os consumidores industriais de grandes quantidades de energia, e o baixo valor para este fator é um indicativo do mau aproveitamento da energia em uma planta industrial, ou seja, cargas com fatores de potência baixos custam caro para manter (SADIKU; ALEXANDER, 2013).

É de suma importância que uma determinada indústria tire o maior ganho possível por determinado custo de energia. Por intermédio da análise do fator de potência de uma determinada instalação é possível saber se ele está sendo utilizada de forma eficiente para que se tenha maior viabilidade econômica. (FRANCHI, 2008). Um baixo fator de potência causa grandes problemas à instalação elétrica como:

- Queda de tensão.
- Sobrecarga nos cabos e transformadores.
- Aumento das perdas elétricas internas das instalações.
- Aumento da tarifa de energia.

De acordo com (DAVID; MARK, 2013) o custo de produção de energia elétrica pode chegar, facilmente, a ordem de bilhões de reais, pois um baixo fator na carga significa que os geradores devem ser capazes de conduzir mais corrente a uma tensão constante, desse modo considerando o impacto técnico e econômico levou a criação de uma legislação que obrigam todos os consumidores de características industriais a um fator de potência próximo da unidade.

O fato é que boa parte dos consumidores não tem consciência de que é cobrado / multado pelas concessionárias/distribuidoras quando se faz o mal-uso da energia elétrica (PINTO, 2014). Desse modo levou as empresas concessionárias têm várias medidas de efficientização e otimização energética, que são incluídos nos seus programas de combate ao desperdício de energia. Deste modo, apesar de já existirem publicações nesse ramo, o seu estudo continua sendo de grande interesse no meio acadêmico e principalmente no meio industrial.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A eletricidade é utilizada pelo homem a pouco mais de um século. No início não havia grande preocupação com a qualidade da energia elétrica produzida por parte dos diversos agentes e segmentos envolvidos, sendo que a atenção principal desse setor estava concentrada em sua expansão.

Nas últimas décadas, o mundo de uma forma geral passou a despender mais atenção em relação ao uso eficiente da energia elétrica. Essa preocupação é motivada em parte pelo impacto ambiental provocado pela produção de eletricidade, mas também pela ameaça de sua falta, em razão de que todo o mundo são utilizadas fontes não renováveis, em grande escala. (BARRO; BORELLI; GEDRA, 2014).

O gerenciamento de energia de qualquer instalação é uma ferramenta eficaz para a redução das despesas com eletricidade, haja vista que permite otimizar o uso racional da energia elétrica e também os aspectos relacionados ao custo / benefício. Considerando o mercado altamente competitivo e o aumento da produtividade, as empresas vêm investindo cada vez mais no controle das grandezas elétricas envolvidas no consumo.

Em função dessa necessidade pergunta-se: É possível melhorar a eficiência energética de motores monofásicos através do acionamento automático de capacitores?

1.2 JUSTIFICATIVA

A proposta para a construção do protótipo surgiu como método de usar o protótipo como meio de realizar o monitoramento e o acionamento de capacitores para correção do fator de potência de motores monofásicos alimentados pela rede elétrica de modo a otimizar o consumo de energia e reduzir os desperdícios causados por um baixo fator de potência.

1.3 MOTIVAÇÃO

A motivação para esse trabalho é o desejo de obter meios para gerenciar o uso da energia elétrica no qual o estudo das técnicas de correção de fator de potência está atrelado ao melhor aproveitamento da energia, como também obter experiência no desenvolvimento de um projeto,

utilizando o microcontrolador dsPIC30F3012 desde a programação da interfase até a montagem em uma placa ilhada onde está localizado os circuitos.

Aliando este interesse pessoal no assunto e por ser um tema que continua sendo de grande interesse no setor comercial e principalmente no setor industrial, se fez a escolha pelo tema de correção do fator de potência de motores utilizando banco de capacitores com monitoramento via bluetooth.

1.4 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo capaz de monitorar grandezas elétricas de motores monofásicos por meio de um dispositivo móvel, de modo a calcular e corrigir o fator de potência de maneira automática através do incremento de capacitores, minimizando perdas e prejuízos financeiros relacionados a um baixo fator de potência.

1.5 OBJETIVO ESPECÍFICOS

Para o objetivo específico:

- Criar um protótipo para realizar leituras de tensão, corrente, potencias e fator de potência utilizando um microcontrolador dsPIC30F3012.
- Fundamentar o conceito de fator de Potência.
- Desenvolver um aplicativo para utilizar em um dispositivo móvel, para aquisição e visualização dos parâmetros elétricos por meio de comunicação sem fio bluetooth.
- Desenvolver uma rotina de controle automático para o acionamento de banco de capacitores.
- Realizar testes de automatização.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos da seguinte forma:

O primeiro capítulo é dedicado a introdução para explicar o motivo, justificativa do problema, motivação e os objetivos para o desenvolvimento do protótipo.

No segundo capítulo é apresentado todo o referencial teórico tendo como base a revisão de conceitos e definições relacionados ao tema estudado.

No terceiro capítulo apresenta os matérias e método onde são levados em consideração seus componentes e a metodologia empregada para programação e para o acionamento dos capacitores.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discursões. Por fim, no capítulo cinco uma conclusão é formulada, de acordo com o tema proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico são apresentados para um compreensível entendimento do projeto e de seu desenvolvimento, todos os conceitos fundamentais os quais são necessários para a implementação do projeto proposto

2.1 TEORIA DA ELETRICIDADE

“Em uma análise preliminar de circuitos elétricos, alguns conceitos e definições precisam ser colocados, pois são o alicerce para a caracterização dos diversos elementos de circuitos e seu funcionamento” (AUGUSTO, 2010).

As variáveis básicas de um circuito elétrico são corrente e tensão, assim é primordial suas propriedades quantitativas e suas quantidades derivadas. Um dos alicerces em questão é a tensão, segundo (ALEXANDER; SADIKU, 2013) é a energia (ou trabalho) necessária para deslocar uma carga unitária através de uma diferença de potencial entre dois pontos de um circuito, matematicamente conforme a expressão (1).

$$v \triangleq \frac{dw}{dq} \quad (1)$$

A diferença de potencial ou tensão acarreta um fluxo de carga elétrica. A esse fluxo de cargas em sistemas elétricos dá-se o nome de corrente elétrica. A corrente elétrica é definida como sendo “a taxa de variação com o tempo da carga que passa em um dado ponto”. (DORF; SVOBODA, 2012). Uma forma diferencial da corrente elétrica é usada para análise de circuitos elétricos, representando a corrente instantânea, conforme apresentado em (DORF; SVOBODA, 2012) e na equação (2):

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

Os cálculos de potência e energia também são importantes na análise de circuitos. Uma razão é que, embora tensão e corrente sejam variáveis úteis na análise e projeto de sistemas que utilizam eletricidade, muitas vezes o resultado útil do sistema não é expresso em termos elétricos, mas em termos de potência e energia (NILSON; RIEDEL, 2009, p. 9)

Então é de total relevância o conceito de potência e energia, a primeira é definida como sendo “a velocidade com se consome ou absorve energia, logo o conceito de energia está relacionado a capacidade de realizar trabalho” (ALEXANDER; SADIKU, 2013). Considerando um tempo $\Delta t \rightarrow 0$, esta é dada pela equação (3):

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = v \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

Assim temos que:

$$p = vi \quad (4)$$

Também chamada de potência instantânea, pois está relacionada a tensão e corrente geralmente é uma grandeza que varia no tempo (HART, 2012).

O sentido da corrente e a polaridade da tensão desempenham um papel importante na determinação do sinal da potência (HART, 2012), se uma corrente positiva entra pelo terminal positivo de um componente, significa que o mesmo está absorvendo energia, e o contrário (corrente positiva saindo pelo terminal positivo) significa que o elemento está fornecendo energia ao circuito. Funções periódicas de tensão e corrente produzem uma função periódica da potência instantânea chamada de potência média que é calculada por:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt \quad (5)$$

A potência média pode ser calculada também pela energia por período.

$$P = \frac{W}{T} \quad (6)$$

A potência média é algumas vezes chamada de potência real ou potência ativa especialmente em circuitos CA.

Onde:

P : Potência Média [W];

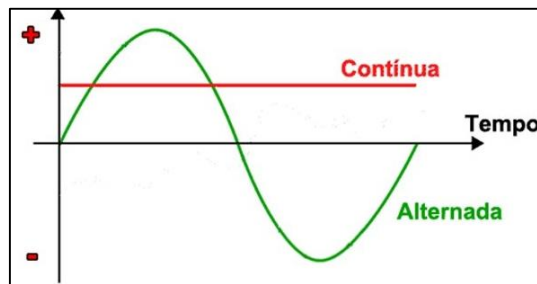
W : Energia [J];

T : Período [s].

2.2 TIPOS DE CORRENTE

Existem dois tipos de correntes que podem ser encontradas com frequência no cotidiano: a corrente alternada (CA) e a corrente contínua (CC) (DAVID;MARK, 2013,p.1), cujos comportamentos em função do tempo são mostrados na figura (2.1), ou seja a forma de onda da corrente depende do tipo de tensão aplicada e dos dispositivos que compõe o circuito.

Figura 2.1- Detalhe dos tipos de correntes



Fonte: Mundo da elétrica,2018

- Corrente Contínua: Os circuitos de corrente contínua apresentam a característica de não variar no tempo. Diversas aplicações utilizam corrente contínua, sejam elas microcontroladores, calculadoras ou outros circuitos eletrônicos. (AUGUSTO, 2010). A corrente é gerada por fontes de tensão contínua, como por exemplo pilhas, baterias, dínamos ou pelo tratamento de tensões alternadas com o uso de retificadores. (MORAIS, 2013).
- Corrente alternada: A corrente contínua tem grande utilização em circuitos eletrônicos, mas na atualidade, quase a totalidade da energia que se emprega para finalidades residenciais, industriais e comerciais é produzida sobre corrente alternada, a geração de energia se dá por meios eletromecânicos também denominados de alternadores projetado para fornecer uma f.e.m senoidal, na forma de corrente alternada. Esse tipo de corrente apresenta a vantagem de poder “ser transportada ao longo de grandes distâncias com tensões muito elevadas e baixas correntes para reduzir as perdas de energia devido ao efeito Joule”. (TIPLER; MOSCA, 2006). A expressão (7) caracteriza a forma senoidal da tensão.

$$v(t) = V_M \cos(\omega t + \theta_v) \quad (7)$$

Sendo

$$\omega = 2\pi f$$

Onde:

f = frequência ou inverso do período [s];

ω = frequência angular em [rad/s];

V_M : Tensão Máxima em [V],

2.3 VALORES EFICAZES

A tensão e corrente produzida pelos alternadores tem valores diferentes a cada instante momento, definidos como valores instantâneos ou de pico a pico. Parte dos valores instantâneos não é absorvida ao ser ligado um equipamento. Os valores efetivamente absorvidos são definidos como corrente e tensão eficaz. (MORAIS, 2013).

A corrente alternada eficaz é o valor equivalente em corrente contínua necessário para transferir uma potência a uma carga. Os sistemas de potência são medidos tanto em tensão como em corrente em valores eficazes. “O valor eficaz da tensão ou da corrente também é chamado de valor médio quadrático (rms).” (ALBUQUERQUE, 2008).

O valor eficaz de um sinal periódico é a raiz do valor médio quadrático (RMS).

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt} \quad (8)$$

Para sinais senoidais de tensão e corrente temos:

$$V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \text{ e } I_{RMS} = \frac{I_M}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Onde:

V_M : Tensão Máxima em [V];

I_M : Corrente Máxima em [A];

V_{RMS} : Tensão eficaz em [V];

I_{RMS} : Corrente eficaz em [A]

2.4 DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA ELÉTRICA

De acordo com Alexander e Sadiku (2013) potência é o valor mais importante em sistemas de energia elétrica, eletrônicos e de comunicação, pois envolve a transmissão de energia de um ponto a outro.

Sempre que uma carga for ligada a um circuito, há três tipos de potência a serem considerados: potência ativa, reativa e potência aparente. (FRANCHI, 2008)

2.4.1 Potência Ativa

De acordo com (FLARYS, 2006) a potência instantânea $p = vi$ será calculada conforme na equação (10), considerando a tensão e a corrente no regime estacionário.

$$v(t) = V_M \cos(\omega t + \theta_v)$$

$$i(t) = I_M \cos(\omega t + \theta_i)$$

$$p(t) = V_M I_M \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i) \quad (10)$$

Empregando-se a identidade trigonométrica

$$\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 = \frac{1}{2} [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\varphi_1 + \varphi_2)]$$

Obtém-se:

$$p(t) = \frac{V_M I_M}{2} [\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)] \quad (11)$$

A equação (11) mostra que a potência fornecida a carga é composta por duas parcelas a primeira constante no tempo, e a outra variável no tempo com frequência duas vezes a frequência da rede (BARIONI DE OLIVEIRA; SCHMIDT, KAGAN; ROBBA, 2013).

A primeira parcela é chamada de potência ativa. A potência ativa é aquela que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento etc. Utilizando valores rms de tensão e corrente, a potência pode ser representada conforme a Eq.(12) (DAVID; MARK, 2013).

$$P = V_{RMS} I_{RMS} \cos(\theta_v - \theta_i) [W] \quad (12)$$

Figura 2.2- Detalhe da Potência Ativa



Fonte: Engresan Engenharia,2018

2.4.2 Potência Reativa

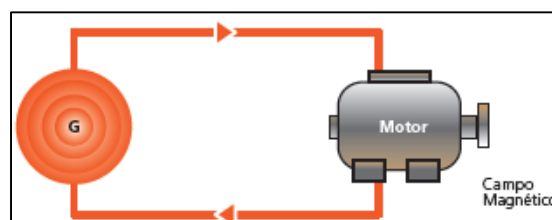
As cargas que são constituídas por enrolamentos elétricos, a exemplo de motores, transformadores, reatores etc, necessitam de uma corrente de magnetização para que possa operar normalmente. (BARROS; BORELLI; GEDRA 2014).

A potência reativa é usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos, não realiza trabalho, mas circula entre a carga e a fonte, ocupando o lugar no sistema elétrico que poderia ser utilizado para circular mais energia ativa exigindo da fonte uma corrente elétrica adicional. A equação (13) mostra a fórmula da potência reativa.

$$Q = V_{RMS}I_{RMS} \sin(\theta_v - \theta_i) [VAR] \quad (13)$$

A potência reativa fornecida a uma carga pode ser positiva ($\theta_v - \theta_i > 0$) ou negativa ($\theta_v - \theta_i < 0$). Se a diferença dos ângulos de tensão e corrente for positiva, significa que a carga presente na rede tem características indutivas (corrente em atraso sobre a tensão), e se a diferença for negativa, características capacitivas (corrente em avanço sobre a tensão).

Figura 2.3- Detalhe da Potência Reativa



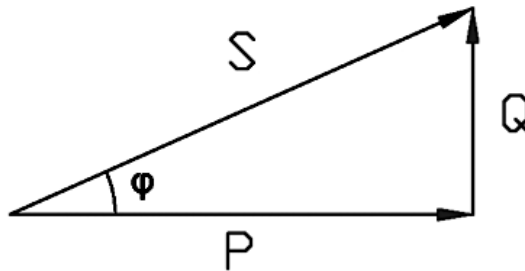
Fonte: Manual da Elektro-eficiência energética,2018

2.4.3 Potência Aparente

A potência aparente ou também conhecida com total representada por S conforme a Figura 2.4, “é a soma vetorial da potência ativa com a reativa” (FRANCHI, 2008), é aquela entregue pela fonte de energia num intervalo de tempo a uma carga ou a um consumidor. Seu valor pode ser determinado pela equação (14).

$$S = V_{RMS}I_{RMS} [VA] \quad (14)$$

Figura 2.4- Triangulo das Potências



Fonte: Engresan Engenharia, 2018

2.5 FATOR DE POTÊNCIA

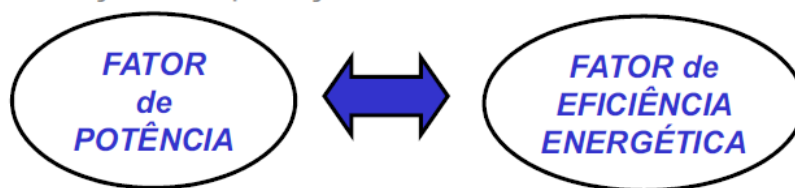
Podemos definir o fator de potência em um sistema elétrico como sendo a razão entre a potencia ativa e a potência aparente consumidas por um dispositivo ou equipamento, independentemente da aparência das formas de onda da tensão e corrente. Em um circuito puramente senoidal pode-se dizer que o fator de potência é igual ao cosseno entre as retas S e P , conforme a figura (2.4) (OLIVEIRA, 2006) e (EDMINISTER, 1991).

Através da equação (15) podemos definir o fator de potência de uma maneira geral.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v(t) \cdot i(t) dt}{V_{RMS}I_{RMS}} \quad (15)$$

Esse fator indica quanto de potência total é efetivamente transformada em trabalho, ou seja, quanto de energia ativa está sendo consumida (PINTO, 2014). Quanto maior for a componente reativa da energia em relação à ativa, menor será o fator de Potência indicando uma baixa eficiência e inversamente um alto fator de potência indica uma eficiência alta.

Figura 2.5 - Exemplo Ilustrativo da Eficiência Energética



Fonte: Catálogo da weg,2018

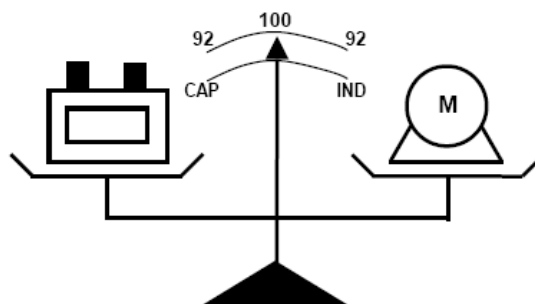
2.5.1 Tarifação relativa ao Fator de Potência

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, é uma agência reguladora do governo federal, vinculada ao Ministério de minas e energia que estabelece no artigo nº 95 da sua resolução normativa nº414, de 9 de setembro de 2010 que o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível de um; porém permite um valor mínimo de 0,92, indutivo ou capacitivo conforme a figura (2.6), correspondente a um certo valor de energia reativa consumida pelas unidades consumidoras.

A regulamentação estabelece nos artigos 96 e 97 da referida resolução a cobrança de energia reativa excedente para consumidores que tiverem um fator de potência inferior a 0,92. Dessa forma os cálculos de energia e demanda reativas excedentes poderão ser feita de duas maneiras distintas: pela avaliação mensal ou horária.

- Avaliação mensal: por meio de valores de energia ativa e reativa medidos durante o ciclo de faturamento; e
- Avaliação horária: por meio de valores de energia ativa e reativa medidos em intervalos de 1 hora, seguindo-se os períodos anteriormente mencionados, para verificação da energia reativa indutiva e capacitiva.

Figura 2.6-Faixa permissível para o fator de potência



Fonte: CODI,2004

O fator de potência deve ser controlado de forma que permaneça dentro do limite de 0,92 indutivo e 0,92 capacitivo; sua avaliação é horaria durante 24 horas e em tempos definidos.

O período de 6 horas consecutivas, compreendido, a critério da distribuidora, entre 23h30 e 6h30, apenas os fatores de potência inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de 1 hora. O período diário complementar ao definido no item anterior, apenas os fatores de potência inferior a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de 1 hora.

2.6 CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

De acordo com Pinto (2014) há diversas causas para um baixo fator de potência nas plantas industriais, algumas enumeradas a seguir:

- Grande número de motores de pequena potência.
- Maquinas de Solda
- Motores de Indução operando em vazio ou superdimensionados.
- Transformadores operando em vazio ou sobrecarregado.

Evidente que um baixo fator de potência não é desejado, do ponto de vista econômico, assim as consequências de um circuito operando dessa forma enumerados a seguir.

- Oscilação de Tensão.
- A necessidade de um condutor com bitola maior.
- Maior valor da intensidade de corrente.
- Maiores perdas elétricas por efeito joule.

2.7 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Corrigir o fator de potência tem por finalidade especificar a potência reativa necessária para a elevação do fator de potência, de modo a: (1) evitar a ocorrência de cobrança pela concessionária dos valores referentes aos excedentes de demanda reativa e de consumo reativo; e (2) obter uma melhor qualidade de energia, com a minimização de perdas e de melhoria do perfil de tensão da rede elétrica.

2.8 COMPENSAÇÃO DE REATIVOS

A compensação da energia reativa em uma planta industrial deve ser bem analisada tecnicamente e economicamente (FRANCHI, 2008). É necessário critérios experiência para efetuar uma compensação adequada.

Segundo Filho (2012) “para obter uma melhoria do fator de potência, podem-se indicar algumas soluções que devem ser adotadas dependendo das condições particulares de cada instalação”. O aumento do fator de potência pode ser conseguido de três maneiras, tais como:

- Por meio do aumento do consumo de energia ativa;
- Utilizando motores síncronos;
- Por meio de capacitores

2.8.1 Consumo de Energia Ativa

De acordo com Franchi (2008) o aumento do consumo de energia reativa pode ser conseguido pela adição de novas cargas com alto fator de potência, esse método é recomendado para instalações que tenham jornada de trabalho fora do período de ponta de carga, vale ressaltar que o consumo de energia ativa deve ser cuidadosamente escolhida para não ultrapassar a demanda máxima contratada, “uma vez que o aumento do consumo de potência aumentaria a conta mensal da concessionária de energia elétrica” (DAVID ; MARK, 2013)

2.8.2 Motores Síncronas

A utilização de motores síncronos pode ser exclusivamente para a correção do fator de potência ou podem ser acoplados a uma carga já existente em uma planta industrial, assim substituído um motor de indução. Não é adotado devido a seu alto custo e dificuldade operacional. (FILHO, 2012)

Os motores síncronos, quando utilizados para corrigir o fator de potência, em geral funcionam com carga constante.

- Motores subexcitado: Corresponde a condição de baixa corrente de excitação no qual o valor da força eletromotriz induzida nos polos do estator é pequena, acarretando na absorção de potência reativa comportando como uma carga indutiva.
- Motor excitado: Partindo da condição anterior e aumentando-se a corrente de excitação, obtém-se uma elevação da força eletromotriz no campo estatórico, cuja corrente ficará em fase com a tensão de alimentação. Desta forma, o fator de potência assume o valor unitário e o motor não necessita absorver potência reativa da rede de energia elétrica para a formação de seu campo magnético.
- Motor sobre-excitado: qualquer elevação de corrente e excitação a partir de então proporciona o adiantamento da corrente estatórica em relação à tensão aplicada, fazendo com que o motor funcione com o fator de potência capacitivo, fornecendo potência reativa à rede de energia elétrica

2.8.3 Método dos Capacitores

“Os capacitores são equipamentos que possuem características de acumular eletricidade. São empregados na adequação ou correção do fator de potência, tendo vista que podem ser vistos como geradores de potência reativa.” (BARROS;BORELLI;GEDRA, 2014). Dessa forma, “O método dos capacitores é o mais utilizado nas plantas industriais sendo, em geral, o mais econômico e o que permite maior flexibilidade de aplicação” (FRANCHI, 2008).

Assim a utilização de capacitores tornou-se a solução universal, pois permite fornecer a instalação elétrica a energia reativa consumida, aliviando o sistema para transportar maiores quantidades de energia ativa. É importante perceber que a potência ativa não é alterada, pois os capacitores usados na correção de potência se aproximam muito de capacitores ideais. No entanto, a potência aparente fica reduzida e, em consequência a corrente fornecida pela rede fica proporcionalmente menor, ficando conhecidos como economizadores de corrente.

Segundo Franchi (2008). Os capacitores de potência são caracterizados por sua potência nominal, sendo fabricado em unidades monofásicas e trifásicas para alta e baixa tensão com valores padronizados, são ligados externamente em estrela quando o neutro é aterrado e em triangulo para as demais aplicações. “Dessa forma o uso correto desse dispositivo permite a obtenção e uma melhor qualidade de energia, com redução das perdas e melhoria do fator de potência”. (PINTO, 2014).

Os capacitores podem operar de forma fixa ou controlada conforme a necessidade.

2.8.3.1 Banco de Capacitores Fixo

É aquele conectado permanentemente ao sistema elétrico, fornecendo continuamente potência reativa capacitiva, independente das necessidades da carga. Esse tipo de correção é utilizada em indústrias para prover reativos numa base mínima, deixando para o banco de capacitores automático a compensação dos reativos com flutuação da carga. (FILHO,2012).

A potência capacitiva pode ser determinada a partir dos seguintes métodos.

a) Método analítico

Baseia-se na resolução do triângulo das potências. A determinação da potências dos capacitores para elevar o fator de potência de F_{p1} para F_{p2} pode ser feita com base na equação (16).

$$P_C = P_{at}x(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (16)$$

Onde:

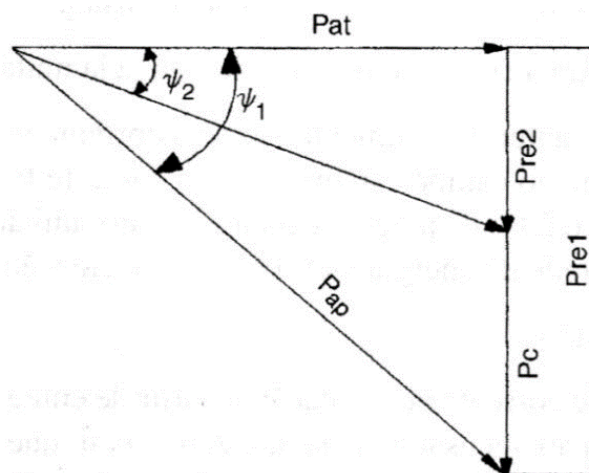
P_C : Potência reativa necessária para a correção;

P_{at} : Potência ativa;

$tg\varphi_1$: ângulo do fator de potência original;

$tg\varphi_2$: ângulo do fator de potência desejado.

Figura 2.7 -Método analítico de cálculo de potência dos capacitores



Fonte: Autor,2018

Como base na expressão (16), pode-se determinar a capacitância dos capacitores pela expressão (17)

$$C = \frac{1000 P_C}{2\pi f V_N^2} \quad (17)$$

Onde:

P_C : Potencia nominal do Capacitor em kVAr;

f : Frequência nominal em Hz;

V_N : Tensão nominal V;

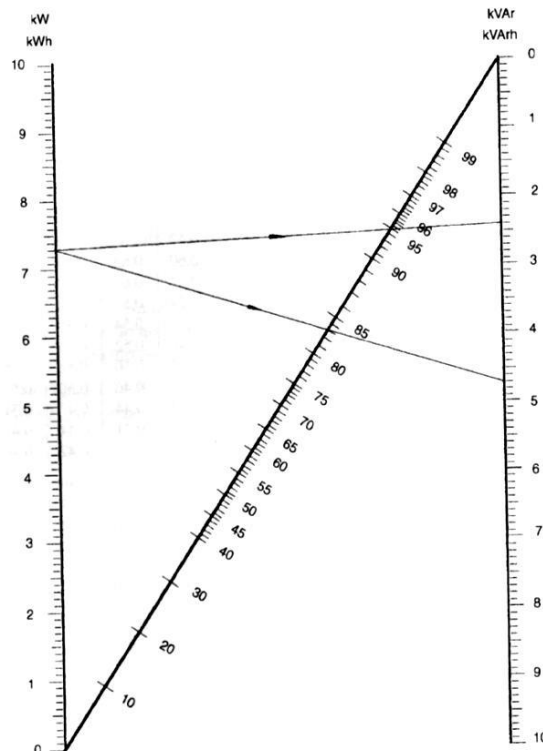
C : Capacitância em μF .

O processo de aumentar o fator de potência sem alterar a tensão ou corrente para a carga original é conhecido como correção do fator de potência (ALEXANDER ;SADIKU, 2013, p. 426).

b) Método Gráfico

Este método se baseia no gráfico da figura (2.8). As escalas das potencias ou consumos de energia ativa e reativa podem ser multiplicadas por qualquer número arbitrário, de preferência múltiplo de 10.

Figura 2.8 - Método tabular de cálculo dos capacitores de correção



2.8.3.2 Banco de Capacitores Automático.

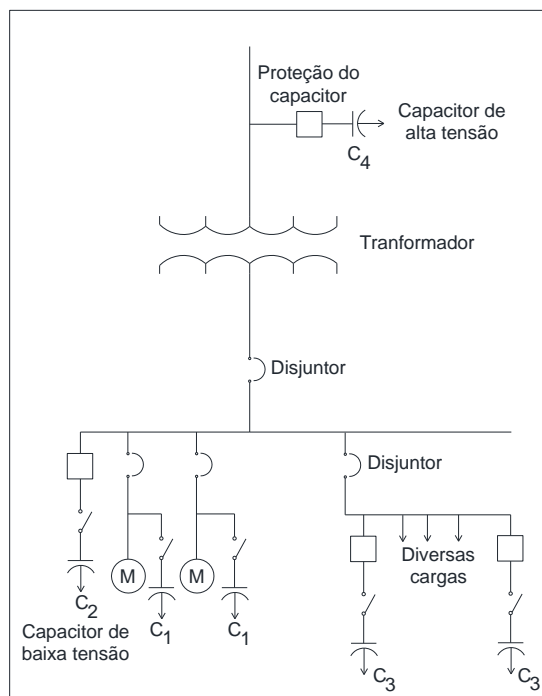
É aquele conectado ao sistema elétrico por um sistema de controle previamente ajustado para as condições que se fizerem necessárias. Isso significa que ele atua somente quando for necessária a injeção de potência reativa capacitiva para manter o fator de potência corrigido.

Os bancos de capacitores automáticos são utilizados em instalações onde existe uma razoável variação da curva de carga reativa diária ou há necessidade de manutenção do fator de potência numa faixa muito estreita de variação. (MAMEDE FILHO, 2012).

2.9 LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES

Do ponto de vista puramente técnico, os bancos de capacitores devem ser instalados junto a cargas consumidoras de energia reativa. No entanto, outros aspectos permitem localizar os bancos em outros pontos da instalação (FILHO,2012), conforme se ver na figura 2.9.

Figura 2.9-Localização dos capacitores



Fonte: Manual de instalações elétrica, 2005

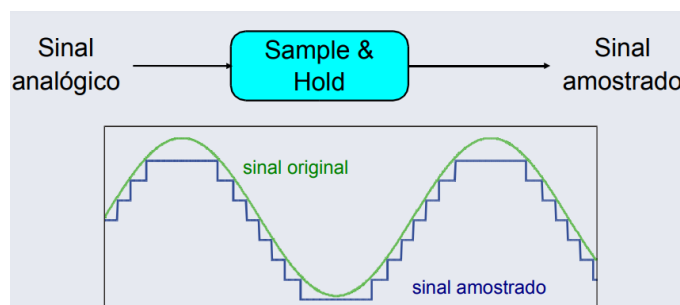
Não é viável, muitas vezes, a instalação de um capacitor junto a cada equipamento elétrico porque o custo seria elevado e poderia não haver capacitores comerciais nos valores das cargas, consideradas isoladamente. Ocorre, em geral, uma diversificação nos consumos, e prefere-se, então colocar um capacitor no barramento de baixa tensão C_2 , ou em ramal que alimenta diversas cargas C_3 . Como o custo dos capacitores desce com o aumento da tensão, há vantagem, sob este aspecto, em colocá-los no lado da maior tensão, mas a instalação na alta tensão do transformador C_4 , não proporciona liberação de capacidade no próprio transformador. (NISKIER, 2010, p.194)

2.10 PROCESSAMENTO DE SINAIS DIGITAIS NO TEMPO CONTINUO

Grande maioria dos sinais físicos que encontramos na natureza são contínuos no tempo, tais como velocidade, temperatura, tensão e corrente elétrica num circuito. A utilização de algoritmos de processamento de sinais de tempo discretos vem sendo usado para processar tais sinais, e são implementados usando sistemas de tempo discreto digitais ou analógicos. Um sinal de tempo discreto é frequentemente derivado de um sinal de tempo contínuo amostrando-se a uma taxa uniforme. (LIMA M. A., 2007)

Para um processamento por sistema analógico em um sinal digital é necessário digitalizar o sinal, transformando numa sequência finita de pontos discretos. A transformação de sinal analógico em digital é realizada por um componente chave conhecido como conversor A/D. Se a conversão for realizada rapidamente o resultado será uma sequência de pontos conforme visto na figura (2.10). Em adição a esse componente necessita de um circuito *Sample and Hold* que amostra e retém um nível de tensão “amostrado constante em sua saída por um tempo suficiente permitindo assim uma conversão precisa pelo conversor A/D.” (LIMA M. A., 2007).

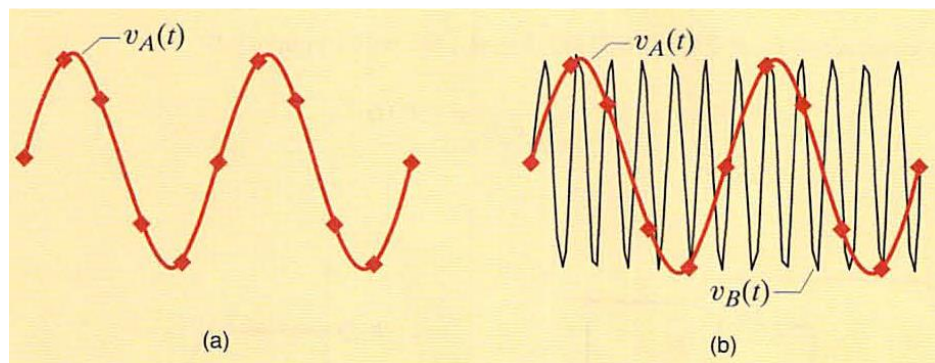
Figura 2.10- Circuito de Sample and Hold



Fonte: inatel, 2012

Infelizmente sinais indesejáveis podem introduzir erros durante o processamento dos sinais digitais como $v_B(t)$ visto na figura (2.11). Esse fenômeno é chamado de *aliasing*, trata-se de uma possibilidade sempre que o sinal de entrada contém componentes cuja a frequência é maior que a metade da frequência de amostragem. O emprego de um filtro passa baixa chamado de filtro *antialiasing* é usado para evitar que esses erros ocorram (DAVID ; MARK 2013).

Figura 2.11-(a) amostragem no CAD; (b) Sinais com frequência mais altas



Fonte: livro do David Irwin e Mark Nelms

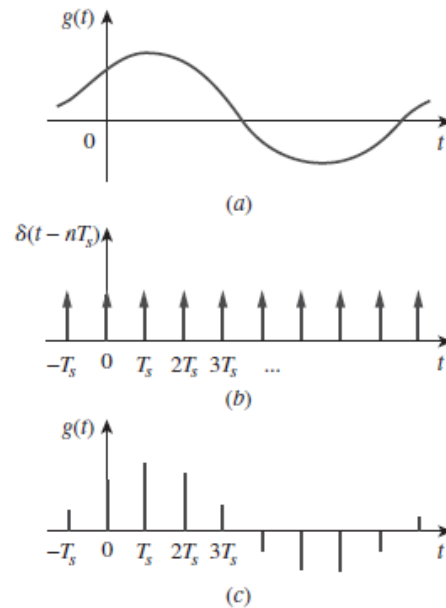
2.10.1 Amostragem

Segundo (ALEXANDER; SADIKU, 2013) em sistemas analógicos, os sinais são processados em sua totalidade, entretanto, nos sistemas digitais modernos, apenas amostras uniformemente espaçadas no tempo são necessárias para o processamento, sendo possível como consequência do teorema da amostragem que é a ponte entre os mundos de tempo contínuo e de tempo discreto, resumidamente amostragem gera um sinal de tempo discreto a partir de um sinal contínuo no qual um conjunto discreto de valores analógicos $y(n)$ é amostrado em intervalos de amostragem (T_s) constante ou não.

$$y(n) = x(nT_s) \quad n = 0,1,2,3 \dots \dots \quad (18)$$

O valor amostrado é mantido até o próximo intervalo. “Um sinal em tempo contínuo amostrado é uma sequência de impulso, enquanto que um sinal em tempo discreto apresenta a mesma informação em uma sequência de números.” (LATHI, 2007, p. 678)

Figura 2.12- (a) Sinal contínuo; (b) trem de impulsos; (c) sinal (digital) amostrado.



fonte :Alexander e Sadiku,2016

Um sinal contínuo $g(t)$ representado na figura (2.12a) pode ser multiplicado por um trem de impulsos $\delta(t - nT_s)$, mostrado na figura 2.12b, onde T_s é o intervalo de amostragem e $f_s = 1/T_s$ é a taxa de amostragem. O sinal amostrado $g_s(t)$ é:

$$g_s(t) = g(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s) \delta(t - nT_s)$$

A transformada de Fourier desta é:

$$G_s(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s) \mathcal{F}[\delta(t - nT_s)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s) e^{-jn\omega T_s}$$

Portanto:

$$G_s(\omega) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(\omega + n\omega_s) \quad (19)$$

Onde $\omega_s = 2\pi/T_s$

Isso mostra que a transformada de Fourier $G_s(\omega)$ do sinal amostrado é a soma das translações da transformada do sinal original a uma taxa igual a $1/T_s$. A reconstrução do sinal original é respondida pelo teorema da amostragem.

2.10.2 Teorema de Amostragem

Para garantir que os sinais digitais obtidos via conversor ADC do microcontrolador representam os sinais analógicos com o mínimo de perdas de informações é necessário garantir que a frequência de amostragem seja igual ou maior que o dobro da frequência máxima do sinal que se quer amostrar. Essa limitação é enunciada pelo teorema da amostragem de Nyquist “Um sinal limitado em faixa, sem nenhum componente de frequência superior a W hertz, pode ser completamente recuperado a partir de suas amostras extraídas a uma frequência pelo menos duas vezes maior que $2W$ amostras por segundo.” (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

$$\frac{1}{T_s} = f_s \geq 2W \quad (20)$$

Para garantir que o sinal não contenha frequências superiores à de Nyquist, o mesmo deve passar por um filtro passa-baixa com corte de frequência, antes de ser amostrado.

2.10.3 Filtros

Segundo (ALEXANDER; SADIKU, 2013) filtro é um circuito eletrônico projetado para deixar passar sinais com frequências desejadas e rejeitar ou atenuar outros. Podemos representar conforme a figura (2.13) um filtro como uma caixa que ficara entre a entrada e saída de um sinal. Como dispositivo seletivo de frequências, um filtro nada mais é que um limitador de sinais, ou seja, limita o espectro de frequências de um sinal para uma faixa de frequências especificadas.

Figura 2.13- Representação de um Filtro



Fonte: Autor,2018

Os filtros constituem uma das aplicações mais comuns na eletrônica, sendo amplamente utilizados na aquisição e processamento de sinais, tem como função implementar a razão entre

a tensão de saída pela tensão de entrada. Um filtro pode ser passivo ou ativo, um filtro passivo é formado por resistores, indutores e capacitores, já o filtro ativo é formado por elementos ativos como transistores e amplificadores operacionais. Há quatro tipos de filtros a saber:

- Passa-alta: Permite a passagem de frequências, acima da frequência de corte e atenua inferiores.
- Passa-baixa: Permite a passagem de baixas frequências atenuando frequências acima da de corte.
- Passa faixa: Permite passagem de frequência entre dois valores preestabelecidos.
- Rejeita Faixa: Bloqueia frequência intermediárias, enquanto permite a passagem de frequências inferiores de superiores a banda não permitida.

2.10.3.1 Filtro Ativo Passa Baixa

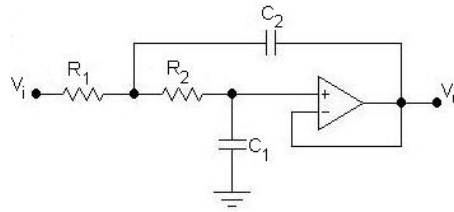
A quantidade de atenuação para cada frequência depende do tipo de filtro e é determinada pela função transferência do filtro correspondente. “A resposta em frequência de um filtro ativo passa baixa é caracterizado pela passagem de todo o sinal que apresente componentes de frequência inferior a frequência de corte.” (LIMA A. L., 2015).

Para a aplicação foi escolhido a topologia Sallen Key, bastante utilizado pela simplicidade da implementação de filtros como por exemplo passa baixa. Consiste em uma topologia bastante simples onde sua função transferência pode ser obtida sem grandes dificuldades e permite controlar o ganho na faixa de passagem, podendo ser um ganho unitário ou de ordem superior conforme a expressão abaixo. (LIMA A. L., 2015).

$$|A_V(j\Omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^4}} \quad (21)$$

Nesse trabalho o filtro projetado possui ganho de tensão unitário conforme a figura (2.14).

Figura 2.14 - Circuito passa-baixas de 2º ordem



Fonte: Lathi, 2007

A função transferência do filtro da figura (2.10) é:

$$H(s) = \frac{1}{R_1 R_2 R C_1 C_2 s^2 + (R_1 + R_2) C_1 s + 1} \quad (22)$$

A frequência de corte e o fator de qualidade, são dados respectivamente por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (23)$$

e

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_1 (R_1 + R_2)} \quad (24)$$

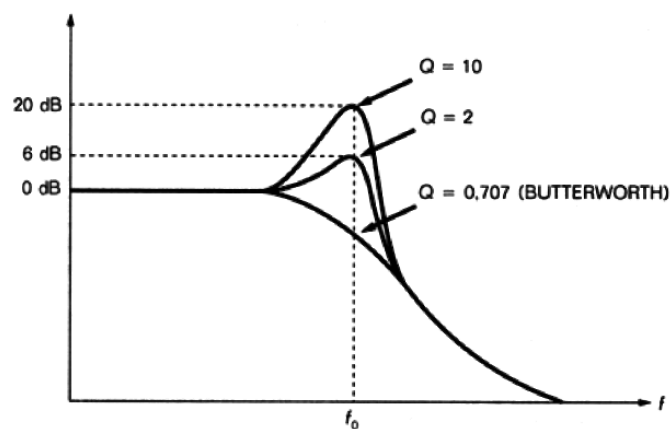
O fator de qualidade, Q , determina o formato da resposta do filtro.

Para $Q = 0,707$, o filtro possui uma aproximação de Butterworth.

Utilizando $R_1 = R_2$ e $C_1 = 2C_2$ temos a configuração Butterworth.

A figura (2.16) mostra o efeito do fator de qualidade num filtro de segunda ordem

Figura 2.15- Efeito do fator de qualidade em um filtro de 2º ordem



Fonte: LATHI,2007

2.11 APP INVENTOR

Segundo (GÓMEZ ; SOUZA,2014) App Inventor for Android também chamado de AIA é uma aplicação web de códigos aberto, originalmente fornecido pelo Google, e atualmente mantido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Essa ferramenta permite criar aplicativos de software para o sistema operacional Android OS.

O App inventor usa uma interfase gráfica muito semelhante ao Scratch e o StarLogo TNG, que permite aos usuários arrastar e soltar objetos visuais facilitando a criação de um aplicativo que pode ser executado em dispositivos Android. O AIA é basicamente um aplicativo baseado na WEB em que a programação é feita diretamente em Browser como o Google Chrome (SOUZA,2016).

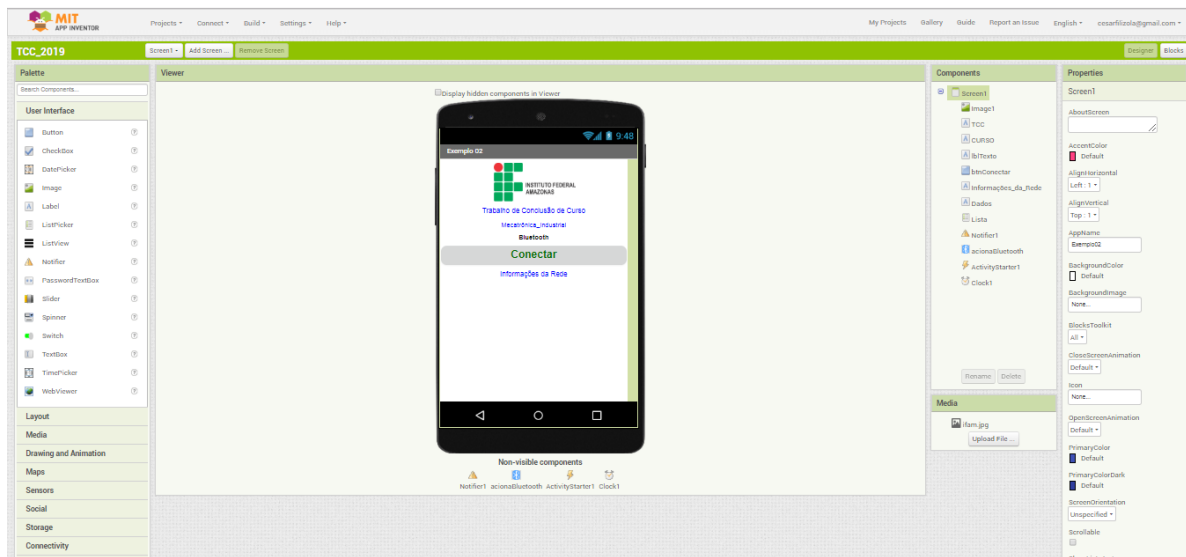
Para utilizar o emulador ou conexão UBS para depurar o aplicativo em construção, é necessário instalar o programa aiStarter no computador. Para a depuração e testes via Wi-fi é necessário instalar o aplicativo AI2Companion num dispositivo móvel, que pode ser obtido e instalado a partir do Google Play (GÓMEZ ; SOUZA,2014).

O AIA é constituído por várias partes integradas que permitem a realização do design, os testes e a geração do instalador do aplicativo.

App Inventor inclui:

- Designer: no qual os componentes de um programa são especificados. Isso inclui componentes visíveis (botões e imagens - que são colocados em uma tela simulada – e componentes permitindo a definição do layout do aplicativo) e componentes não visíveis, tais como sensores e conexões web.
- Editor de blocos: onde a parte lógica do aplicativo é criada;
- Compilador: baseado nas linguagens Kawa eScheme;
- Depurador: um aplicativo para depuração em tempo real que utiliza o dispositivo Android conectado via Wi-fi que simula o comportamento dos dispositivos.

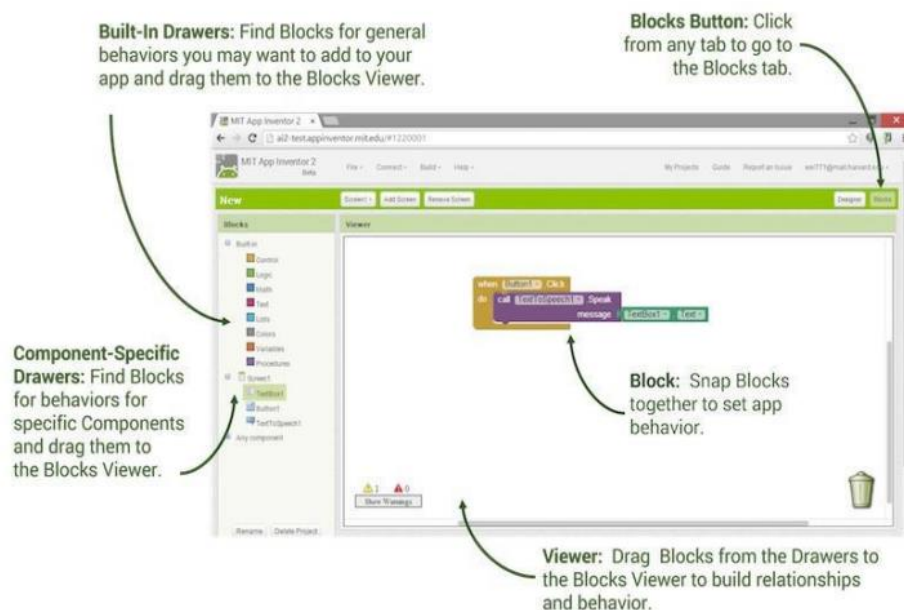
Figura 2.16 - Tela do Desing do Aplicativo



Fonte: <http://appinventor.mit.edu/> , 2019

- Palette: onde se encontram todas as classes de objetos disponíveis no App Inventor
- Viewer: fornece uma visão aproximada de cada tela do aplicativo.
- Componentes: uma vez que um elemento de uma classe é escolhido para fazer parte do aplicativo, ele se transforma em um componente.
- Properties: permite alterar as propriedades de cada objeto selecionado no painel Components.

Figura 2.17 - Tela de Blocos do Aplicativo



Fonte: <http://www.aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/>, 2019

A janela do modo blocks está dividida em dois painéis verticais.

- Blocks: está dividido em três grupos:
 - Built in: onde se encontram os blocos de logica necessários para execução do aplicativo.
 - Screen: nesse caso aparecem todos os componentes inseridos no modo designer.
 - Any Component: está relacionado as propriedades que podem ser ajustadas aos objetos de um mesmo tipo.
- Viewer: fornece uma visão do código do aplicativo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar detalhes de todo o material utilizado na construção do protótipo de monitoramento do fator de potência. Essa organização tem por finalidade facilitar a pesquisa e compressão para a montagem do protótipo proposto.

3.1 TRANSFORMADOR ABAIXADOR

Segundo Garcia e Almeida (2014) “transformador é um dispositivo elétrico que permite modificar a amplitude de tensões e correntes. Consiste basicamente em duas bobinas de fio isolados eletricamente, porém acopladas magneticamente.” Por meio de indução eletromagnética, transfere energia elétrica de um circuito primário ligado à rede elétrica para outro circuito comumente denominado secundário no qual a carga é conectada (BARROS; BORELLI ; GEDRA,2014).

O projeto utiliza um transformador abaixador de tensão de 127/220V para 9V/500mA com três terminais no primário e dois terminais no secundário. A finalidade do transformador no protótipo é reduzir a tensão da rede elétrica para um nível aceitável.

Figura 3.1-Transformador abaixado



Fonte: Usinainfo,2018

3.2 SENSOR DE CORRENTE INVASIVO ACS712

O modelo ACS712, fabricado pela empresa allegro MicroSystems, é um pequeno sensor de corrente invasivo ou seja, precisamos interromper o circuito para realizar a medição,

utilizado para baixas e médias correntes com alta sensibilidade e baixo custo. Ele é capaz de medir valores de corrente contínua e alternada (VIDA DE SILICIO,2018).

O ACS712 é um sensor de efeito Hall que consegue opera até 30A de corrente e tem alimentação de 5V gera uma saída de tensão proporcional a corrente que flui entre os pinos IP+ e IP- do sensor. Por usar o efeito Hall, o circuito do sensor ficar isolado eletricamente do circuito cujo o qual se está aferindo a corrente (VIDA DE SILICIO,2018).

Figura 3.2 – Principais tipos de sensor de corrente

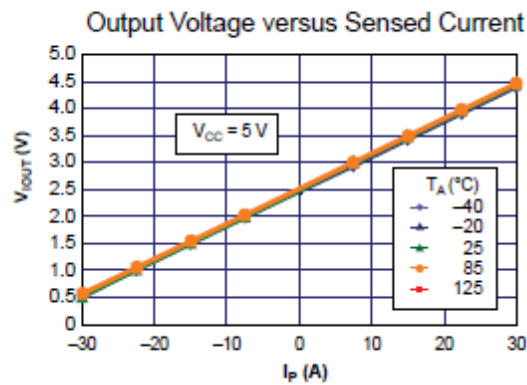
Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Fonte: datasheet,2019

Utilizado para o desenvolvimento de projetos, o sensor de corrente da ACS712 é muito versátil em diversas aplicações. É compatível com o microcontrolador dsPIC30F3012 e com outras plataformas de prototipagem é uma opção de qualidade e eficiência quando se fala em medir correntes elétricas de -30A e +30A.

Figura 3.3-Curva do sensor de Corrente



Fonte:datasheet,2019

Para medição de corrente, o borne no qual representa os pinos 1, 2 e 3,4 devem ser conectados em serie com o circuito no qual se deseja saber a corrente. O modelo de sensor apresentado na figura (3.4) apresenta uma sensibilidade 66mV/A e tem um valor de *offset* equivalente à tensão de alimentação do sensor dividida por dois quando a corrente é nula.

Figura 3.4-Sensor de Corrente ACS 712



Fonte: autor,2018

3.3 MICROCONTROLADOR

“Os microcontroladores (μ C ou MCU) são pequenos dispositivos dotados de inteligência” (MIYADAIRA,2009), basicamente constituídos de CPU (Central Processing Unit), memória (dados e programas) e periféricos (portas E/S,SPI,USART etc), suas dimensões são bastantes reduzidas em virtude da integração de milhões de componentes inseridos em uma única pastilha de silício.

O microcontrolador pode realizar deste controle de velocidade e posição de um guindaste até aquisição de grandezas elétricas. O modo de operação do microcontrolador irá variar de acordo com a necessidade.

As duas arquiteturas principais de microcontroladores são a Harvard e Von Neumann no quadro (1) mostra a características de cada uma.

Quadro 1 - Principias Arquiteturas

Arquitetura	Características
Harvard	Caracterizada pela existência de um barramento para o acesso a memória de dados e outro para a memória de programa
Von-Neumann	As memórias de dados e de programa compartilham o mesmo barramento, limitando a banda de operação.

Fonte:Autor,2018

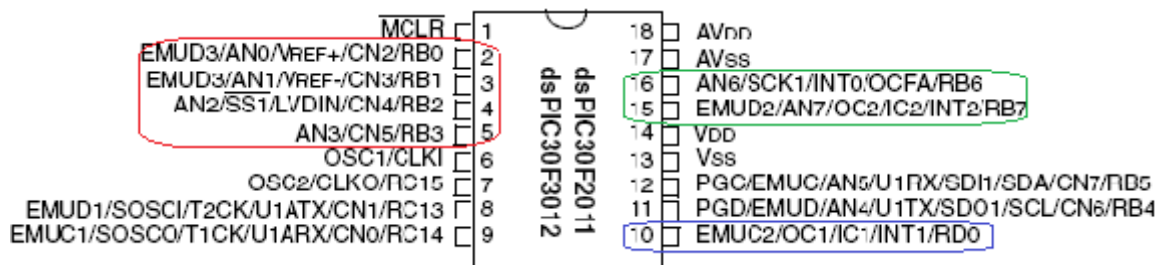
A velocidade de processamento está diretamente relacionada com a frequência de clock, quanto maior a frequência de trabalho maior será a capacidade de processamento. Essa frequência é gerada por um oscilador interno que é normalmente é um circuito RC, ou então por um cristal de quartzo ou um ressonador conectado externamente. Osciladores internos do tipo RC são utilizados.

O dsPIC30F3012 da fabricante Microchip Technology é o microcontrolador utilizado na implementação do projeto. Ele pertence à família de microcontroladores de 12 bits. As suas principais características são: (SOUZA,2010)

- Alimentação 2,5 a 5,0V;
- MCU de 16 bits;
- Possui 84 instruções;
- Flexibilidade de clock que possui PLL, divisor de frequência, RC interno e possibilidade de oscilação por cristal do timer1;
- A/D de 10 bits a 500ks ou 12 bits a 100ks. Amostragem simultânea de 4 canais e conversão individual a 500ks o que reduz a frequência a 125ks;
- EEPROM 1k a 4k 16 bits;
- Velocidade de processamento: 30MIPS máximo, nominal: 20 MIPS;
- Cada interrupção tem o seu vetor de interrupção, não sendo necessário checar os bits. Interrupções de Trap (falhas no oscilador, execução de programa em região inválida para ICD, tentativa de escrita em área protegida, divisão por zero e outros);
- 50 fontes de interrupções, com 7 níveis de prioridade.

Um dos motivos para escolha da família dsPIC se deve pela determinação da ANEEL que determina que um sistema de medição deve possuir um conversor AD de pelo menos 12 Bits. A figura (3.5) mostra a pinagem do microcontrolador dsPIC30F3012. Ela apresenta em destaque as portas do dispositivo. Quanto ao dispositivo é habilitado, esses 7 pinos têm funcionalidade de interfase de entrada e saída para propósito geral.

Figura 3.5 - Pinagem do dsPIC30F3012



Fonte:Datasheet,2018

3.4 MÓDULO BLUETOOTH

A tecnologia Bluetooth é um padrão global de comunicação sem fio que utiliza ondas de rádio tendo como vantagem o baixo consumo elétrico que permite a transmissão de dados entre dispositivos, desde que um esteja próximo do outro.

A transmissão de dados é feita por meio de radiofrequência, permitindo que um dispositivo detecte o outro independente de suas posições, sendo necessário apenas que ambos estejam dentro do limite de proximidade o que torna uma tecnologia bastante flexível.

Quadro 2 - Tipos de Classe de um Bluetooth

Tipos de Classes		
Classes	Potência Máxima	Alcance
1	100mW	100m
2	2,5mW	10m
3	1mW	1m

Fonte: autor,2018

O módulo Bluetooth HC-06 é componente eletrônico altamente tecnológico, desenvolvido para enviar e receber informações via Bluetooth sendo compatível com microcontrolador dsPIC30F3012. Esse módulo tem um alcance de aproximadamente 10 metros e funciona apenas em modo slave (escravo), ou seja, permite que outros dispositivos se conectem a ele, mas não permite que ele próprio se conecte a outros dispositivos.

Tabela 1 - Especificações do Módulo HC-06

Especificações do módulo HC-06	
Alimentação	3,6 a 6 VDC
Taxa de Transmissão	9600
Cobertura de Sinal	10m
Tipo de Comunicação	Serial RS232

Fonte: usinainfo,2018

Figura 3.6-Módulo Bluetooth



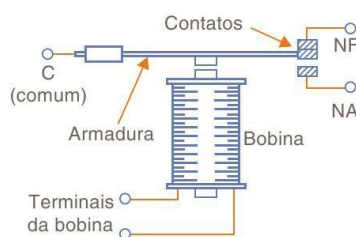
Fonte:Usinainfo,2018

3.5 RELÉ ELETROMECAÂNICO

Um relé eletromecânico é um dispositivo formado por uma parte elétrica e outra mecânica, controlado remotamente. Ele liga ou desliga uma carga ou um circuito pela energização de uma bobina, que abre ou fecha os contatos no circuito (PETRUZELLA, 2013).

A parte elétrica é constituído basicamente por uma bobina e parte mecânica formada por contatos NA (Normalmente Aberto) ou NF (Normalmente Fechado) dependendo do modelo do relé. A armadura tem a finalidade de abrir ou fechar os contatos. Quando a bobina é energizada produz um campo magnético que atua sobre armadura provocando a mudança de estado dos contatos. (BARRETO, 2015).

Figura 3.7-Esquemático de um Relé Eletromecânico



Fonte: Saber eletrônica,2017

Uma vantagem do relé é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas, possibilitando controlar um circuito de corrente elevada com o uso de um circuito de controle de baixa corrente. Isso é possível porque a bobina e os contatos do relé estão isolados eletricamente entre si significando uma segurança. (BARRETO, 2015).

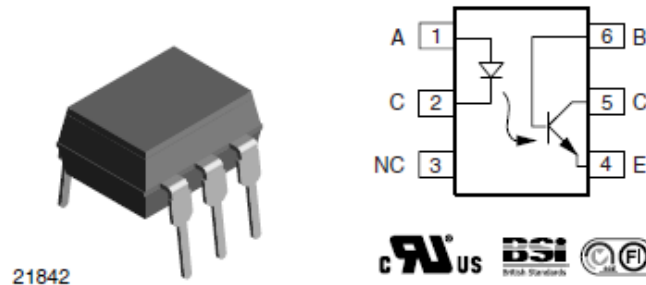
3.6 OPTOACOPLADOR

O optoacoplador é um circuito integrado bastante utilizado em estruturas onde se deseja um isolamento galvânico entre o circuito controlador e o controlado.

O optoacoplador inclui um elemento emissor normalmente um diodo construído com arsenieto de gálio, e um receptor que pode ser um transistor. Quando o diodo for alimentado e circular corrente pelos seus terminais ele emitirá um feixe de luz. “A radiação detectada pelo fototransistor agirá como uma corrente de base em um transistor convencional. A luz criará portadores que injetarão uma corrente de base, a resultará em uma corrente de coletor que irá ativar a carga.” (GARCIA ; ALMEIDA, 2014)

O circuito interno do optoacoplador 4N25, utilizando fototransistor, esta apresentado na figura (3.8).

Figura 3.8 – Optoacoplador 4N25

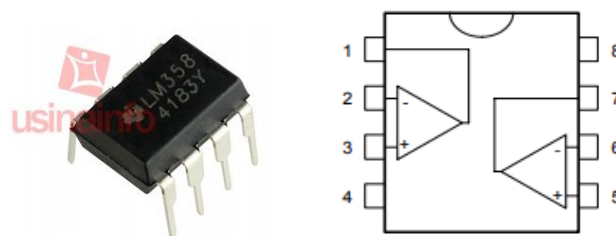


Fonte:Datasheet,2018

3.7 CIRCUITO INTEGRADO – LM358

Amplificador operacional ou op-amp como é normalmente conhecido, é o mais simples e importante circuito integrado utilizado no projeto de circuitos analógicos. Ele constitui-se de uma interconexão versátil de transistores e resistores, originalmente foram projetados para realizações de operações matemáticas. Incorporando-se redes simples, podem ser construídos blocos de operações, tais como ganho de tensão, uma conversão de corrente para tensão e um vasto conjunto de aplicações mais complexas (DAVID ; MARK, 2013). Foi utilizado no projeto o circuito integrado LM358, que possui dois amplificadores no mesmo chip.

Figura 3.9 - Amplificador Operacional, LM358

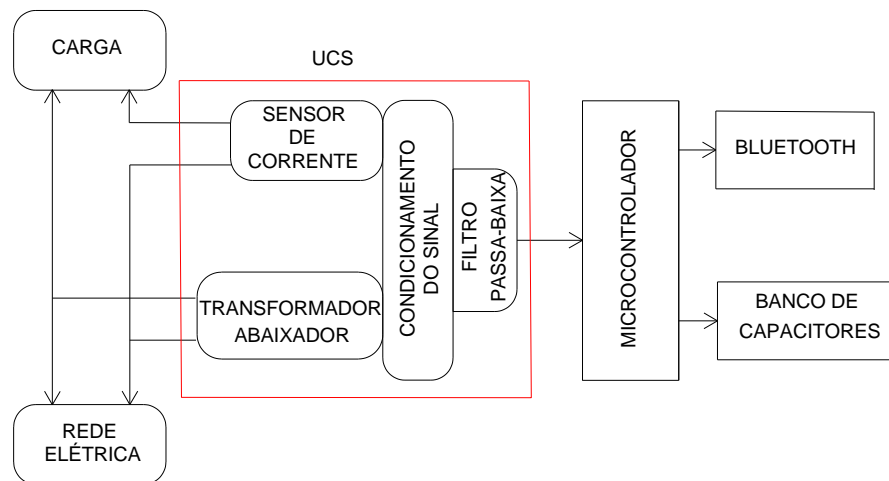


Fonte: Usinainfo,2019

3.8 MODELO PROPOSTO

O protótipo proposto é de fácil instalação junto a carga em estudo. De forma simplificada o protótipo facilita a visualização e interpretação dos dados, pois mostra em tempo real a tensão elétrica e corrente elétrica. As outras grandezas elétricas apresentadas são calculadas a partir dessas grandezas primárias. O diagrama em blocos da figura (3.10) ilustra os elementos do sistema com suas respectivas interligações, que serão detalhados nos subitens deste capítulo.

Figura 3.10-Sistema de Aquisição de dados



Fonte: Autor,2018

A primeira etapa consiste na aquisição das grandezas primárias, no presente caso tensão e corrente elétrica que serão medidas pelo sistema de aquisição de dados.

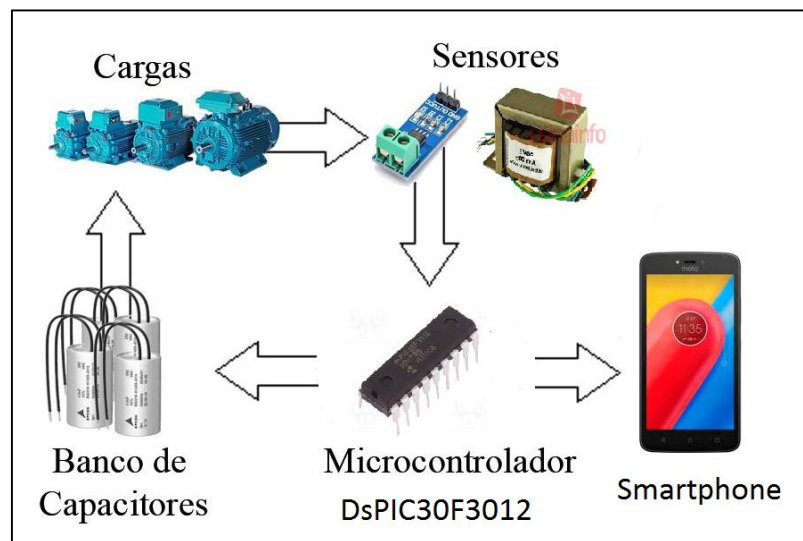
A segunda etapa consiste no condicionamento de sinais (UCS), ou seja, processo relacionado com adequação do sinal a níveis compatíveis com o μC . Tem início com a redução da amplitude do sinal de entrada para valores de tensão que possam ser utilizados pelos componentes dos estágios seguintes, finalizando com a aplicação do filtro passa baixas, resultando em um sinal propício a digitalização.

A função do filtro é assegurar que o teorema da amostragem será respeitado e sendo assim os sinais sejam de largura de faixa limitada.

Logo após, o microcontrolador dsPIC30F3012 tem a finalidade de digitalização dos sinais provenientes dos filtros, executando ações programadas para cada dado enviado como também controle e chaveamento de capacitores quando solicitados.

O MCU oferece uma porta de comunicação serial que permite a troca de informações entre os dispositivos que também utilizam a comunicação serial. O principal propósito da comunicação serial é reduzir os custos de infraestrutura que interliga os dispositivos, como por exemplo o dsPIC30F3012 neste sentido o módulo Bluetooth HC-06 enviar os dados do MCU para um smartphone mostrando assim as grandezas frequência, corrente, tensão, potência ativa, potência reativa, potência reativa corrigida, potência aparente, fator de potência e o número de capacitores para acionamento.

Figura 3.11 - Diagrama do Sistema



Fonte: Autor,2019

3.9 UNIDADE DE CONDICIONAMENTO DE SINAL (UCS)

A UCS, consiste na etapa do processo responsável pela aquisição de sinais de tensão e corrente de uma carga monofásica conectada à rede de energia elétrica, e adequá-los aos níveis de entrada do dsPIC30F3012. A UCS é composta por dois circuitos, sendo um responsável pelo tratamento do sinal de tensão e o segundo pelo tratamento do sinal de corrente. (LIMA A. L., 2015).

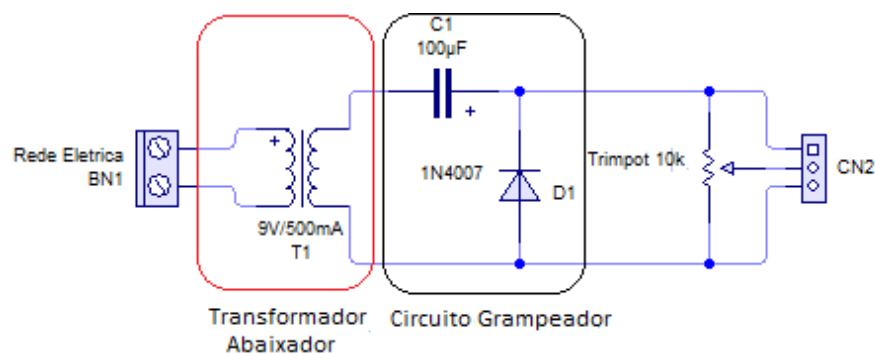
3.9.1 Circuito de Condicionamento de Tensão

O circuito de condicionamento de tensão é composto por um transformador abaixador e um circuito grampeador com trimpot, o transformador reduz previamente a tensão de entrada, além de proporcionar uma isolação elétrica ao circuito de enrolamento primário e do secundário garantindo proteção ao sistema.

A tensão da saída de 9V RMS ($\pm 12,728$ valor máximo e mínimo) é proporcional a tensão de entrada do transformador. Os componentes de condicionamento de sinal precisam converter a saída do transformador para uma forma de onda adequada à entrada analógica do dsPIC30F3012, capaz de operar numa faixa de (0 a 5V). Esta redução visa manter o valor máximo de pico positivo em 5V e o valor de pico negativo em 0V.

O diagrama da figura (3.12) apresenta o circuito de condicionamento do sinal de tensão, no qual o circuito grampeador tem por finalidade grampeia o sinal em um nível DC diferente do sinal de entrada sem afetar a forma de onda. Em outras palavras, o sinal de tensão, passa a ter um novo eixo de referência. O trimpot de 10k, em paralelo com o diodo permite um ajuste fino da tensão que será entregue ao filtro passa baixa.

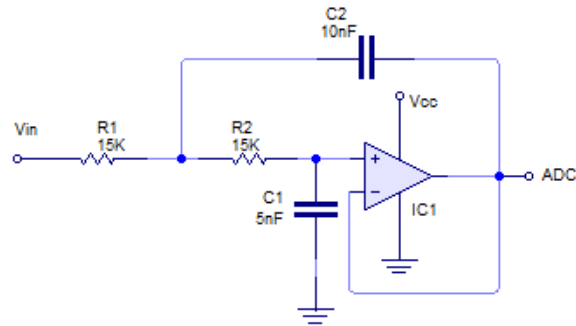
Figura 3.12- Circuito de condicionamento de tensão



Fonte: Autor,2019

O bloco seguinte consiste em um filtro passa-baixa, cuja sua função é limitar a largura de banda do sinal, removendo frequências indesejáveis. A frequência de amostragem escolhida foi de 1,5kHz. Portanto deve-se utilizar filtros anti-aliasing que deixe passar frequências de no máximo 1,5kHz.

Figura 3.13- Filtro Passa Baixa



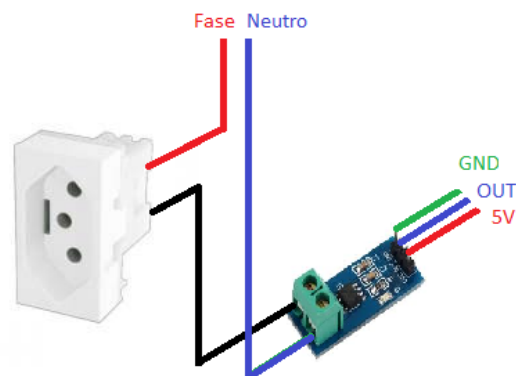
Fonte:Autor,2019

3.9.2 Circuito de Condicionamento de Corrente

Para se ligar um sensor invasivo com um dsPIC30F3012, o sinal de saída do sensor ACS 712-30A deve ser condicionado de modo que satisfaça os requisitos de entrada analógica do microcontrolador.

O ACS712 usa o efeito Hall para a obtenção da corrente elétrica. A corrente que passa pelos conectores 1,2 e 3,4 gera um campo magnético, que possui, desloca a tensão de saída proporcionalmente a esse campo. A tensão de saída do sensor de corrente varia de acordo com a tensão de alimentação, sendo 0V para um pico de -30A e 5V para um pico 30A, quando não há presença de corrente elétrica a tensão de saída do sensor ACS712 será de 2,5V, ou seja, metade da tensão de alimentação

Figura 3.14 - Esquema de Ligação do Sensor

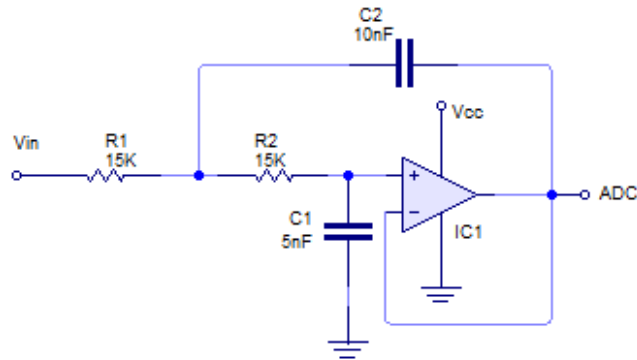


Fonte:Autor,2019

O valor de tensão gerado pelo sensor ACS712 representa um valor de pico, assim o valor é então convertido via software para RMS.

O estágio seguinte consiste no filtro passa baixa conforme a figura (3.15).

Figura 3.15 - Filtro passa baixa de segunda Ordem



Fonte: Autor, 2018

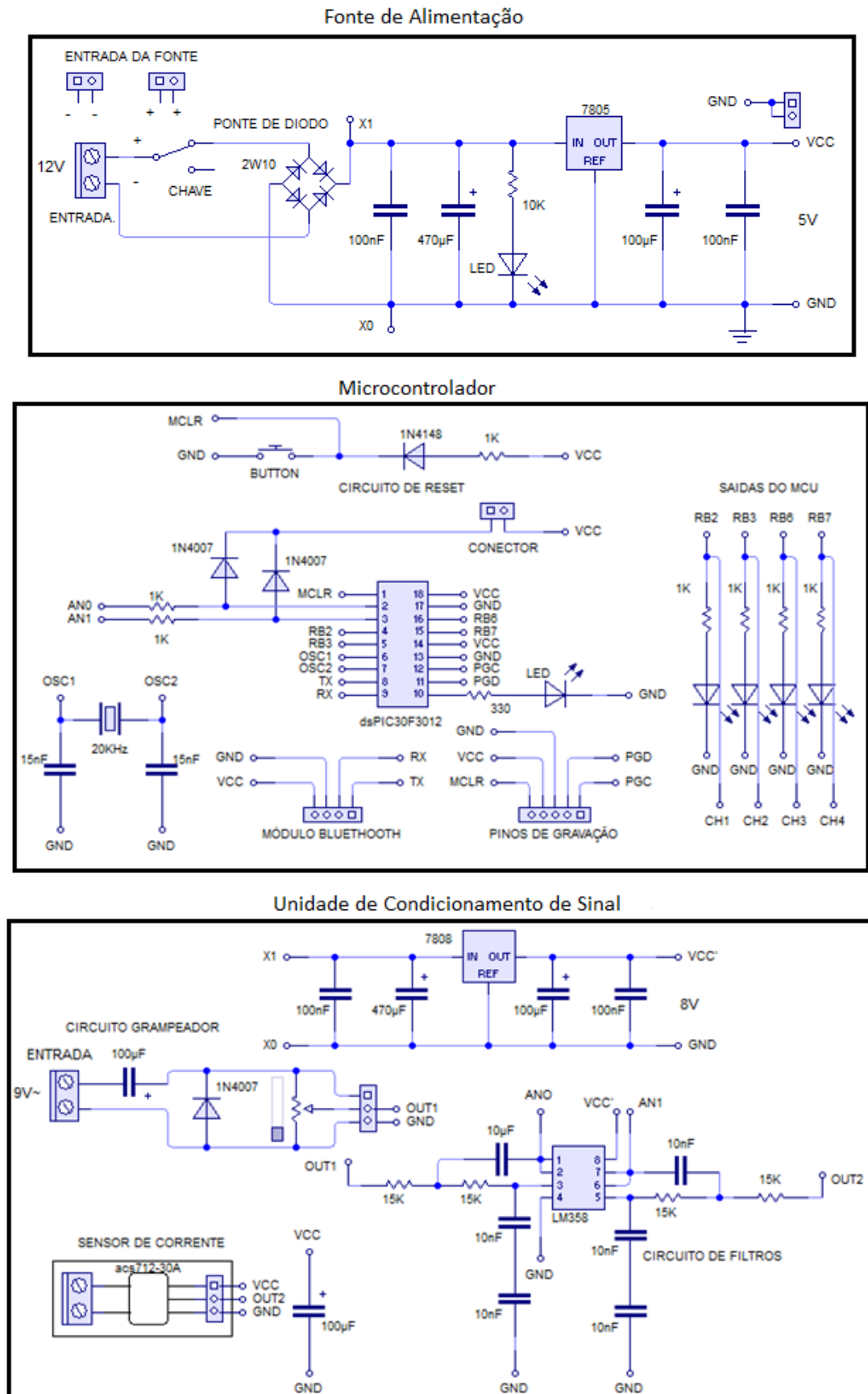
3.10 CIRCUITO PRINCIPAL

O circuito principal é responsável por receber os valores provenientes da Unidade de Condicionamento de Sinal (UCS), mostrar em um smartphone valores de tensão e corrente, como também realizar o cálculo das potências do sistema em questão e definir quais capacitores deverão ser acionados via circuito de acionamento.

O microcontrolador dsPIC30F3012 é o elemento responsável por desempenhar as funções fundamentais do circuito principal. As grandezas primárias tensão e corrente vindas da unidade condicionamento de sinais (UCS) são entregues as entradas analógicas do μC que fara a conversão de sinal do tipo analógico para digital. Com esses sinais definidos, as três primeiras funções que serão executadas pelo MCU são a obtenção da frequência da rede em Hz e o cálculo da tensão e corrente em valores eficazes. (ALVES, 2016)

As funções seguintes serão destinadas para realizar o cálculo das potências e o cálculo do fator de potência. Após a definição desses parâmetros, é calculado a potência reativa corrigida e o número de capacitores. Os valores obtidos são então enviados por meio do módulo Bluetooth HC-06. A função seguinte é a de exibir em um smartphone os valores mensurados. O diagrama elétrico do circuito principal é segmentado em 3 módulos para melhor compreensão, como mostrado na figura 3.16 a seguir.

Figura 3.16 - Diagrama elétrico do circuito principal

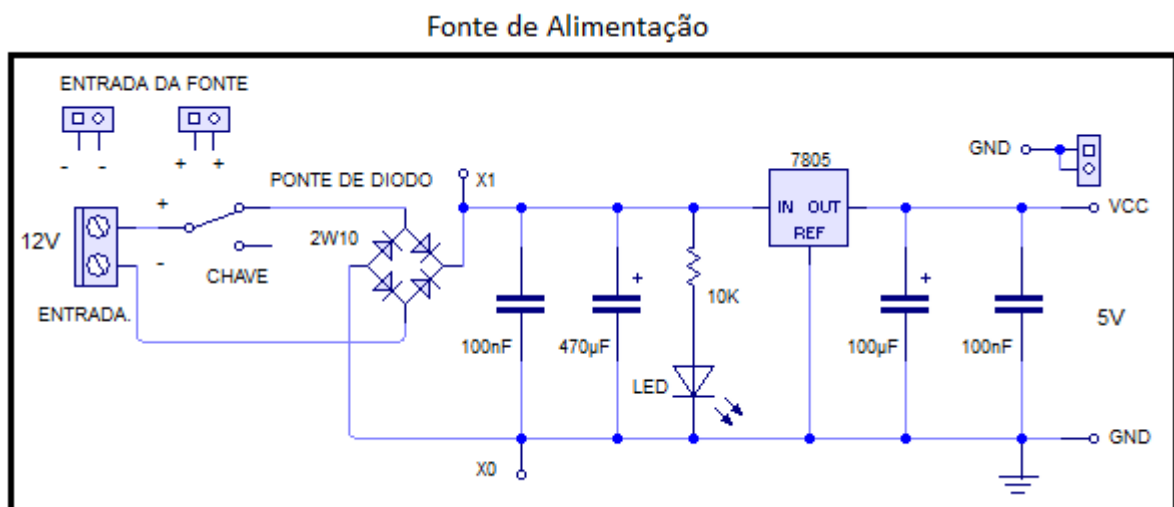


Fonte: Elaborado pelo autor no software livewire,2019

A figura 3.16 indica os 3 módulos que compõe o circuito principal. O primeiro módulo é a fonte de alimentação, que é responsável por fornecer a tensão necessária para o funcionamento de todos os componentes eletrônicos aplicados. O segundo módulo é microcontrolador dsPIC30F3012, que é o responsável por controlar os demais módulos. O módulo 3 é responsável pela aquisição de sinais provenientes da rede elétrica, como também da filtragem dos mesmos.

O módulo fonte de alimentação exibe a regulação de tensão do microcontrolador. O sistema é alimentado por meio de uma fonte de alimentação de corrente contínua no qual recebe a tensão de 12V e em seguida passa por uma ponte de diodo que tem a finalidade de proteção como também filtragens e em seguida passa por um regulador de tensão, LM7805, no qual regula a tensão para 5V e que se faz necessária no circuito principal. Os capacitores apresentados na figura 3.17 são encarregados de filtrar sinais ruidosos da alimentação do circuito e o LED de indicação vermelho tem a função de mostrar visualmente o status da fonte, ligada ou desligada.

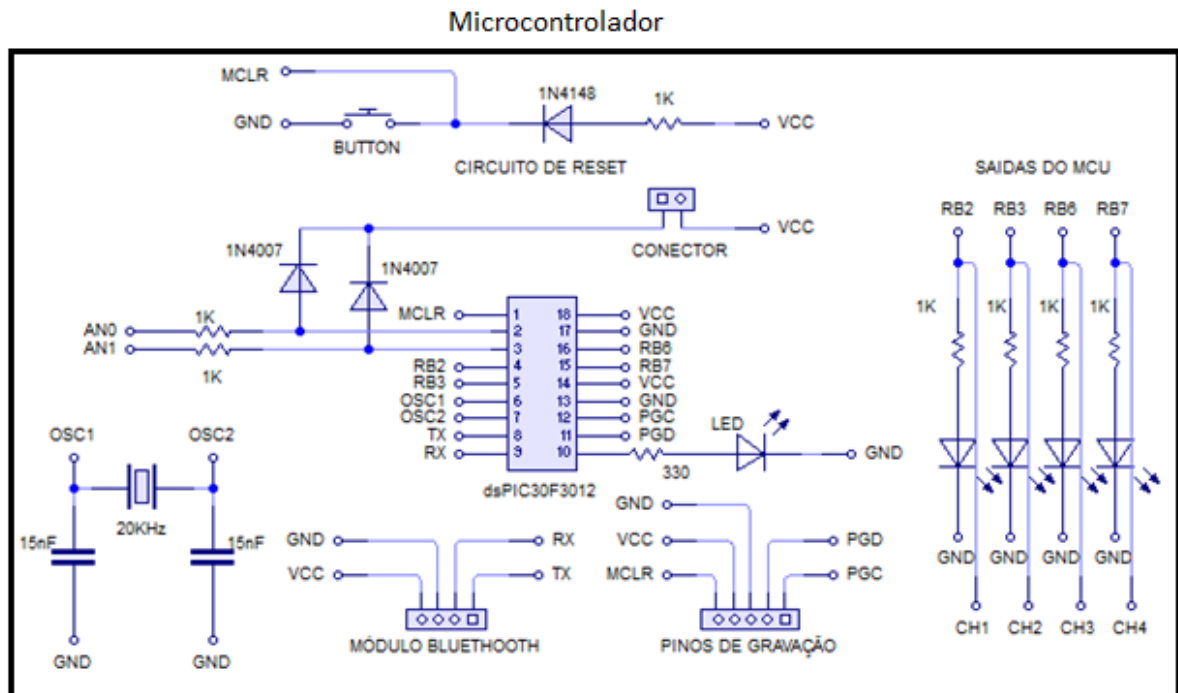
Figura 3.17 - Fonte de Alimentação



Fonte:Autor,2019

O módulo 2 é o microcontrolador do circuito principal, a sua função é a de converter os sinais analógicos vindos do circuito de condicionamento e transforma-los para digital, realizar os cálculos de frequência, tensão, corrente, potências e fator de potência e conforme a necessidade, definir quantos capacitores serão acionados pelo circuito de acionamento para realizar a correção do fator de potência. A figura 3.18 mostra o diagrama elétrico do módulo 2 e as suas conexões

Figura 3.18 - Circuito do Microcontrolador



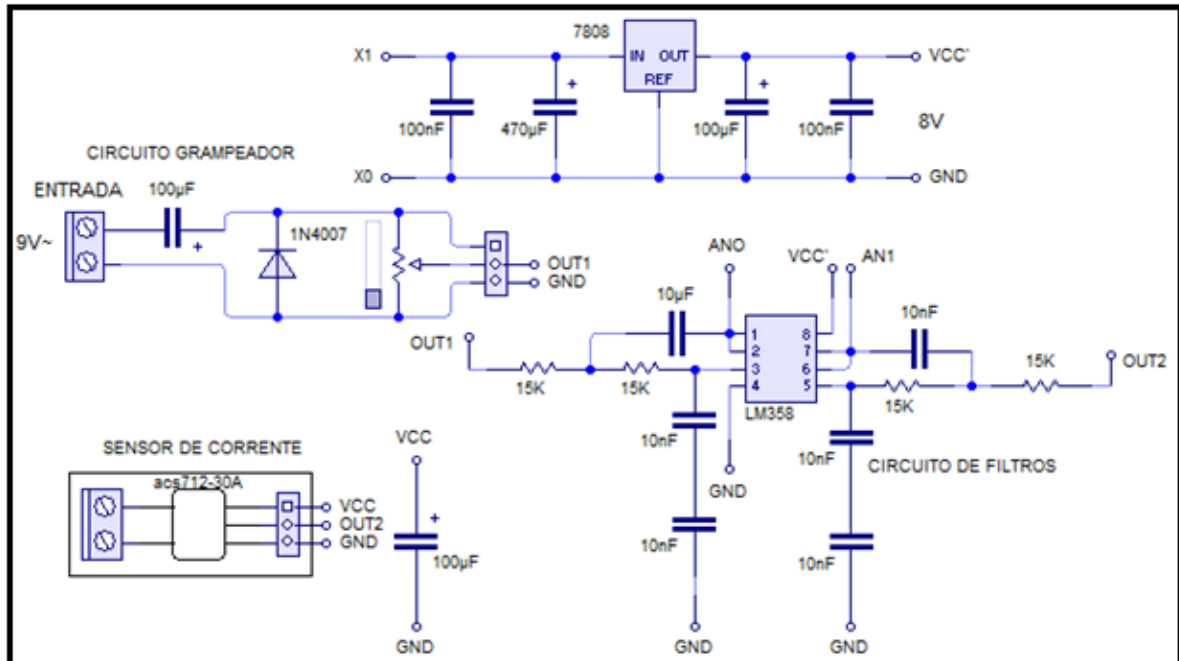
Fonte:Autor,2019

Na figura 3.18, o módulo 2 apresenta as suas conexões, sendo elas as entradas e saídas utilizadas pelo microcontrolador. As entradas analógicas utilizadas pelos sensores de tensão e corrente são respectivamente, os pinos (2) e (3) representados por “AN0 – TENSÃO” e por “AN1 – CORRENTE” e os pinos (1), (11) e (12) são utilizados para realizar a gravação no microcontrolador, ainda no pino (1) temos a função de Reset. Os pinos (4), (5), (15) e (16) são os pinos de saída (canais) que vão para o circuito de acionamento, sendo o pino (10) utilizado para indicar o funcionamento do microcontrolador através de um LED verde de indicação, os pinos (8) e (9) são responsáveis por envio de dados ao módulo bluetooth que enviara a um smartphone os pinos (13) e (17) são destinados a entrada de GND e os pinos (14) e (18) são utilizados para alimentação do MCU. Os pinos (6) e (7) são os que recebem o cristal de 20MHz.

A unidade de condicionamento de sinais (UCS) representada pelo módulo 3, como apresentado no item 3.9 tem o objetivo adquirir os sinais de tensão e corrente. A UCS é composta de dois circuitos sendo um responsável pelo tratamento do sinal de tensão e outro para o sinal de corrente. A Fonte de alimentação é destinada para a alimentação do amplificador LM358, proporcionando uma alimentação exclusiva para o filtro de modo a evitar interferência do circuito do MCU no circuito de filtragem a figura 3.19 apresenta o diagrama do circuito UCS. A figura 3.20 mostra a placa do circuito principal finalizada no qual apresenta os componentes na placa ilhada 15x15cm.

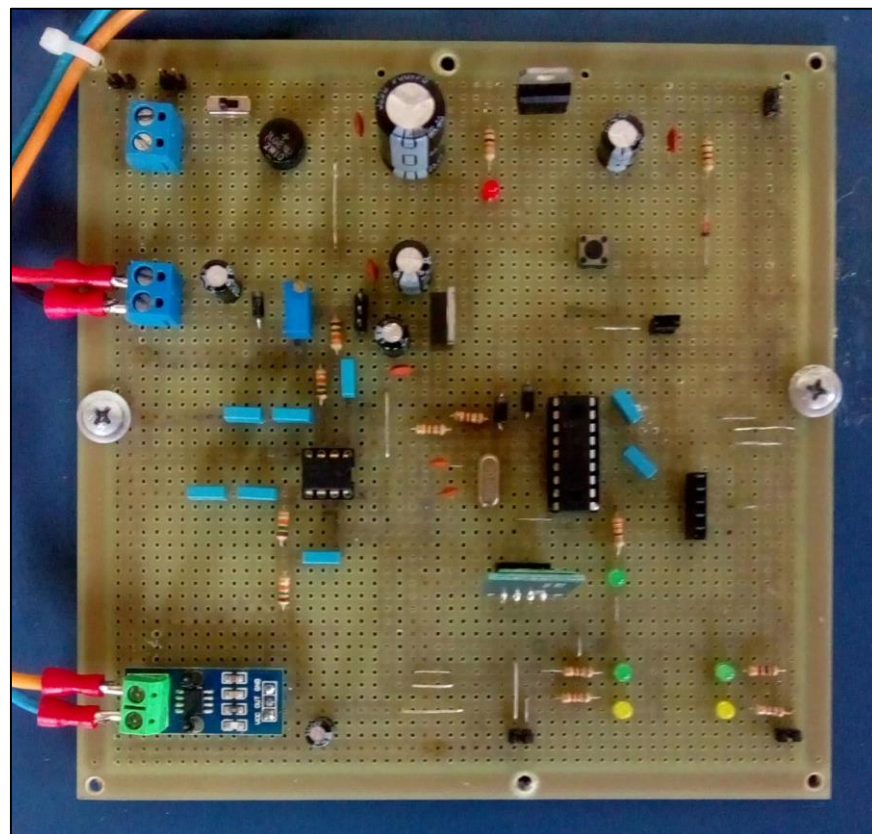
Figura 3.19 - Diagrama do circuito UCS

Unidade de Condicionamento de Sinal



Fonte: Autor,2019

Figura 3.20 - Circuito principal em placa ilhada



Fonte: Autor, 2019

3.10.1 Software

Segundo (COSTA; SERMANN; SILVA, 2016) O *software* é o programa que vai organizar e demonstrar os resultados obtidos, ele é executado em um aplicativo para smartphone. Através do *software* o usuário recebe uma serie de dados relacionado as cargas que estão sendo monitoradas como por exemplo os valores de tensão, corrente, frequência da rede elétrica, potência ativa, reativa, aparente, fator de potência, quantidade de capacitores e capacitância para correção armazenado no microcontrolador dsPIC30F3012. A figura 3.21 mostra a tela do dispositivo móvel. A comunicação entre o *software* e os sensores é executada via interface Bluetooth.

O aplicativo utilizado neste projeto foi desenvolvido no MIT app Inventor no qual ele consegue os dados de transação entre o módulo *bluetooth* e o protótipo.

Figura 3.21 - Design do aplicativo













Fonte: Autor,2019

3.10.2 Componentes do Aplicativo

Neste aplicativo serão usados

Quadro 3 - Componentes do Aplicativo

Componentes	Tipo	Nome da Variável	Função
	Label	IbITexto	Mostrar o módulo conectado.
	Button	btnConectar	Realizar conexão com server
	Button	btnConectar	Desconecta o server
 Notifier1	Notifier	Notifier1	Apresenta mensagens de alerta.
 acionaBluetooth	BluetoothClient	acionaBluetooth	Possibilitar a conexão com o server.
 ActivityStarter1	ActivityStarter1	ActivityStarter1	Responsável por ativar o server
 Clock1	Clock	Clock1	Relógio configurado para 100ms.
	Label	Informações da Rede	Informa os parâmetros da rede.
 Mecatrônica_Industrial	Label - Label	TCC - Curso	Apresenta o tipo de trabalho e o Curso
	Image1	Image1	Mostra a logo da Instituição.

Fonte: Autor,2019

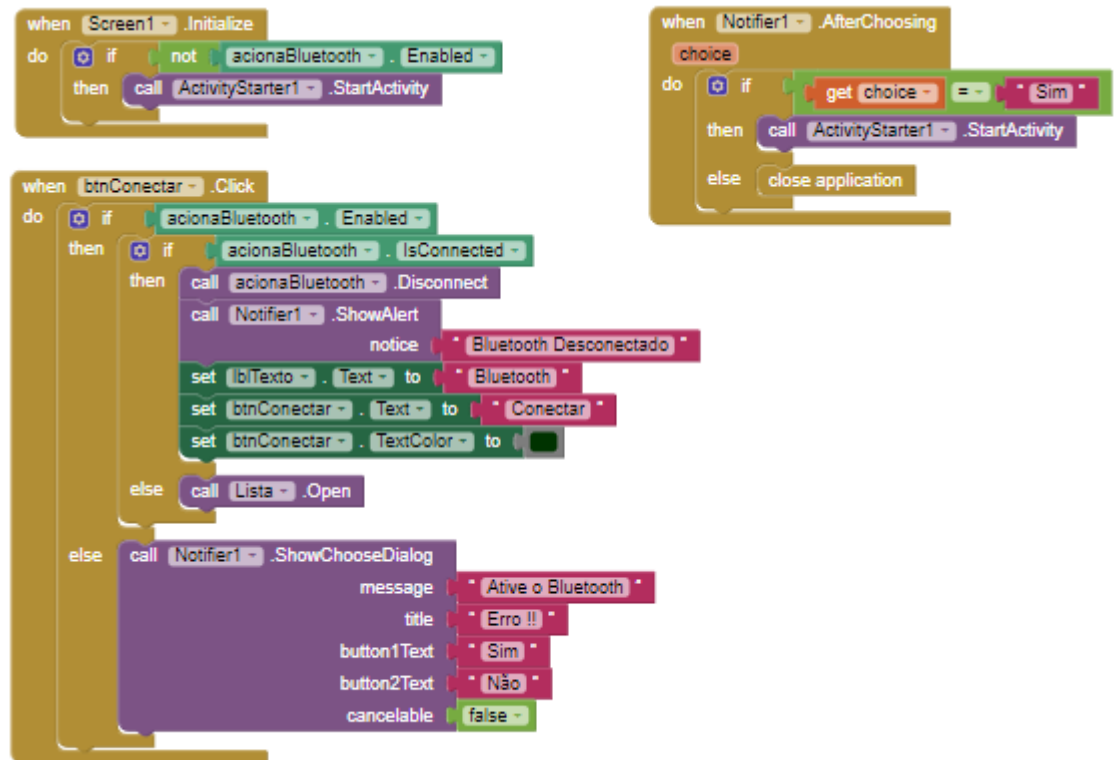
3.10.3 Código do Aplicativo

Depois de apresentar todos os elementos que farão parte do aplicativo, a arte de programação será apresentada, uma ressalva e importante nesse contexto pois o código ficou um tanto extenso será dividido em partes facilitando sua compreensão.

A primeira parte do código refere-se à conexão *Bluetooth*. Ao inicializar o aplicativo é feita uma checagem do status de ativação do *Bluetooth*, caso não esteja ativado, a “*Activity Starter*” irá solicitar sua ativação.

Quando o botão “Conectar” for clicado, se o *Bluetooth* estiver ativado e conectado, irá desfazer esta conexão, ou seja, a função inversa, senão será chamado o “List Picker1” ativando. E caso o *Bluetooth* estiver desativado, o “Notifier” nos mostrará uma mensagem solicitando sua ativação.

Figura 3.22 - configurando o Bluetooth do aplicativo

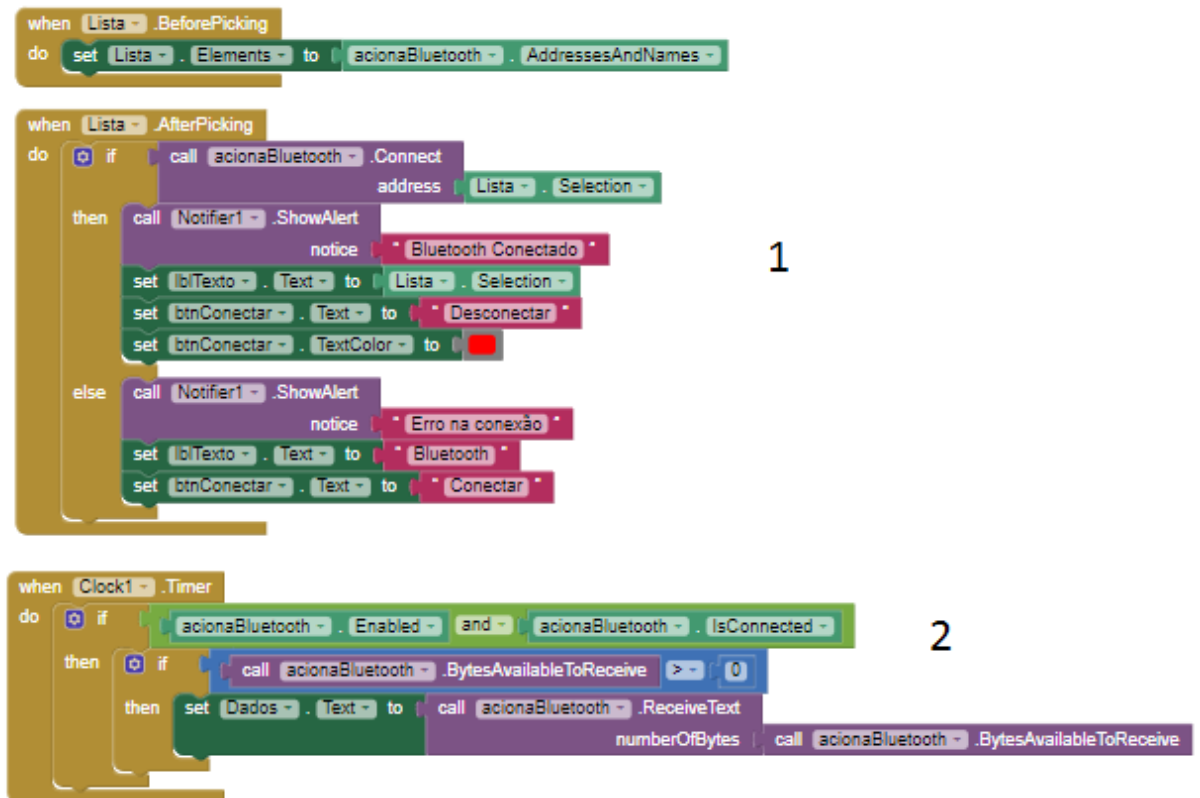


Fonte: Autor,2019

Após um endereço ser selecionado, o *Bluetooth* se conecta com este dispositivo, uma mensagem será mostrada dizendo que o *Bluetooth* está conectado a label “Bluetooth” informara o nome do módulo e o texto do botão conectar será modificado para “Desconectar” na cor vermelha. E caso não haja a conexão, será mostrada a mensagem dizendo que não foi possível conectar. Finalizando assim a parte 1 do código responsável pela conexão Bluetooth.

A parte 2 tem a função de receber os dados e apresentar na tela do dispositivo móvel. Bloco clock1 servirá para verificar de tempo em tempo se algum dado está sendo recebido pelo *Bluetooth* antes o if then verificar se o módulo está ativo e conectado, um comparador if inicia a leitura se o valor do byte seja maior que 0, desse modo é exibido os parâmetros da rede no dispositivo móvel.

Figura 3.23 - Configuração do Bluetooth e dados



Fonte: Autor,2019

3.10.4 Código fonte

O código fonte compilado pelo software MikroC é feito em linguagem de programação C, e gravado no microcontrolador dsPIC através de um hardware de gravação

Figura 3.24 - Ambiente de Desenvolvimento MikroC PRO



Fonte:Autor,2019

O programa foi desenvolvido para atender as necessidades do projeto, que visa a aquisição de amostras dos sinais de tensão e corrente de uma carga conectada à rede elétrica. (LIMA A. L., 2015).

O código inicia no comando `typedef struct divstruct` e `Idivstruct` que tem como objetivos obter os inteiros e os restos das estruturas de divisão referente a tensão e corrente. Prosseguindo no código o próximo passo consiste na declaração das variáveis globais no qual podem ser acessadas e alteradas por qualquer uma das funções do programa. Logo após a declaração das variáveis temos as funções auxiliares nesse projeto são as funções que auxiliam ou complementam a execução da função principal (*main*).

A função `void Init_ADC()` habilita o controle dos seis registradores de máquina ADC deste microcontrolador.

Quadro 4 - Programa em C que realiza a configuração do ADC

26	<code>void Init_ADC(){</code>
28	<code> ADCON1.ASAM=1;</code>
29	<code> ADCON1.B7=1;</code>
30	<code> ADCON1.B6=1;</code>
31	<code> ADCON1.B5=1;</code>
32	<code> ADCHS=0x0;</code>
34	<code> ADCON3=0x51F;</code>
35	<code> //ADCON3=0x1F3F;</code>
36	<code> ADCON2=0x404;</code>
38	<code> ADCON3.ADRC=0;</code>
39	<code> ADPCFG=0xFFFC;</code>
40	<code> ADCSSL=0x03;</code>
41	<code> ADCON1.ADON=1;</code>
43	<code> }</code>

Fonte: Autor,2019

A função dos registradores `ADCON1`, `ADCON2`, `ADCON3` é controlar o funcionamento do AD. O registrador `ADCHS` seleciona qual canal ficará selecionado em um dado instante. Já a função do registrador `ADPCFG` é configurar uma entrada de I/O como analógica ou digital e o registrador `ADSSL` é selecionar as entradas que ficarão sendo continuamente monitoradas.

A função `void Init_Interrupt()` faz o tratamento da interrupção do conversor ADC do μC , esse tratamento só pode ocorrer se for previamente programado e habilitado para que seja atendido. Toda vez que ocorrer uma interrupção, o programa será desviado para a função de tratamento. Uma interrupção tem associada a ela três registradores, o primeiro é referente a habilitação da interrupção, o segundo a ocorrência ou não da interrupção e o terceiro é referente a prioridade da interrupção. A seguir temos a função para o tratamento da interrupção

Quadro 5 - Programa em C que realiza a função Interrupção

45	void Init_Interrupt(){
46	INTCON1.NSTDIS=0; //Interrupção ADC
48	IEC0.ADIE=1;
49	IFS0.ADIF=0;
50	IPC2.B14=0;
51	IPC2.B13=1;
52	IPC2.B12=0; }

Fonte: Autor,2019

A função *void Init_Timer1()* faz a configuração do TIMER1 do μ C, tem o objetivo de gerar rotina de tempo que será de bastante utilidade para a função seguinte no qual podemos determinar a *void Freq_Rede_V(int k_mem, int Time)* que tem a finalidade de fornecer ao usuário o valor da frequência da rede da concessionária.

Quadro 6 - Função void Init_Timer1() em C

56	void Init_Timer1(){
58	T1CON.TSIDL=1;
59	T1CON.TGATE=0;
60	T1CON.B5=0;
61	T1CON.B4=0;
62	T1CON.TSYNC=0;
63	T1CON.TCS=0;
64	TMR1=0;
65	PR1=0xFFFF;
66	T1CON.TON=1;
68	}

Fonte: Autor,2019

Após a configuração dos registradores das funções auxiliares ADC, Interrupção ADC e TIMER1, as funções seguintes são as funções auxiliares que apresentar argumentos que devem ser inicializadas pelas funções que fez sua chamada. Aqui cada uma das variáveis deve possuir tipo e nome e serem separadas por virgulas. As funções auxiliares farão os cálculos de frequência, tensão, corrente, potência ativa, aparente, reativa, reativa corrigida, fator de potência, número de capacitores que serão necessários para a correção. O quadro 7 apresenta as funções auxiliares de corrente e tensão eficazes. Nota-se que as linhas 107 a 110 e 125 a 128 apresentam estruturas necessárias para o envio através da usart ao smatphone

Quadro 7 - Função auxiliar da corrente e tensão eficazes

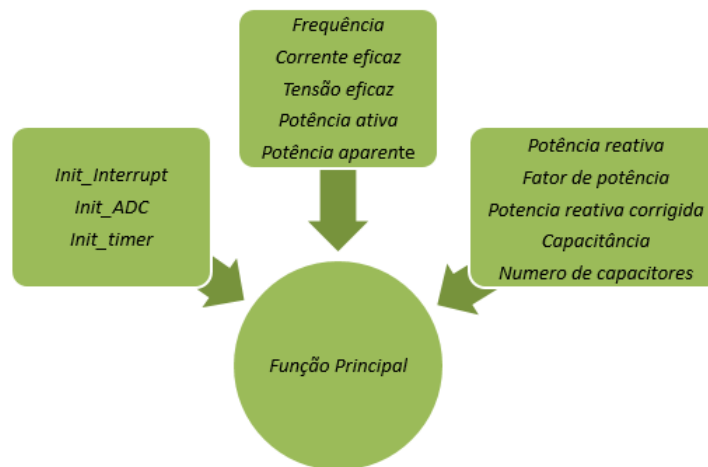
97	void Medicao_I (unsigned long Ieficaz){ // função auxiliar de corrente
99	inteiro_I=div(Ieficaz,54); // divisão da parte inteira da corrente, 54 representa a calibração do sensor
100	decimal_I=div(inteiro_I.rem*10,54);
101	parte_inteira=div(inteiro_I.quot,10);
102	decimal_2_I=div(decimal_I.rem*10,54);
104	parte_inteira1 = parte_inteira.quot;
105	parte_inteira2 = parte_inteira.rem;
107	Y1= Int_To_Char[parte_inteira1];
108	Y2= Int_To_Char[parte_inteira2];
109	Y3= Int_To_Char[decimal_I.quot];
110	Y4= Int_To_Char[decimal_2_I.quot];}
113	void Medicao_V(unsigned long Veficaz){ // função auxiliar da tensão
114	inteiro_V=div(Veficaz*10,91); //divisão da parte inteira da tensão,10,91 representa a calibração
115	decimal_V=div(inteiro_V.rem*10,91);
118	parte_inteira_a=div(inteiro_V.quot,100);
119	parte_inteira_b=div(parte_inteira_a.rem,10);
120	parte_inteira1 = parte_inteira_a.quot;
121	parte_inteira2 = parte_inteira_b.quot;
122	parte_inteira3=parte_inteira_b.rem;
125	Y1= Int_To_Char[parte_inteira1]; // estruturas que converte um numero inteiro de quatro algarismos em
126	Y2= Int_To_Char[parte_inteira2]; // em quatro variáveis afim de separar os algarismos
127	Y3= Int_To_Char[parte_inteira3];
128	Y4= Int_To_Char[decimal_V.quot];}

Fonte: Autor,2019

O programa proposto contém uma função principal no qual faz a inicialização de todas as tarefas designadas. Ele está modularizado nas funções auxiliares ADC, Interrupção do ADC e timer1 além das outras funções no qual é verificado o recebimento dos sinais dos circuitos tensão e corrente, caso esteja recebendo este sinal, o dsPIC inicia as leituras das entradas analógicas “AN0 e AN1”, essas leituras são executadas durante um período de um ciclo da rede e são feitas aproximadamente leituras de 300 pontos durante o período.

Após a amostragem do sinal, inicia-se o processamento de dados para o calcular os valores das grandezas elétricas do sistema conforme as funções auxiliares. O processamento de dados consiste em implementar numericamente as equações conhecidas para cálculo de valores eficazes de sinais periódicos.

Figura 3.25 - Função Principal



Fonte:Autor,2019

Cálculo de Tensão eficaz: O valor eficaz da tensão elétrica é adquirido pelo somatório da multiplicação entre si das amostras do sinal instantâneo da tensão, sendo o resultado dividido pela quantidade de amostras e posteriormente, extraída a raiz do resultado. O algoritmo desenvolvido, para a realização do processamento matemático está descrito na figura 3.26

Figura 3.26 - Algoritmo para o cálculo da Tensão Eficaz

```

//***** Calcular Valor Médio da Tensão
Soma_V=0;
for(j=0;j<=k_mem;j++)
{
Soma_V=Soma_V+Vetor_V[j];
}

Vmed= Soma_V/(k_mem+1);

//*****
//***** Calcular e Enviar Valor da Tensão Eficaz
Soma_V=0;

for(j=0;j<=k_mem;j++)
{
Soma_V=Soma_V+(Vetor_V[j]-Vmed)*(Vetor_V[j]-Vmed);
}
UART1_Write_Text("Veficaz= ");
Veficaz= Sqrt(Soma_V/(k_mem+1));
Medicao_V(Veficaz);

```

Fonte:Autor,2019

Cálculo de Corrente eficaz: Analogamente como é feito na tensão eficaz, a raiz da média dos valores quadrados da corrente é obtida, através dos valores instantâneos de corrente. O algoritmo desenvolvido, para a realização do processamento matemático está descrito na figura 3.27.

Figura 3.27 - Algoritmo para o cálculo da Corrente Eficaz

```

//***** Calcular Valor Médio da Corrente
Soma_I=0;
for(j=0;j<=k_mem;j++)
{
Soma_I=Soma_I+Vetor_I[j];
}
Imed= Soma_I/(k_mem+1);
//*****
//***** Calcular e enviar Valor Eficaz da Corrente
Soma_I=0;
for(j=0;j<=k_mem;j++)
{
Soma_I=Soma_I+(Vetor_I[j]-Imed)*(Vetor_I[j]-Imed);
}
UART1_Write_Text("Ieficaz= ");
Ieficaz= Sqrt(Soma_I/(k_mem+1));
Medicao_I(Ieficaz);

```

Fonte: Autor,2019

Potência Aparente: O produto entre a tensão eficaz e a corrente eficaz resulta no valor da Potência Aparente conforme apresentado no capítulo 2 seção 2.4.3.

$$S = V_{RMS}I_{RMS} \quad (25)$$

Um simples algoritmo para o cálculo da potência aparente pode ser visto na figura 3.28

Figura 3.28 - Algoritmo para o Cálculo da Potência Aparente

```

//**** Calcular e Enviar Valor da Potência Aparente

UART1_Write_Text("Potencia Aparente= ");

P_Aparente=Veficaz*Ieficaz;

Medicao_P_Aparente_Ativa(P_Aparente);

UART1_Write(Y1);
UART1_Write(Y2);
UART1_Write(Y3);
UART1_Write(Y4);
UART1_Write('.');
UART1_Write(Y5);
UART1_Write(' ');
UART1_Write('V');
UART1_Write('A');

UART1_Write(0x0D);
//****

```

Fonte: Autor,2019

Potência Ativa: Os valores instantâneos de corrente e tensão medidos são multiplicados entre si, obtendo-se o valor de potência instantânea. Este é somado um número de vezes igual ao número de amostras e esta soma total, dividida por esta quantidade de amostras, resultando na

média dos valores de amostras. Na figura 3.29 pode ser visto o algoritmo para o cálculo de potência ativa.

Figura 3.29 - Algoritmo para o Cálculo da Potência Media ou Ativa

```

//**** Calcular e Enviar o Valor da Potência Ativa

UART1_Write_Text("Potencia Ativa= ");
Soma_P = 0;
for(j=0;j<=k_mem;j++){
Soma_P = Soma_P + (Vetor_I[j]-Imed)*(Vetor_V[j]-Vmed);
}

P_Ativa = Soma_P/(k_mem+1);

Medicao_P_Aparente_Ativa(P_Ativa);

UART1_Write(Y1);
UART1_Write(Y2);
UART1_Write(Y3);
UART1_Write(Y4);
UART1_Write('.');
UART1_Write(Y5);
UART1_Write(' ');
UART1_Write('W');

UART1_Write(0x0D);
//*****

```

Fonte: Autor,2019

Fator de potência: É calculado pela razão da potência ativa pela potência aparente, figura 3.30.

Figura 3.30 - Algoritmo para Cálculo do Fator de Potência

```

//**** Calcular e Enviar o Fator de Potência
UART1_Write_Text("FP= ");

Medicao_fp(P_Ativa, P_Aparente);

UART1_Write(Y1);
UART1_Write('.');
UART1_Write(Y2);
UART1_Write(Y3);

UART1_Write(0x0D);
//*****

```

Fonte:Autor,2019

Potencia reativa: Como visto no capítulo dois é a potência que não realiza trabalho. O algoritmo para realizar o processamento é visto na figura 3.31.

Figura 3.31 - Algoritmo para o Cálculo de Potência Reativa

```

//*****Calcular e Enviar a Potência Reativa
UART1_Write_Text("Potencia Reativa= ");
P_R =100*P_Aparente/P_ATiva;
P_R2 = P_R*P_R;

//P_Reativa = 100*sqrt(P_Aparente*P_Aparente-P_Ativa*P_Ativa)/P_Ativa;//-42*P_Ativa;
P_Reativa = P_Ativa*sqrt(P_R2-10000);
if(P_Reativa>=42)
{
P_Reativa_Corrigida=(P_Reativa - 42*P_Ativa);
}
else
{
P_Reativa_Corrigida=0;
}

Medicao_P_Reativa(P_Reativa);

```

Fonte: Autor,2019

Figura 3.32 - algoritmo para o Cálculo de Potência Reativa Corrigida

```

//***** Enviar Potencia Reativa para ser Corrigida
UART1_Write_Text("Potencia Reativa Corrigida= ");
Medicao_P_Reativa(P_Reativa_Corrigida);

UART1_Write(Y1);
UART1_Write(Y2);
UART1_Write(Y3);
UART1_Write(Y4);
UART1_Write('.');
UART1_Write(Y5);
UART1_Write(' ');
UART1_Write('V');
UART1_Write('A');
UART1_Write('r');

UART1_Write(0x0D);

```

Fonte:Autor,2019

Ao corrigir o fator de potência diminui o dreno de corrente da fonte geradora. Liberando assim a capacidade elétrica da instalação. A figura 3.33 e 3.34 mostra o algoritmo para realizar o processamento matemático da capacitância e da quantidade de capacitor.

Figura 3.33 - Algoritmo para Cálculo da Capacitância

```

//****Calcular Capacitância em uF e Enviar
temp_1= 100000000/(628*60);
temp_2=P_Reativa_Corrigida/Veficaz;
Capacitor = temp_1*temp_2/Veficaz;
UART1_Write_Text("Capacitor= ");
Capacitancia(Capacitor);

UART1_Write(Y1);
UART1_Write(Y2);
UART1_Write(Y3);
//UART1_Write(Y4);
UART1_Write('.');
UART1_Write(Y4);
UART1_Write(' ');
UART1_Write('u');
UART1_Write('F');

UART1_Write(0x0D);
//*****

```

Fonte:Autor,2019

Figura 3.34 - Algoritmo para Calcular quantidade de Capacitores

```

//****Calcular quantidade de Capacitores
Capacitor_Ref = 10*54*1000/91;
N_Capacitor = Capacitor/Capacitor_Ref;
Y1= Int_To_Char[N_Capacitor];

UART1_Write_Text("Quantidade de Capacitores= ");
UART1_Write(Y1);
UART1_Write(0x0D);
    switch (N_Capacitor){
case 0:
latb.rb2=0; latb.rb3=0; latb.rb6=0; latb.rb7=0;
break;
case 1:
latb.rb2=0; latb.rb3=0; latb.rb6=1; latb.rb7=0;
break;
case 2:
latb.rb2=0; latb.rb3=0; latb.rb6=1; latb.rb7=1;
break;
case 3:
latb.rb2=0; latb.rb3=1; latb.rb6=1; latb.rb7=1;
break;
case 4:
latb.rb2=1; latb.rb3=1; latb.rb6=1; latb.rb7=1;
break;
}

```

Fonte:Autor,2019

3.11 CIRCUITO DE ACIONAMENTO

O circuito de acionamento é encarregado por inserir os capacitores na rede de acordo com o número de capacitores utilizados na correção do fator de potência definido pelo MCU, é constituído por um conjunto de quatro optoacoplador 4N25 e quatro relés eletromecânico de 5V e 71,4mA da Songle Relay. A partir de uma lógica de controle o sinal de acionamento é gerado pelo dsPIC30F3012 que alimenta o optoacoplador.

“Os optoacopladores são utilizados para isolar a alimentação dos relés da alimentação do sistema de controle e de aquisição de dados, com o objetivo de impedir que possíveis ruídos provenientes dos relés atrapalhem o correto funcionamento do microcontrolador” (ALVES, 2016). O sinal de saída do acoplador polariza o transistor Q2. Como a corrente nominal necessária para acionar o relé de aproximadamente 30mA, uma amplificação é necessária e realizada através do 2N2222A (transistor de junção bipolar NPN).

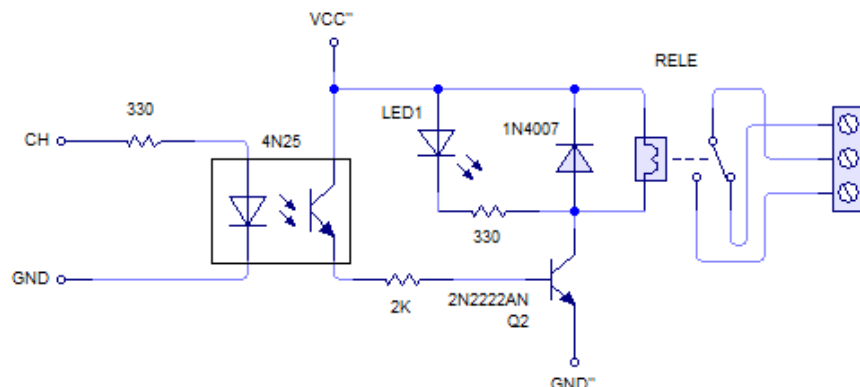
Para o transistor 2N2222A o valor do ganho (β) varia entre 35 a 100. A corrente do coletor deve ser de 71,4mA, como já mencionado, resultando na equação para obtenção da corrente na base do transistor, abaixo (BOYLESTAD ; NASHELSKY, 2004)

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{0,0714}{50} = 1,428mA$$

Para uma corrente de 1,428mA na saída do optoacoplador é preciso determinar a resistência mínima entre terminal base e optoacoplador, sendo a queda de tensão necessária de 5V subtraído da tensão de polarização direta (0,7 para silício, material do transistor). A equação abaixo apresenta esta relação:

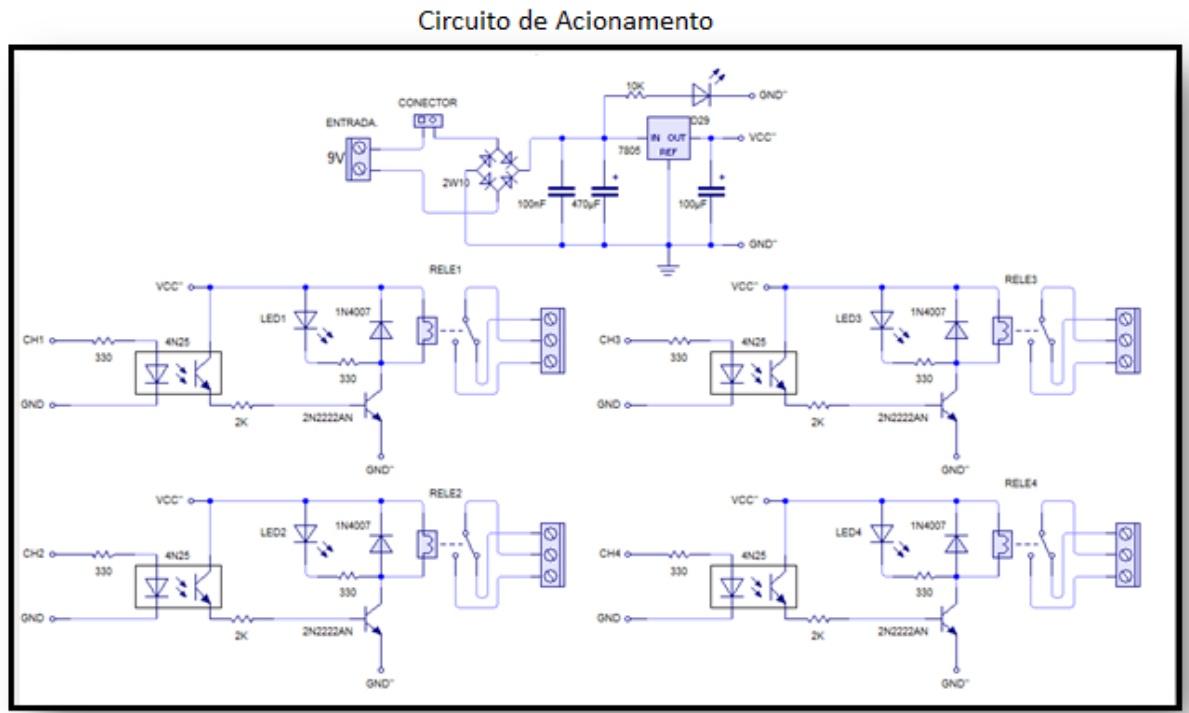
$$R_{Base} = \frac{V}{I_B} \rightarrow \frac{5 - 0,7}{1,428 \times 10^{-3}} = 3,01k\Omega$$

Figura 3.35 - Circuito de Acionamento



A função do diodo é de não conduzir em polarização reversa, sendo utilizado o 1N4007 como diodo flyback para bloquear o pico de tensão. Os LED's presentes são usados para indicar visualmente o acionamento do relé.

Figura 3.36 - Circuito de relé



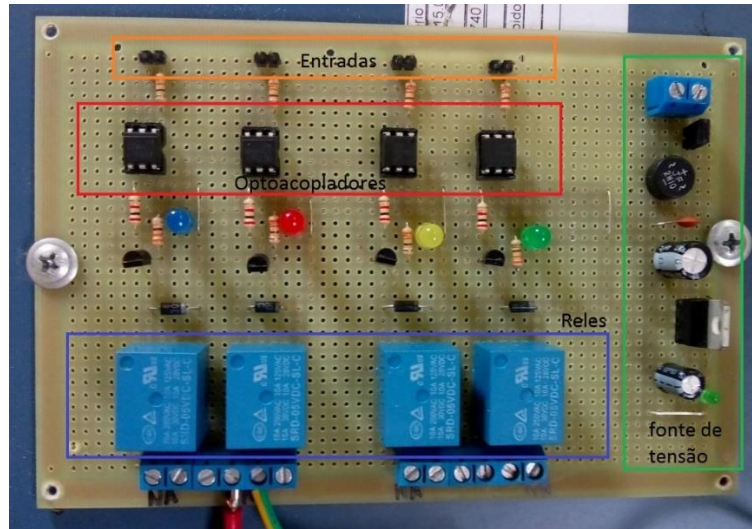
Fonte: Elaborado pelo autor no software livewire,2019

Na figura 3.36, o circuito de acionamento é representado por dois circuitos secundários sendo um responsável pela alimentação e o outro pelo chaveamento dos relés. A fonte de alimentação é exclusiva para a placa de acionamento, na qual é responsável por alimentar os relés, os pinos de entrada recebem as instruções provenientes do microcontrolador no qual é responsável por enviar o sinal obtido para acionar os capacitores via relé. Os pinos de (4), (5), (15) e (16) acionam os acopladores ópticos 4N25, que por sua vez, acionam os relés presentes no circuito.

O circuito de chaveamento é composto por quatro relés, ambos são representados da mesma forma. O sinal de acionamento proveniente do dsPIC30F3012 é vindo pelo canal “CH1”, que é responsável por ativar o optoacoplador 4N25, após receber o acionamento, o sinal é amplificado pelo transistor “Q2” para que a corrente nominal seja a necessária para acionar o relé “RELE1”.

Para o protótipo, foram escolhidos relés de 10A de capacidade de contato, já que contempla uma corrente acima requerida pelos capacitores preservando a sua vida útil. A figura 3.37 mostra a placa de acionamento montada em uma placa ilhada 10x15cm. (AUGUSTO, 2010).

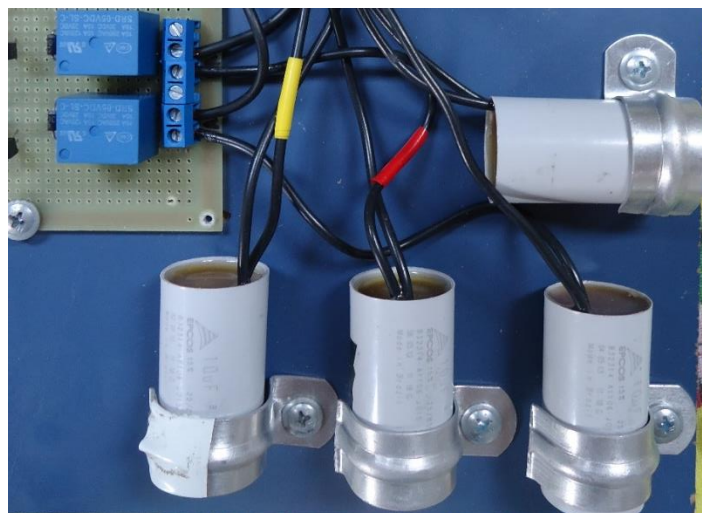
Figura 3.37 - Circuito de Acionamento em Placa Ilhada



Fonte:Autor,2019

A função do capacitor é suprir potência reativa ao sistema ou parte do sistema ao qual está ligado. O presente trabalho utiliza quatro capacitores de referência de polipropileno de $10\mu\text{F} / 250\text{V}$. Todos os quatro capacitores são acoplados em paralelo com a carga. Os capacitores foram todos ligados ao neutro e o acoplamento da fase é feito pelo relé. A montagem final do banco pode ser vista na Figura 3.38.

Figura 3.38 - Disposição dos Capacitores



Fonte: Autor,2019

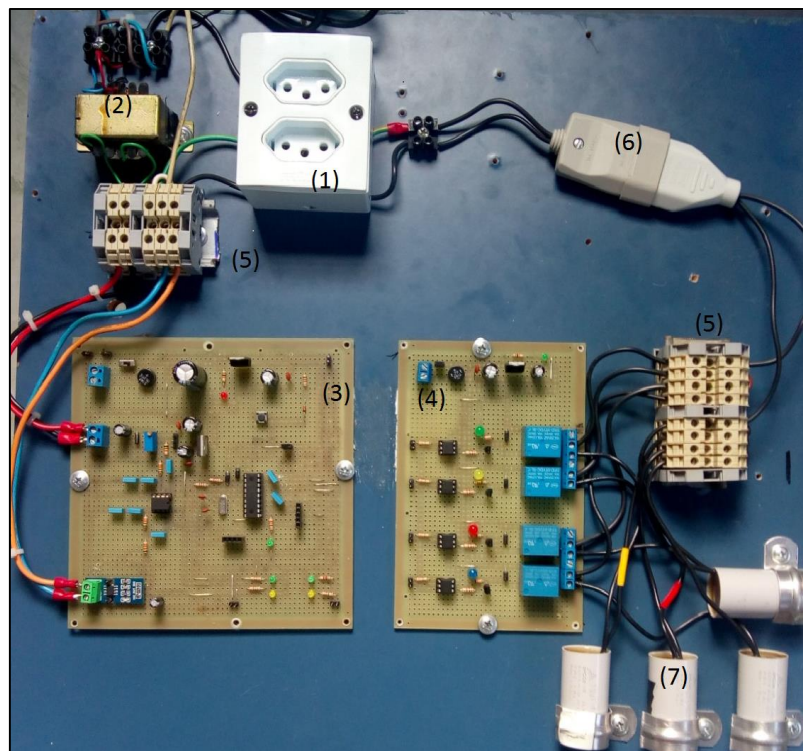
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são verificadas e demonstradas as etapas de elaboração do protótipo e a execução dos testes para validação. As etapas consistem em realizar testes com um medidor de referência e comparar com o protótipo no qual é testado seu comportamento. E por fim o circuito de acionamento, é testado a confiabilidade do acionamento dos relés assim como o acionamento dos capacitores.

4.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

No processo de idealização do protótipo houve a necessidade de uma maior organização e flexibilidade referente a construção do projeto. O protótipo foi construído para adquirir os valores de tensão e corrente, considerando um circuito monofásico, através desses dados foi possível realizar uma programação para chegar em outros parâmetros que serão analisados pelo protótipo.

Figura 4.1 - Protótipo montado em MDF



Fonte:Autor,2019

Para a montagem do protótipo foi utilizado um pedaço de MDF para a fixação dos periféricos, sendo eles: uma tomada dupla (1) para ligar os equipamento a ser medido, transformador abaixador (2) destinada a abaixar o nível de tensão, placas de circuito impresso (3) onde encontra-se o circuito principal em conjunto com os circuitos dos sensores e circuito de acionamento (4) onde estão os relés, Borneiras (5) que fazer a conexão, plug macho e fêmea (6) conexão da rede com as borneiras de acionamento e capacitores (7) destinados a correção do fator de potência quando acionados pelo rele correspondente.

4.2 EQUIPAMENTOS USADOS PARA VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

4.2.1 Alicate Amperímetro

Figura 4.2 - Alicate Amperímetro HA-300



Fonte: Ponto da Eletronica,2019

Características

Padronização:

CAT. II do padrão IEC 1010

Taxa de Amostragem:

3 vezes/s

Corrente CA:

-Faixa 20A

-Precisão 2,0%

-Resolução 10mA

4.2.2 Medidor de Referência

Figura 4.3 - Medidor de Referência



Fonte: Mercado Livre,2019

Características

Fase Elétrica:

Monofásica

Corrente Máxima:

100A

Corrente Mínima:

1A

4.3 TESTE DO PROTÓTIPO

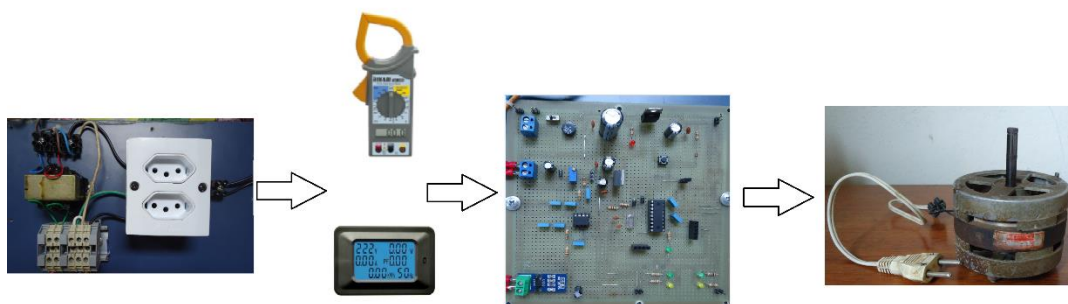
Todo o arranjo experimental proposto foi desenvolvido conforme apresentado anteriormente. Os circuitos eletrônicos foram montados em placas ilhadas. O aplicativo é composto por rotina de comunicação entre o MCU, Bluetooth e dispositivo móvel.

Para demonstração comportamental dos circuitos que compõe o protótipo, foram utilizadas cargas distintas: como uma carga puramente resistiva como o ferro de solda; carga reativa com dois motores.

O método utilizado para aferição das medições coletadas do referido projeto, foi de comparação. Para demonstração foi utilizado um alicate amperímetro digital da marca Hikari, modelo HA-300 e um medidor de referência, como base de leitura para comparação. Os dois circuitos de sensoriamento utilizados no experimento e o alicate amperímetro em conjunto com o medidor de referência foram instalados na mesma fase de alimentação das cargas.

O circuito de condicionamento de tensão foi conectado em paralelo com a carga e o circuito do sensor de corrente em serie com a mesma.

Figura 4.4 - Diagrama de conexões



Fonte: Autor2019

Como visto anteriormente foram feitos testes usando primeiramente o alicate amperímetro com a finalidade de calibrar os valores de tensão e corrente no protótipo. Feito a calibração do protótipo o próximo teste foi utilizado o medidor de referência para obter os valores de tensão, corrente, potência ativa e fator de potência. A figura 4.5 mostra as cargas utilizadas nos testes. A tabela 2 demonstra as leituras obtidas com o medidor de referência.

Figura 4.5 - Cargas: 1- 1-Ferro de solda; 2-Motor 1; 3-Motor 2



Fonte:Autor,2019

Tabela 2 – Valores obtidos com medidor de Referência

<i>Parâmetros / Carga</i>	<i>Ferro de solda</i>	<i>Motor 1</i>	<i>Motor 2</i>	<i>Motor1,2</i>
<i>Tensão (V)</i>	124	124	124	124
<i>Corrente (A)</i>	0,17	1,10	0,56	1,56
<i>Potência Ativa (W)</i>	20,79	79,71	50,30	127,4
<i>Fator de Potência</i>	0,99	0,58	0,72	0,66

Fonte: Autor,2019

As cargas são conectadas no sistema, em seguida os valores são apresentados na tela do smartphone conforme a figura 4.6.

A tabela 3 representa os valores adquiridos nos testes das cargas com o protótipo.

Tabela 3 - Valores obtidos com o protótipo

<i>Parâmetros / Carga</i>	<i>Ferro de Solda</i>	<i>Motor 1</i>	<i>Motor 2</i>	<i>Motor1,2</i>
<i>Tensão (V)</i>	123,9	123,5	123,5	123,4
<i>Corrente (A)</i>	0,12	0,98	0,51	1,38
<i>Potência Ativa (W)</i>	16,7	71,3	48,1	113,9
<i>Fator de Potência</i>	1,04	0,58	0,75	0,66

Fonte: Autor,2019

Visto isto, a tabela 4 apresenta a diferença entre o fator de potência obtidos pelo medidor de referência e pelo protótipo proposto antes da correção.

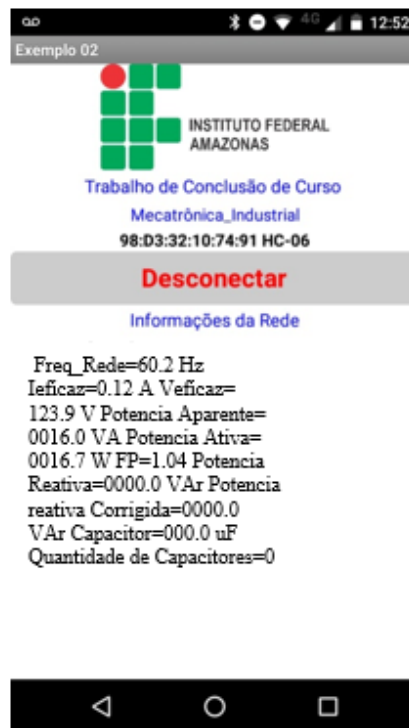
Tabela 4 - Diferença entre fatores de Potência

<i>Carga</i>	<i>Fator de Potência</i>		
	<i>Medidor de referencia</i>	<i>Protótipo</i>	<i>Diferença</i>
<i>Ferro de solda</i>	0,99	1,04	-0,05
<i>Motor 1</i>	0,58	0,58	0,00
<i>Motor 2</i>	0,72	0,75	-0,03
<i>Motor 1,2</i>	0,66	0,66	0,00

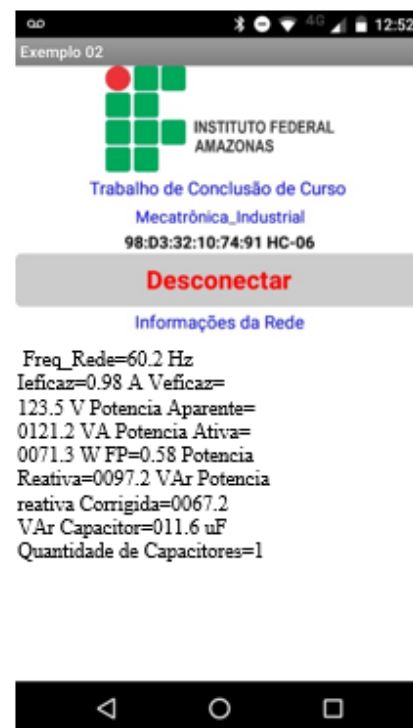
Fonte:Autor,2019

Figura 4.6 - Valores adquiridos com o protótipo

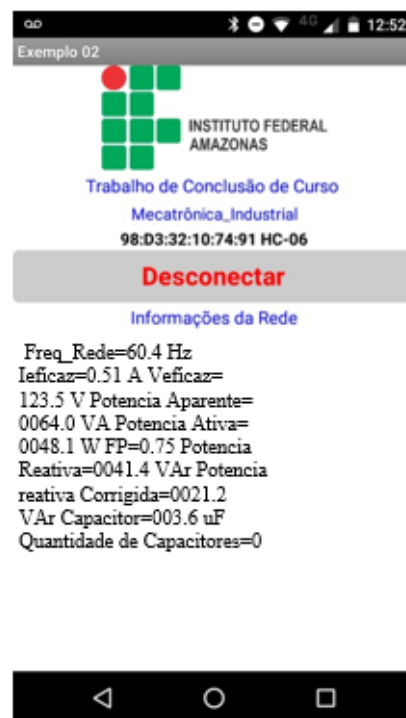
Ferro de Solda



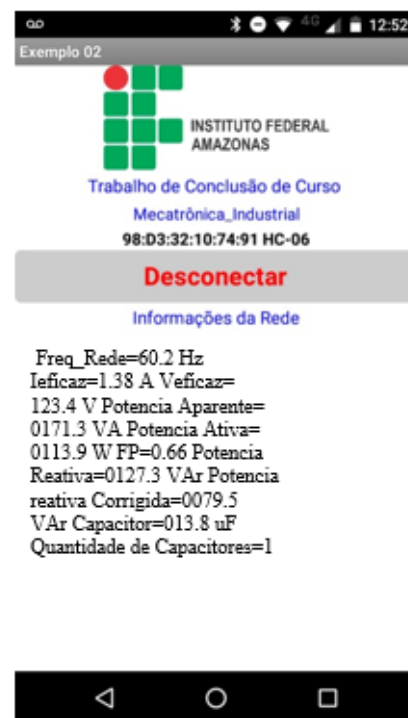
Motor 1



Motor 2



Motor 1 e Motor2



Em seguida, foi simulado o funcionamento completo das cargas, com o acionamento dos capacitores. As cargas foram acrescentadas ao sistema de forma individual e também combinadas com o intuito de comparar valores dos fatores de potência e assim verificar o funcionamento da correção. O acionamento dos capacitores consiste em selecionar a melhor configuração dos capacitores. O medidor de referência nesse próximo passo tem a finalidade de demonstrar ao usuário os valores corrigidos quando determinado capacitor é acionado.

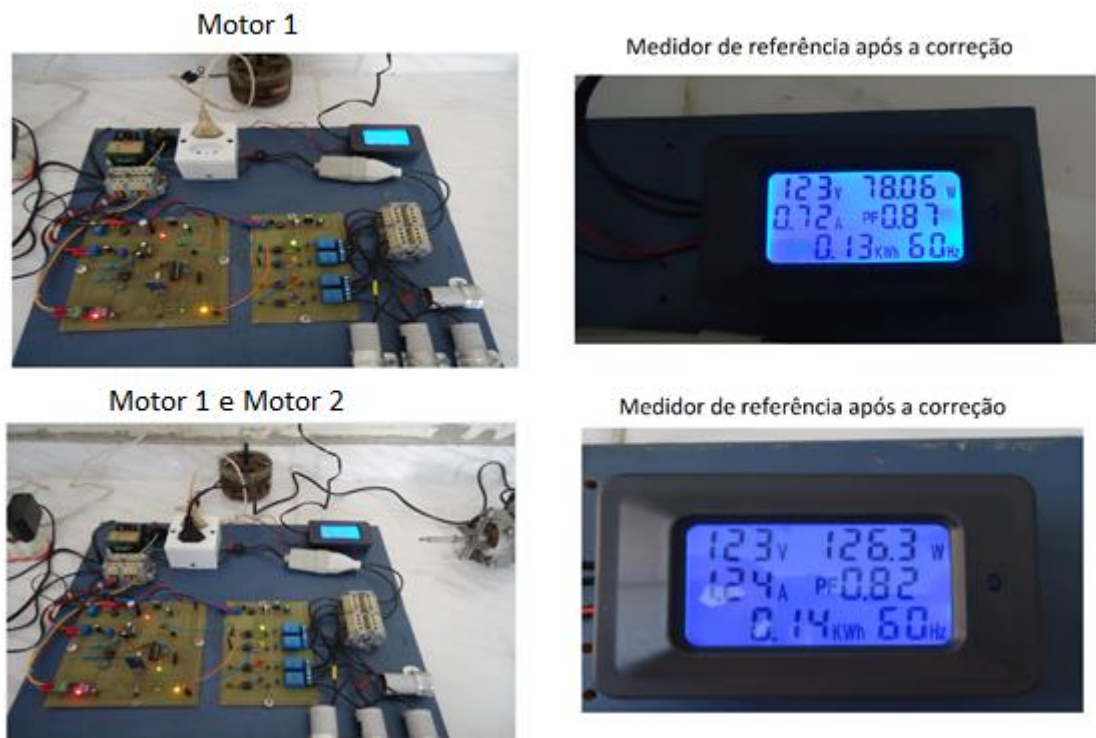
Os valores obtidos do fator de potência corrigido dos testes, estão detalhados na tabela 5, no qual apresenta os valores mostrados no medidor de referência após a inserção de capacitores.

Tabela 5 - Valores medidos com o medidor de referência após a correção

<i>Parâmetros / Carga</i>	<i>Ferro de solda</i>	<i>Motor 1</i>	<i>Motor 2</i>	<i>Motor1,2</i>
<i>Tensão (V)</i>	124	123	123	123
<i>Corrente (A)</i>	0,17	0,72	0,53	1,24
<i>Potência Ativa (W)</i>	20,63	78,06	49,28	126,3
<i>Fator de Potência</i>	0,99	0,87	0,75	0,82

Fonte: Autor,2019

Figura 4.7 - Protótipo durante a correção

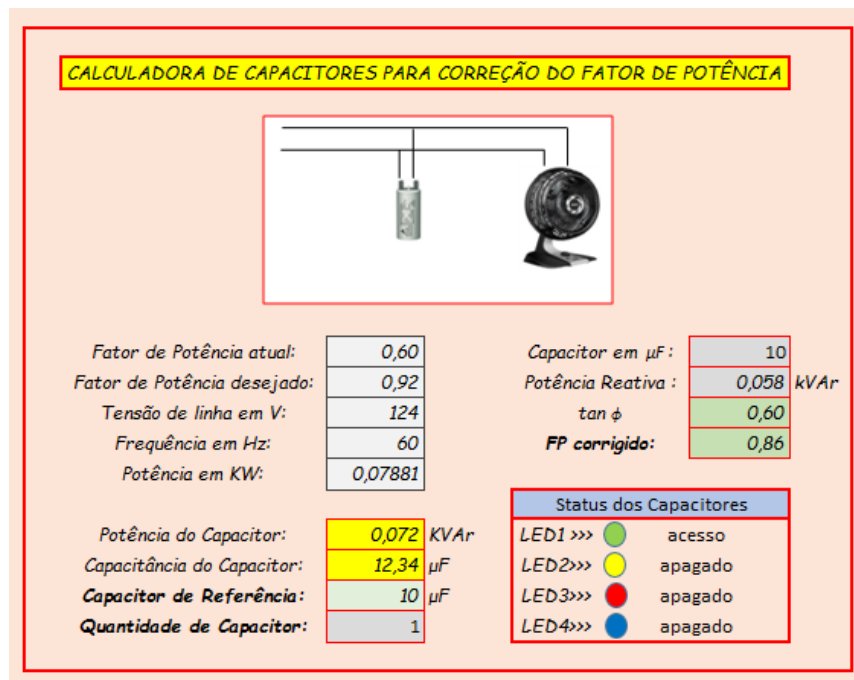


Fonte: Autor,2019

A figura 4.8 representa a calculadora de capacitores para correção do fator de potência desenvolvida no Excel no qual foi usada nesse trabalho com o objetivo de comparar o resultado

que o protótipo apresenta, tendo como base os valores obtidos na tabela 2. A calculadora calcula o valor da potência reativa corrigida, valor do capacitor necessário para a correção e o fator de potência corrigido, também sinaliza por meio dos LEDs quais capacitores devem ser acionados para efetuar a correção das cargas, tendo como referência o capacitor de $10\mu\text{F}$, caso o valor de capacitor esteja abaixo do valor de referência ela mostrara que todos estarão apagados, caso contrário mostrar quais os LEDs serão acionados.

Figura 4.8 - Calculadora de Capacitores para correção de FP



Fonte: Autor, 2019

Tabela 6 - Status dos capacitores

<i>Cargas</i>	<i>Fator de Potência</i>	<i>Bancos Ativos</i>
<i>Ferro de solda</i>	<i>0,99</i>	<i>-</i>
<i>Motor 1</i>	<i>0,87</i>	<i>C1</i>
<i>Motor 2</i>	<i>0,75</i>	<i>-</i>
<i>Motor 1,2</i>	<i>0,82</i>	<i>C1</i>

Fonte: Autor, 2019

A tabela 7 mostra quais capacitores ficaram ativos após a correção tendo como parâmetros os fator de potência apresentados pelo protótipo após a correção. Podemos observar que o sistema se comportou de maneira esperada acionando os capacitores de referência conforme mostrado pelo smartphone e também como foi calculado através da calculadora de capacitores para correção do fator de potência. Cabe ressaltar que o fator de potência corrigido não consegue ficar exatamente em 0,92 pois o projeto usa capacitores de referência, dessa

maneira uma correção precisa faz se necessário o uso de capacitores intermediários para essa aplicação.

A tabela 8 é possível observar as diferenças entre os valor mínimo do fator de potência que a ANEEL estabelece com o valor obtido pelo medidor de referência após a correção.

Tabela 7 – Diferença entre o valor da Legislação e o medidor de referência.

<i>Fator de Potência</i>			
<i>Carga</i>	<i>Legislação</i>	<i>Medidor de referência</i>	<i>Diferença</i>
<i>Ferro de solda</i>	0,92	0,99	-
<i>Motor 1</i>	0,92	0,87	0,05
<i>Motor 2</i>	0,92	0,75	0,17
<i>Motor 1,2</i>	0,92	0,82	0,10

Fonte: Autor,2019

Com o objetivo de se estabelecer as características reais de funcionamento do protótipo foi determinado o erro percentual relativo das medições do fator de potência, tomando como referência o valor medido com protótipo e o valor de referência do medidor de referência. Para determinação do erro percentual relativo considerou as seguintes condições.

- Cargas variáveis;
- Erro médio do medidor de referência de 1%;
- Erro relativo percentual de acordo com a equação abaixo:

$$e(\%) = \frac{\text{valor de referencia} - \text{valor medido}}{\text{valor de referencia}} \times 100 \quad (26)$$

Os valores obtidos estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Percentual de Erro

<i>Carga</i>	<i>Medidor de referência</i>	<i>Protótipo</i>	<i>Erro (%)</i>
<i>Ferro de solda</i>	1,00	1,04	-4,00
<i>Motor 1</i>	0,59	0,58	1,69
<i>Motor 2</i>	0,73	0,75	-2,73
<i>Motor 1,2</i>	0,67	0,66	1,49

Fonte:Autor,2020

Nota-se que os erros relativos do fator de potência das cargas estão em uma faixa de -4% a +1,69%. Esses erros são devidos a calibração e aos erros de precisão dos cálculos realizados pelo microcontrolador.

5 CONCLUSÃO

A correção do fator de potência vem ganhando cada vez mais relevância no setor elétrico, pois agrega benefícios ao setor industrial e ao meio ambiente, visto que resulta em minimizar custos, significando uma qualidade maior de energia evitando perdas e gerando assim uma aumento da vida útil da instalação.

Este trabalho teve como objetivo, baseia-se no monitoramento e correção do fator de potência de motores monofásicos utilizando um aplicativo desenvolvido no App Inventor, um microcontrolador de alto desempenho, um sensor de corrente de grande aplicação, um circuito grampeador de tensão utilizando diodo e o uso de capacitores de referência para correção por se tratar de uma solução barata e eficaz.

O protótipo foi construído baseando-se em um projeto simples e montado com componentes eletrônicos de baixo custo, apesar da simplicidade o mesmo apresentou resultados satisfatórios comparados com um medidor de referência. Apesar de ter uma boa aproximação da tensão, corrente, frequência, é necessário melhorar a aproximação do fator de potência corrigido conforme a legislação vigente, já que o protótipo utilizou capacitores de referência, mesmo assim concluiu-se que a correção do fator de potência de motores pela inserção de capacitores traz um significativo aumento da eficiência energética e uma redução na corrente da instalação.

De modo geral o trabalho cumpriu com o objetivo proposto.

5.1 TRABALHO FUTURO

Com base nos resultados obtidos os encaminhamentos futuros são os seguintes:

- Expandir o banco de capacitores com valor de referência intermediário para uma melhor precisão do fator de potência corrigido.
- Desenvolver um sistema de controle de fator de potência similar somente para motores trifásicos.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Rômulo Oliveira. **Análise de Circuitos em Corrente Alternada**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

ALEXANDER, Charles K.; MATTHEW N.O.Sadiku. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ALVES, Higor Roberto. *Otimização do fator de potência utilizando banco de capacitores automatizado*. Trabalho de Conclusão de Curso - FATECS. Brasília, 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414**. [S.l.]: [s.n.], 2010.

AUGUSTO, Thiago Rider. *Controlador para correção do fator de potência com microcontrolador*. Trabalho de Conclusão de Curso - FATECS. Brasília, 2010.

BARRETO, Guilherme Pimenta. *Sistema de monitoramento e controle de consumo de energia elétrica para uma residência*. Trabalho de Conclusão de Curso - FATECS. Brasília, 2015.

BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luiz. **Geração, Transmissão Distribuição e Consumo de Energia Elétrica**. São Paulo: Erica, 2014.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY Louis. **Dispositivos Eletrônicos: E Teoria de Circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2004.

COSTA, Alysson Percicotty da, Fernanda Ciliello SERMANN e Gustavo Grzybowski da SILVA. *Desenvolvimento de um protótipo para medição de energia elétrica*. Trabalho de Conclusão de Curso - UTPR. Curitiba, 2016.

DORF, Richard C.; SVOBODA James A. **Introdução Aos Circuitos Elétricos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

EDMINISTER, Joseph A. **Circuitos Elétricos**. São Paulo: Makron: McGraw-Hill, 1991.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FLARYS, Francisco. **Eletrotécnica Geral**: Teoria e Exercícios Resolvidos. São Paulo:Manole, 2006.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. São Paulo: Érica, 2008.

GARCIA, Gilvan Antônio; ALMEIDA, José Luiz Antunes de. **Sistemas Eletroeletrônicos**: Dispositivos e Aplicações. São Paulo:Erica, 2014.

GOMÉZ, Luiz Alberto; SOUZA, Antonio Carlos de. **Criando Aplicativos Android no MIT App Inventor**. Florianópolis: Visual Books,2014.

IRWIN, David, J.; NELMS R. Mark. **Análise Básica de Circuitos para Engenharia**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HART, Daniel W. **Eletrônica de Potência**: Analise e projetos de circuitos. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LIMA, Alison Lins de. *Desenvolvimento de um sistema para aquisição e processamento de sinais utilizando a plataforma tivaware para aplicações em smart grid. Dissertação*(Dissertação em Engenharia Elétrica) - UFPB. João Pessoa, 2015.

LIMA, Marcelo Antonio Alves. *Desenvolvimento de um sistema de medidas em tempo real de tensão corrente, potência e energia conectado a porta paralela do computador*. Trabalho de Conclusão de Curso - UFV. Viçosa - MG, 2007.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MARKUS, Otávio. **Circuitos Elétricos**: Corrente Contínua e Corrente Alternada. São Paulo: Érica, 2001.

MIYADAIRA, Alberto Noburu. **Microcontroladores PIC18**: Aprenda e Programe em Linguagem C. São Paulo: Érica,2009.

MORAIS, Valdemar Carlos de . **Eletricista Instalador Predial**. Santa Cruz do Rio Pardo,SP: Viena, 2013.

NILSON, Riedel. **Circuitos Elétricos**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

NISKIER, Júlio. **Manual de Instalações Elétrica**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

OLIVEIRA, Lucas Antônio Calixto de. *Correção automática do fator de potência para indústrias*. Monografia de Graduação em Engenharia Elétrica - UFOP. Ouro Preto, 2006.

OLIVEIRA, Carlos César Barioni de. et al. **Introdução a Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: Edgar Blucher, 2013.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores Elétricos e Acionamentos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PINTO, Milton. **Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Sistemas Interligados**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

RODRIGUES, Junqueira Fidel. *Correção do fator de potência*. Monografia de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco. Itatiba, 2012.

SOUZA, Vitor Amadeu. **Desenvolvendo um Wattímetro para CA com base no PIC18F1220 e XC8**. São Paulo: Cerne, 2015.

SOUZA, Vitor Amadeu. **dsPic30 Programando em C baseado no dsPic30f3012 em mikron C**. São Paulo: Cerne Tecnologia e Treinamento Ltda, 2010.

TIPLER, Paul A; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros (Vol 2)** : Eletricidade e Magnetismo. 5. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2006

Vida de Silício, Módulo ACS 712 - Medido Corrente Elétrica alternada e Continua com Arduino. 2018. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/acs712-medindo-corrente-eletrica-alternada-continua/>> Acesso em: 19 jan. 2019.