



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

RODRIGO NICOLE DE ALCÂNTARA SILVA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA PARA UMA RESIDÊNCIA**

Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Diaz

Brasília
2018

RODRIGO NICOLE DE ALCÂNTARA SILVA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA UMA RESIDÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Diaz

Brasília
2018

RODRIGO NICOLE DE ALCÂNTARA SILVA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA
PARA UMA RESIDÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Diaz

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Abiézer Amarília Fernandes

Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Diaz/Mestre

Prof. MSc. Luís Cláudio Lopes de Araújo

Prof. MSc. Ivandro da Silva Ribeiro

Brasília

2018

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que se faz presente na minha vida principalmente por meio da família e amigos.

À minha família: a minha mãe pelo carinho, compreensão e apoio; a minha avó pelo exemplo de força e luta; aos meus tios e em especial: Nego, Lifonso, Wilson, Delei, Cida, Sandra e Marilu pelos exemplos de determinação e respeito, pelo apoio nos momentos difíceis, além do carinho e atenção; aos meus primos que sempre estão ao meu lado em todos os momentos.

Aos amigos, e colegas, aos quais tenho apreço e carinho. Flávio pela parceria, ajuda e apoio prestados para elaboração deste projeto, pelas noites de sono perdidas e os finais de semana de estudos.

Agradeço aos professores e mestres que tive ao longo da vida pela contribuição na minha formação. E agradeço novamente aos professores: Javier que esteve presente ao longo do curso, ensinado, orientando e incentivando e ao Luís Cláudio a dedicação e o empenho, grandes mestres.

CITAÇÃO

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

É fato que os avanços tecnológicos estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. A tecnologia tem transformado nosso modo de vida. Um exemplo são as residências que deixaram de ser apenas um abrigo, para se tornarem também escritórios ou leitos para cuidados médicos. Essa mudança no perfil do consumidor residencial, o torna mais exigente na sua relação de consumo com os prestadores de serviços. Um bom exemplo disso está relacionado à qualidade da energia elétrica entregue na sua residência. Neste contexto, o projeto propõe implementar um dispositivo com características de instrumento de medição Classe S utilizando um microcontrolador embarcado, o Arduino, conectado a um sensor de tensão eficaz e a um sensor de corrente eficaz por efeito de campo ligados ao circuito monofásico, com o objetivo de captar distúrbios elétricos previstos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional- PRODIST da Aneel, como por exemplo: interrupções, afundamentos de tensão (SAG) ou elevação de tensão (SWEL). Essas informações serão gravadas em um cartão de memória não volátil para posterior avaliação, permitindo concluir sobre a qualidade da energia elétrica.

Palavras-chave: energia elétrica, Arduino, tensão eficaz, corrente elétrica.

ABSTRACT

It is a fact that technological advances are increasingly present in our daily lives. Technology has transformed our way of life. For instance, houses that used to be only a shelter have now become offices or bed for medical care. The change in the residential customer profile resulted in the customer becoming more demanding and requiring better services. One example is the quality of electric power provided. In this context, the project intends to implement a device whose characteristics are those of measuring instrument Class S using an embedded microcontroller, the Arduino, connected to an effective voltage sensor and to an effective current sensor by field effect linked to the single-phase circuit. The objective of capturing electric disturbances foreseen in ANEEL's National Electric System-PRODIST Distribution Procedures, such as interruptions, voltage sag (SAG) or voltage rise (SWEL). A non-volatile memory card will record this information for further evaluation, enabling conclusions about the quality of the electric power.

Key words: electric power, Arduino, monitor, voltage, electric current.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - GRÁFICO DE INTERRUPTÃO DE ENERGIA E FREQUÊNCIA DA INTERRUPTÃO....	15
FIGURA 2 - ANALISADOR FLUKE.....	16
FIGURA 3 - ANALISADOR SCHNEIDER.....	17
FIGURA 4 - ANALISADOR DMI T50T.....	17
FIGURA 5 -FLUXO DO TRABALHO.....	19
FIGURA 6 - GRÁFICO DA TENSÃO E CORRENTE NO CAPACITOR.....	26
FIGURA 7 - CIRCUITO CAPACITIVO.....	26
FIGURA 8 - DIMMER.....	29
FIGURA 9 - GRÁFICO DE CONSUMO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO BRASIL.....	30
FIGURA 10 - QUEDA DE TENSÃO.....	31
FIGURA 11 - EQUILÍBRIO TÉRMICO EM UM CONDUTOR ISOLADO.....	32
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA EM UM CONDUTOR ISOLADO.....	33
FIGURA 13 - GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS.....	35
FIGURA 14 - TRANSIENTES DA REDE ELÉTRICA.....	37
FIGURA 15 - AMPERÍMETRO ANALÓGICO.....	38
FIGURA 16 - VOLTÍMETRO ANALÓGICO.....	38
FIGURA 17 – MULTÍMETRO.....	39
FIGURA 18 - VARIAÇÃO DE TENSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	40
FIGURA 19 - TRANSFORMADOR PARA MEDIÇÃO EM SERIE COM CIRCUITO.....	41
FIGURA 20 - CIRCUITO COM DIVISOR DE TENSÃO NÃO ISOLADO.....	41
FIGURA 21 – OPTOACOPLADOR 4N25.....	42
FIGURA 22 - CONVERSOR ADC DE SINAIS.....	42
FIGURA 23 - (A) PONTE RETIFICADORA, (B) SEMICICLO POSITIVO, (C) SEMICICLO NEGATIVO, (D) SINAL DE SAÍDA.....	43
FIGURA 24 – VARISTOR E SEU SÍMBOLO NO CIRCUITO.....	44
FIGURA 25 - CURVA DE OPERAÇÃO.....	45
FIGURA 26 - ARDUINO UNO.....	46
FIGURA 27 - ESQUEMÁTICO ARDUINO.....	47
FIGURA 28 - MICROCHIP ATMEGA328P.....	47
FIGURA 29 - DIAGRAMA DE BLOCO DO CONVERSOR A/D.....	49
FIGURA 30 - DIAGRAMA ELÉTRICO ARDUINO UNO.....	50
FIGURA 31 - SENSOR DE TENSÃO.....	52
FIGURA 32 - SENSOR DE CORRENTE NÃO INVASIVO.....	53
FIGURA 33 - MODULO CARTÃO DE MEMÓRIA.....	54
FIGURA 34 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO CARTÃO SD.....	55
FIGURA 35 - MODULO REAL TIME.....	56
FIGURA 36 - ESTRUTURA DE SUBPROCESSOS.....	57
FIGURA 37 - EXEMPLO DE PARALELISMO.....	57
FIGURA 38 - PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO ARDUINO IDE.....	59
FIGURA 39 - SEQUÊNCIA DE LIGAÇÃO.....	65
FIGURA 40 - ESQUEMÁTICO SENSOR DE TENSÃO.....	67
FIGURA 41 - GRÁFICO DE FUNCIONAMENTO DO 4N25.....	68
FIGURA 42 - SENSOR DE CORRENTE.....	69
FIGURA 43 - DISPOSIÇÃO DO CIRCUITO.....	71
FIGURA 44 - DISPOSITIVO FECHADO.....	72
FIGURA 45 - APRESENTAÇÃO DAS FUNÇÕES DO CÓDIGO.....	73
FIGURA 46 - VARIVOLT.....	74
FIGURA 47 - MULTIMETROS DA FLUKE.....	75
FIGURA 48 - GRÁFICO DE TENSÃO: VDC X VAC.....	76
FIGURA 49 - ESCALAS DE MULTÍMETROS.....	77
FIGURA 50 - PRIMEIRA ESCALA.....	78
FIGURA 51 - SEGUNDA ESCALA.....	81
FIGURA 52 - DISPOSITIVO EM OPERAÇÃO.....	84

FIGURA 53 - TABELA DINAMICA DO EXCEL.....	86
FIGURA 54 – TENSÃO POR HORAS	86
FIGURA 55 – CORRENTE POR HORAS.....	87
FIGURA 56 – INTERVALO DE AUMENTO DE CONSUMO.	88
FIGURA 57 – INTERVALO DE AUMENTO DE CONSUMO: TENSÃO.	89
FIGURA 58 – INTERVALO DE AUMENTO DE CONSUMO: CORRENTE.....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LIMITES PRECÁRIOS DE VARIAÇÃO DE TENSÃO	36
TABELA 2 - ESPECIFICAÇÕES DO AMPERÍMETRO	38
TABELA 3 - ESPECIFICAÇÕES DO VOLTÍMETRO.....	39
TABELA 4 - ESPECIFICAÇÕES DE UM VOLTÍMETRO DIGITAL.....	40
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS DO OPTOACOPLADOR 4N25	52
TABELA 6 - DADOS TRANSFORMADOR	54
TABELA 7 - TENSÃO ALTERNADA EM FUNÇÃO DA TENSÃO CONTINUA.....	75
TABELA 8 - PRIMEIRA ESCALA	78
TABELA 9 – VALORES ESPERADOS DA PRIMEIRA ESCALA.....	79
TABELA 10 - SEGUNDA ESCALA.....	80
TABELA 11 - VALORES ESPERADOS DA SEGUNDA ESCALA	82
TABELA 12 - CALIBRAÇÃO DE TENSÃO	83
TABELA 13 - CALIBRAÇÃO DE CORRENTE	84
TABELA 14 – AMOSTRA DOS RESULTADOS GRAVADOS.....	85
TABELA 15 - PREÇO DOS COMPONENTES.....	90

LISTA DE SIGLAS

DC	<i>Direct current</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CNJ	Conselho Nacional de Justiça
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RMS	<i>Root mean square</i>
PRODIST	Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
NBR	Norma Brasileira
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
DEC	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora
DDP	Diferença de potencial
A	<i>Ampere</i>
V	Volt
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
AVR	<i>Advanced Virtual RISC</i>
A/D	Analógico/ Digital

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO GERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3. MOTIVAÇÃO.....	18
1.4. METODOLOGIA.....	19
1.4.1. Primeira etapa.....	20
1.4.2. Segunda etapa.....	20
1.4.3. Terceira etapa.....	20
1.4.4. Quarta etapa.....	20
1.4.5. Quinta etapa.....	20
1.4.6. Sexta etapa.....	21
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	21
1.6. TRABALHOS CORRELATOS.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1. CONCEITOS BÁSICOS	23
2.2. COMPONENTES DE CHAVEAMENTO.....	28
2.3. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	30
2.4. CARGAS	34
2.5. QUALIDADE DE ENERGIA.....	34
2.6. INSTRUMENTO ANALÓGICO E DIGITAL.....	37
2.7. MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE SINAIS.....	40
2.8. PONTE RETIFICAÇÃO	43
2.9. PROTEÇÃO CONTRA TRANSIENTES.....	44
2.10. ARDUINO	45
2.10.1. <i>Esquema elétrico do Arduino.....</i>	<i>49</i>
2.11. ACESSÓRIOS.....	51
2.11.1. <i>Sensor de tensão 127 / 220Vac.....</i>	<i>51</i>
2.11.2. <i>Sensor de corrente não invasivo 100A SCT-013.....</i>	<i>52</i>
2.11.3. <i>Modulo de cartão de memória.....</i>	<i>54</i>
2.11.4. <i>REAL TIME CLOCK.....</i>	<i>55</i>
2.12. MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO.....	56
2.13. IDE ARDUINO.....	58
2.14. LINGUAGEM C.....	59
2.15. METROLOGIA.....	61
3. DESENVOLVIMENTO	63
3.1. APRESENTAÇÃO GERAL DO PROJETO	63
3.2. REQUISITOS DO PROJETO.....	64
3.3. MONTAGEM DO CIRCUITO	65
3.4. BLOCO DE MONITORAMENTO	66
3.5. BLOCO DE PROCESSAMENTO DO SINAL.....	69
4. TESTES E RESULTADOS	71
4.1. MONTAGEM DO <i>HARDWARE</i>	71
4.2. O SOFTWARE.....	73
4.3. TESTES SIMULADOS	74
4.3.1. Primeiro ensaio	75
4.3.2. <i>Segundo ensaio</i>	<i>83</i>
4.3.3. <i>Terceiro ensaio.....</i>	<i>84</i>
5. CONCLUSÃO	92

5.1 TRABALHOS FUTUROS	93
6. BIBLIOGRAFIA	94
7. APÊNDICE	96
8. TABELA	104

1. Introdução

O sistema elétrico passa por constantes transformações, desde o surgimento dos primeiros geradores de corrente contínua (DC) por volta de 1870. O sistema de energia era limitado em geração e consumo. Um dos divisores de águas foi a invenção do transformador, na França entre 1883-1884, possibilitando a transmissão de energia elétrica em longas distâncias. Inicialmente monofásica, tem em 24 de agosto de 1891 sua primeira transmissão trifásica a uma distância de 175 km. (EXPÓSITO, FELTRIN e CAÑIZARES, 2011).

Em paralelo ao sistema elétrico vem a indústria de equipamentos eletrônicos. Segundo pesquisa do IBGE de 2015, 31,4 milhões de domicílios possuíam computador, sendo que deste total 27,5 milhões também possuíam acesso à internet. Estes são dois requisitos necessários para o tele trabalho (Home office). Modelo surgido na iniciativa privada, mas adotado também pelo governo como no caso do Tribunal Superior do Trabalho pela Resolução CNJ nº 227, de 15 de junho de 2016. (Site: <http://www.tst.jus.br>, 2018).

Outro seguimento que vem crescendo desde 1990, é o atendimento domiciliar ou *Home Care*. Regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada, RDC nº11, onde as primeiras regras são de 26 de janeiro de 2006. Alguns requisitos voltados para o fornecimento energia elétrica: o domicilio deve estar cadastrado na companhia de fornecimento de energia local; e também possuir um sistema de energia alternativo. (Site: <http://portal.anvisa.gov.br>, 2018)

Com a expansão dos sistemas, surge a necessidade de regulação e fiscalização. No Brasil a fiscalização fica a cargo da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criada por meio da Lei nº 9.427/1996 e Decreto nº2.335/1997, vinculada ao Ministério de Minas e Energia. A ANEEL determina os valores limites da tensão entregue ao consumidor, bem como as especificações dos sistemas de medição e de coleta de dados da rede elétrica. (Site: ANEEL, 2017)

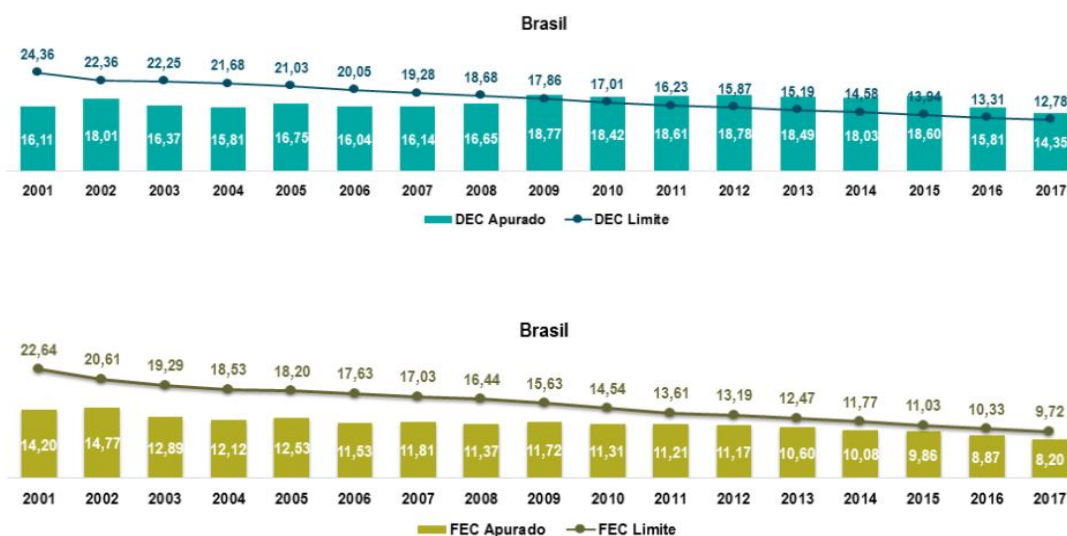
O conceito Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é tema do Módulo 8 do PRODIST, onde são estabelecidos os critérios de qualidade do serviço e a qualidade do produto entregues ao consumidor. Neste módulo são estabelecidos os valores limites ou de referência, o método de medição, as perturbações da forma de onda, entre outros. (Site: ANEEL, 2017).

- A tensão que chega ao consumidor pode ter a qualidade comprometida por perdas:
- Ao longo da linha de transmissão- efeito Joule ou falhas de isolamento;
- Dentro do ambiente de consumo por cargas não lineares causando distorções na forma de onda da tensão e corrente;
- Ou má divisão dos circuitos internos/ distribuição das cargas.

Com base nos valores determinados no PRODIST Módulo 8 da ANEEL, o protótipo visa monitorar o comportamento da tensão eficaz (RMS) e a corrente elétrica ao longo do dia, armazenando os dados em um cartão de memória.

A figura 1 mostra o tempo médio dado em horas que cada unidade consumidora ficou sem energia e a frequência que isso ocorreu:

Figura 1 - Gráfico de interrupção de energia e frequência da interrupção.



Fonte: (ANEEL, 2015).

Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora – DEC;

Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora – FEC.

No mercado industrial existem empresas especializadas na medição, análise e soluções voltadas para qualidade de energia como a Sinpower (<http://www.sinpower.com.br>) e a Amatti (<http://www.analisedeenergia.com.br/>). São exemplos de equipamentos disponíveis no mercado para este tipo de medição:

Analizador de qualidade de energia Fluke 435 série II figura 2. Este equipamento captura os valores RMS, faz contabilização da energia, avaliação da energia, solução de problemas de primeira linha, manutenção preditiva, análise de longo prazo e estudo de carga (<http://www.fluke.com>);

Figura 2 - Analisador Fluke



Fonte: Fluke

Na figura 3 é apresentado o ION7550 da Schneider analisa a qualidade de energia, faz monitorização e controle de equipamentos, realiza registro dos dados e tem aplicação web (<http://www2.schneider-electric.com/>).

Figura 3 - Analisador Schneider



Fonte: Schneider

O modelo DMI T50T comercializado pela ISSO, é um kit não invasivo com medição trifásica/ polifásica com TRUE RMS visto na figura 4 (www.issotecnologia.com):

Figura 4 - Analisador DMI T50T



Fonte: ISSO Tecnologia

Portanto, o presente projeto, busca se basear em instrumentos de medição classe S que atendam as normas NBR IEC 61000-4-30 para aplicações estatísticas, como pesquisa ou avaliação da qualidade de energia, utilizando microcontrolador e sensores disponíveis no mercado para montagem de um dispositivo de menor custo.

1.1. Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo capaz de monitorar afundamento de tensão e elevação, armazenando os valores de tensão eficaz e corrente da rede elétrica monofásica em um ambiente residencial ao longo do dia.

1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos identificam aspectos relevantes para o desenvolvimento do projeto, pautando-se em:

- Utilizar um circuito eletrônico que isole o ponto de medição do microcontrolador sem influenciar a qualidade do sinal senoidal da rede elétrica;
- Utilizar um sensor de corrente induzida de maneira a obter a corrente do circuito sem a necessidade de ter que seccionar o sistema;
- Desenvolver um código em linguagem C para interpretação dos valores coletados ao longo do dia;
- Simulação de afundamento e elevação de tensão por meio de um varivolt;
- Instalação em ambiente real, residencial para coleta de dados;
- Armazenar os resultados obtidos em memória não volátil, para isso será utilizado cartão de memória para análise posterior;

1.3. Motivação

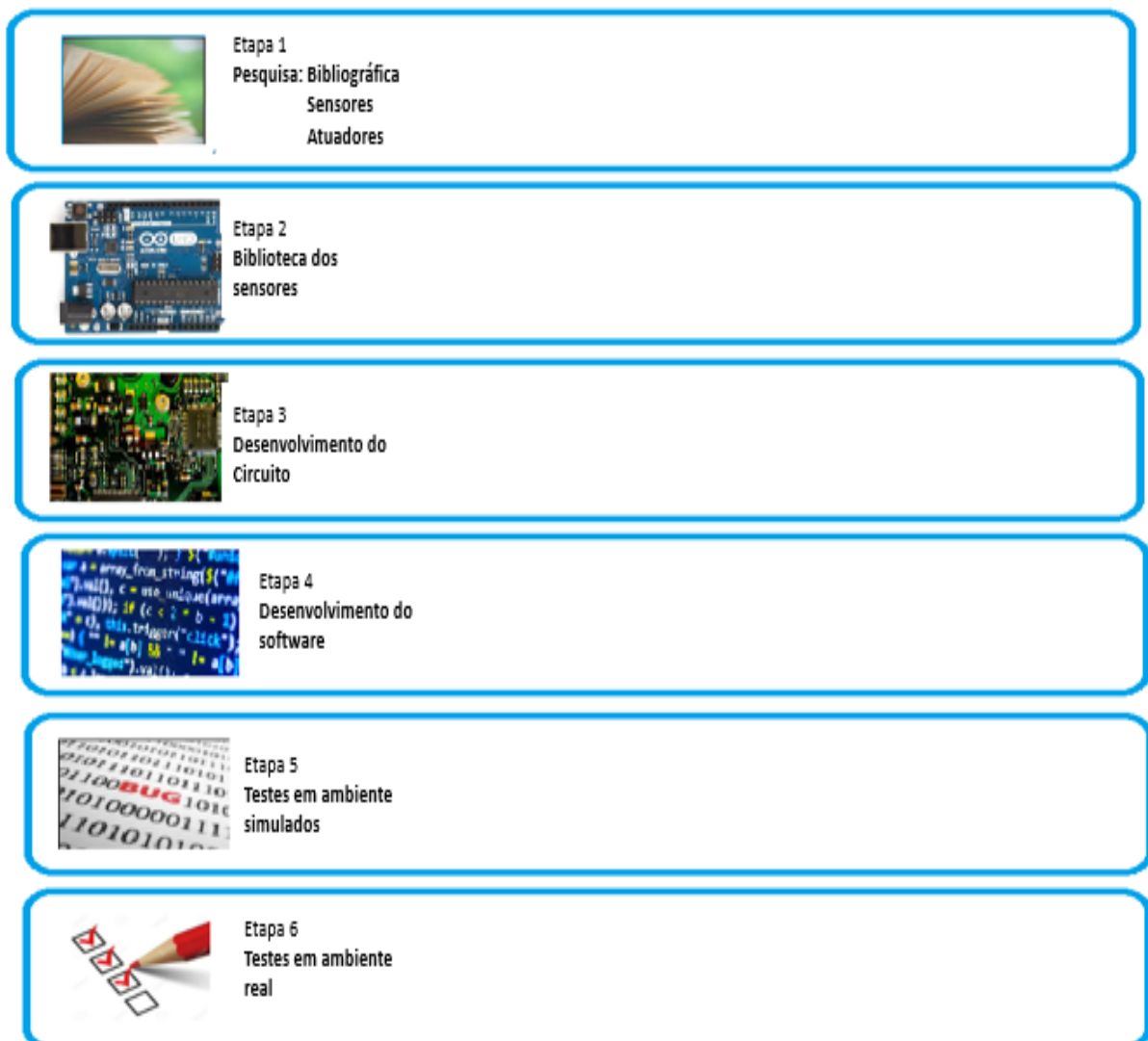
A qualidade da energia elétrica é fundamental para o correto funcionamento dos equipamentos. Ao longo do dia a rede elétrica está sujeita a variações devido ao consumo que pode ocasionar ruídos, perturbações, afundamentos de tensão, entre outros.

Utilizar o conhecimento da academia para desenvolver uma ferramenta de baixo custo para avaliar um problema do dia-a-dia.

1.4. Metodologia

O projeto está dividido em várias partes, que tratam de: sensoriamento de tensão e da corrente; um sistema de armazenamento; e uma unidade de processamento. Para alcançar os objetivos serão seguidas as etapas descritas na figura 5:

Figura 5-Fluxo do trabalho



Fonte: autor

1.4.1. Primeira etapa

Realização de pesquisa bibliográfica sobre: a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) e os distúrbios mais comuns como afundamento de tensão, sobretensão, harmônicas, ruídos entre outros. Buscar informações sobre os métodos de medição e características para serem reconhecidos pela ANEEL e o INMETRO como instrumentos de medição.

1.4.2. Segunda etapa

Levantamento dos tipos de sensores de tensão e corrente elétrica disponível compatível com Arduino que apresentem melhor desempenho sem interferir no sinal. Pesquisa de bibliotecas do Arduino compatíveis.

1.4.3. Terceira etapa

Programação do Arduino. Testar os métodos de programação: utilizando chamada de funções e Threads para verificar qual apresenta melhor resultado de processamento ao coletar, processar e armazenar os dados.

1.4.4. Quarta etapa

Integração dos módulos ao Arduino. Testes dos sensores e do cartão de memória em laboratório utilizando multímetro, osciloscópio e varivolt para simulações de leitura de tensão RMS e corrente elétrica. Caso necessário realizar ajustes dos sensores por meio da adição de componentes (hardware) ou via programação (software) para garantir a qualidade dos valores que serão processados pelo Arduino.

1.4.5. Quinta etapa

Instalação em ambiente residencial. Monitorar o comportamento da tensão ao longo do dia ao acionar as cargas do cotidiano: televisores, computadores e outros dispositivos que utilizem fontes chaveadas. Acionamento de cargas resistivas, chuveiro e ferro de passar, e cargas reativas como ventiladores e outros motores.

1.4.6. Sexta etapa

Melhorias como adição de filtros, aterramento do circuito de medição e conclusão dos testes. Com base no teorema de Nyquist definir o número de leituras para garantir a veracidade dos resultados.

1.5. Resultados esperados

A implementação do projeto visa desenvolver um dispositivo prático e com baixo custo que permita ao usuário assistir o comportamento da energia elétrica em sua residência, bem como suas variações durante um período. Permitindo ao usuário saber se o mau funcionamento de equipamentos microprocessados é causado por oscilações na energia.

Para demonstração, será montado o circuito com sensor de tensão, sensor de corrente, shield do cartão SD e microcontrolador que será ligado a um circuito da casa para realização das leituras.

Utilizar um sistema de variação de tensão para comprovar a falha ou travamento em dispositivos constituídos de sistemas processados. Ao produzir as variações comparar valores lidos pelo dispositivo aos valores mostrados pelo multímetro rastreado para aferir os valores obtidos pelo dispositivo.

1.6. Trabalhos correlatos

Barreto (2015), apresentou no trabalho de conclusão de curso um sistema de monitoramento e controle de consumo de cargas monofásicas. Apesar dos objetivos serem diferentes, o monitoramento da tensão por meio de sensores ligados a um Arduino é um ponto comum.

Marafão (2004), em sua tese utiliza o Processamento Digital de Sinais (PDS) para análise e controle da energia elétrica. Apresentam conceitos de Qualidade de energia, soluções no nível de consumidor e do distribuidor. A metodologia empregada permite a formulação de filtros digitais, detectores de sequência positiva e outros.

Cesar (2017), em seu trabalho fez uso do sensor de corrente não invasivo ligado ao Arduino para monitoramento da corrente elétrica fornecida ao seu circuito de controle.

2. Referencial Teórico

Este capítulo aborda os principais conceitos teóricos da qualidade de energia, fundamentos da eletricidade, eletrônica analógica e digital, e instrumentação de medição para desenvolvimento do dispositivo de medição.

2.1. Conceitos básicos

A interconexão entre dispositivos eletrônicos com a finalidade de comunicação ou transmissão de energia é denominada circuito elétrico (CHARLES e MATTHEW, 2013). Compreendem esses circuitos: elementos ativos – capazes de produzir diferença de potencial (DDP), como por exemplo, geradores, placas fotovoltaicas, baterias e outros; e elementos passivos – não geram energia, resistores, capacitores, indutores e semicondutores.

A diferença de potencial, tensão ou voltagem, entende-se como sendo a energia necessária para produzir o deslocamento de uma carga elétrica unitária através de um elemento, sua medida é dada em volts (V) (CHARLES E MATTHEW, 2013) e pode ser expressa pelas equações (2.1) e (2.2):

$$1 \text{ volt (V)} = 1 \frac{\text{joule (J)}}{\text{coulomb (C)}} \quad 2.1$$

De forma geral,

$$dv = \frac{dU}{q_0} \quad 2.2$$

dv = diferencia de potencial infinitesimal

dU = variação infinitesimal de energia

q_0 = carga elétrica

Vale ressaltar que em um circuito aberto existe a DDP entre seus terminais, porém não há fluxo de corrente. Somente após a inserção de um elemento condutor entre os terminais o circuito será fechado, possibilitando o fluxo da corrente elétrica (CREEDER, 2016).

A corrente elétrica por sua vez é o deslocamento de cargas em um condutor a partir de uma DDP. O deslocamento tem por objetivo restabelecer o equilíbrio entre terminais, por meio do fluxo de cargas em um condutor durante um tempo (CREEDER, 2016). Essa relação é dada pela equação (2.3):

$$1 \text{ Ampere (A)} = 1 \frac{\text{coulomb (C)}}{\text{segundo (s)}} \quad 2.3$$

Ou de modo geral:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad 2.4$$

I = intensidade da corrente elétrica;

dq = carga elétrica;

dt = intervalo de tempo;

Por meio dessas duas grandezas podemos obter a potência através do produto da tensão pela corrente elétrica:

$$P \text{ (Watt)} = 1 \frac{\text{joule (J)}}{\text{segundo (s)}} \quad 2.5$$

Logo,

$$P = V \cdot I \quad 2.6$$

P = potência

V = tensão

I = intensidade da corrente elétrica

A corrente ao fluir em um circuito encontrará oposição a seu fluxo, esta oposição recebe o nome de resistência elétrica. Um exemplo é a fiação de uma instalação elétrica, onde a resistência fica condicionada ao tipo do material, a área de sua seção transversal e o seu comprimento, dado pela expressão:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad 2.7$$

Sendo:

R = A resistência elétrica em ohms (Ω);

ρ = resistividade do material vezes por mm^2/m ;

l = comprimento em metros (m);

A = área da seção reta em mm^2 ;

A ABNT através da NBR-5410 normatiza o diâmetro do condutor e a quantidade de cabos que irão passar pela tubulação ou canaleta, fatores que associados a condições climáticas e a carga aplicada, determinam a temperatura do condutor (ABNT). A variação da resistência é dada pela fórmula:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad 2.8$$

Onde:

R_t = a resistência na temperatura t ;

R_0 = resistência a 0°C ;

α = coeficiente de temperatura em C^{-1} ;

t_2 e t_1 = temperatura final e inicial respectivamente em $^\circ\text{C}$.

A diferença de potencial em um segmento é proporcional à corrente que por ele passa, sendo descrita pela lei de Ohm como (TIPLER, 2009):

$$V = R \cdot I \quad 2.9$$

V = tensão

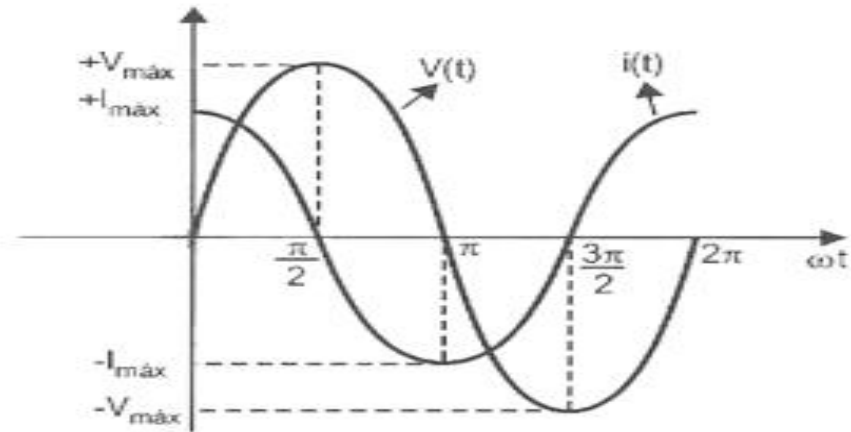
R = resistência

I = intensidade de corrente elétrica

Outro componente comum em circuitos elétricos são os capacitores. Diferentemente do resistor que dissipa energia em forma de calor, o capacitor armazena energia em suas placas condutoras que são isoladas por um material dielétrico (TIPLER, 2012).

Por suas características a tensão no capacitor estará atrasada em 90° em relação à corrente elétrica (CREEDER, 2016), conforme mostra a figura 6.

Figura 6 - Gráfico da tensão e corrente no capacitor.



Fonte: (CREDER, 2013).

A queda de tensão no capacitor ao ser ligado a um gerador é (TIPLER, 2012):

$$V_c = \frac{Q}{C} \quad 2.10$$

Em que,

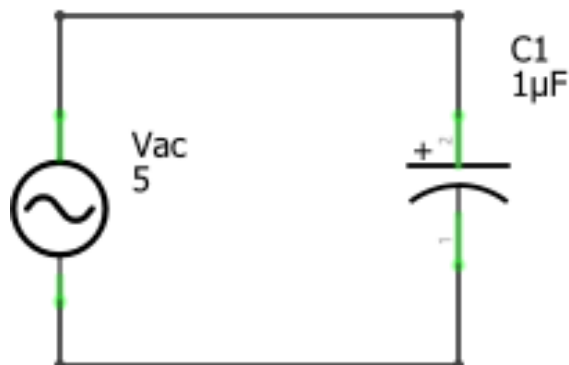
V_c = tensão no capacitor;

Q = carga elétrica na placa do capacitor;

C = a capacitância que é a capacidade de acumular carga.

Para o circuito série mostrado na figura 7, a diferença de potencial no capacitor será igual a força eletromotriz (fem \mathcal{E}) do gerador:

Figura 7 - Circuito capacitivo.



Fonte: Autor

Deste modo,

$$V_C = V_{C_{pico}} \cdot \cos \omega t \quad 2.11$$

Fazendo a substituição temos:

$$V_{C_{pico}} \cdot \cos \omega t = \frac{Q}{C} \quad 2.12$$

Logo,

$$Q = (V_{C_{pico}} \cdot \cos \omega t) \cdot C \quad 2.13$$

A corrente,

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega \cdot Q_{pico} \cdot \text{sen} \omega t = -I_{pico} \cdot \text{sen} \omega t \quad 2.14$$

Outra particularidade é o comportamento perante a frequência, onde quanto mais baixa a frequência maior será sua resistência denominada impedância capacitiva (X_C):

$$X_C = \frac{dQ}{dt} = -\omega \cdot Q_{pico} \cdot \text{sen} \omega t = -I_{pico} \cdot \text{sen} \omega t \quad 2.15$$

Onde:

V_C = tensão no capacitor

ω = é a frequência angular, sendo igual a $2\pi f$

C = a capacitância.

Em circuito de corrente alternada, há dois modos principais que os capacitores são usados. Primeiro como acopladores ou transmissores de sinais CA de um circuito a outro. Segundo para eliminar sinais CA indesejados enviando-os à terra (MALVINO, 2005).

Por fim, temos o indutor, encontrado em filtros de linha, motores, transformadores, reatores e outros. Em um circuito puramente indutivo a tensão aplicada é avançada em 90° em relação a corrente (CREDER, 2013). Seu comportamento também é afetado pela frequência, mas neste caso, quanto menor a frequência menor será a impedância reativa (X_L):

$$X_L = \omega \cdot L \quad 2.16$$

Onde:

ω = frequência angular;

L = indutância.

A união desses três componentes forma um circuito conhecido como RLC, a exemplo de um motor que possui a resistência do enrolamento, os indutores e o capacitor de partida.

2.2. Componentes de chaveamento

Ao projetar uma instalação o engenheiro irá se deparar com diversos tipos de dispositivos de comando e interrupção de circuitos: interruptores, minuteiras, chaves contadoras, botoeiras, relés, disjuntores, dispositivo diferencial-residual (DR), entre outros (CREEDER, 2016).

Os interruptores são dispositivos de chaveamento simples voltados para o controle de lâmpadas com algumas recomendações como interromper o fio condutor de fase para segurança do usuário evitando o risco de choque no momento de uma troca de lâmpada. Outro fato a ser considerado é a corrente e a tensão suportados, para instalações residências são 5A a 250 V, permitindo acionar cargas de até 550 watts (CREEDER, 2016).

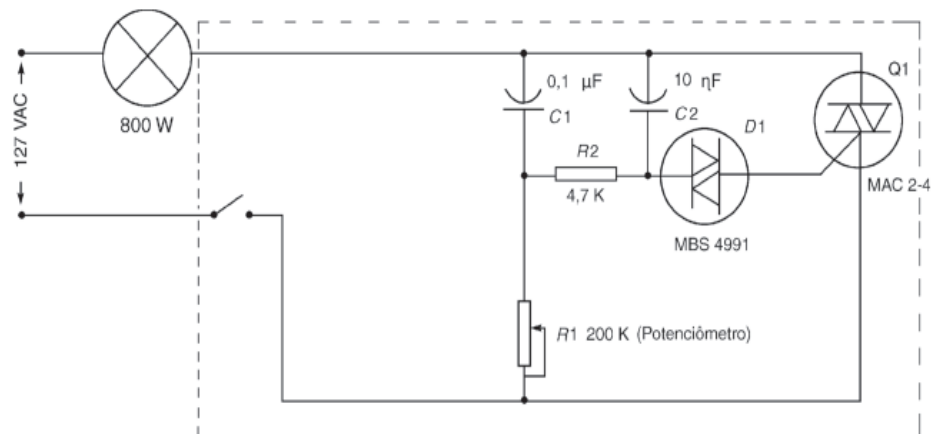
O chaveamento de carga por um interruptor ou a conexão/ desconexão de um equipamento pode produzir perturbações ao circuito como sobretensão, o que ocorre tanto na abertura quanto no fechamento do circuito.

Exemplo de sobretensão em interruptores: na abertura de interruptores quando ocorre interrupção de cargas de baixa corrente indutiva, podendo chegar a formar arco-voltaico; no fechamento devido aos efeitos transitório como cargas de capacitores (BOSSI e SESTO, 2002).

O dimmer visava o ajuste da intensidade da luminosidade do ambiente usando um resistor variável que alterava o valor da tensão na lâmpada e substituía o interruptor, em contrapartida por sua propriedade de dissipação de tensão produz o efeito joule causando o aquecimento do dispositivo.

Com os avanços da tecnologia e a necessidade de um consumo otimizado passa-se a utilizar dispositivos eletrônicos na fabricação dos dimmers. Como resultado: o calor dissipado é mínimo, porque o fluxo da corrente é controlado por um tiristor – TRIAC, associado a diodo – DIAC, a corrente (CREEDER, 2016), mostrado na figura 8:

Figura 8 - Dimmer.



Componentes do *dimmer*:

- C_1 e C_2 — Capacitores
- R_1 — Resistor variável (potenciômetro)
- R_2 — Resistor de valor fixo
- D_1 — Tiristor (DIAC)
- Q_1 — Tiristor (TRIAC)

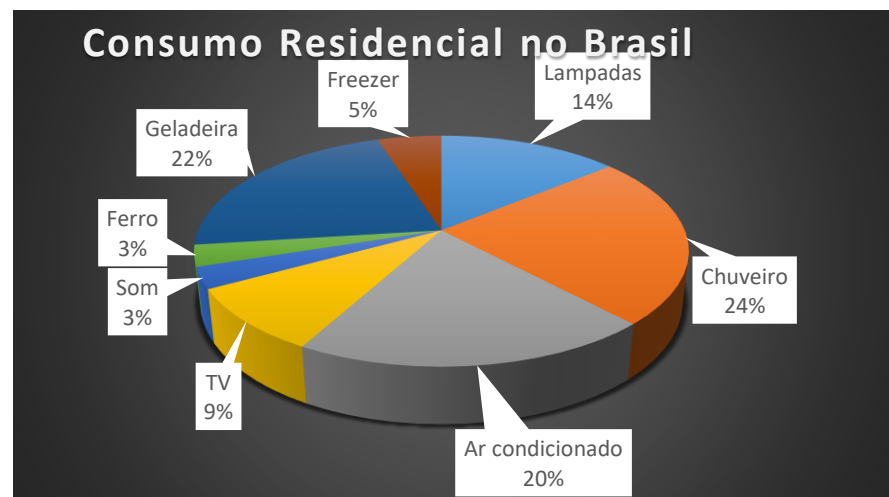
Fonte: (CREEDER, 2016)

Ainda, pensando no controle voltado para um consumo racional, têm-se as fotocélulas, responsáveis por ligar as lâmpadas ao anoitecer e desligar ao alvorecer,

sensores de presença temporizados que mantem a luz do ambiente acesa durante um tempo ou enquanto há movimento, circuitos temporizados e outros.

No gráfico da figura 9 pode-se observar a distribuição do consumo residencial no Brasil, conforme pesquisa das Centrais Elétricas Brasileiras S. A. (ELETROBRÁS) em conjunto com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel, 2005).

Figura 9 - Gráfico de consumo dos eletrodomésticos no Brasil



Fonte: (Procel, 2005)

O estudo foi com intuito de nortear as decisões da ELETROBRÁS para a crise energética do país, sendo uma parte do projeto de “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil” (<http://www.procel.gov.br>). Com isso, a automação ganha força com aplicação de sensores de presença, minuteiras, fotocélula e outros recursos visando à economia de energia destinada a iluminação.

2.3. Instalações elétricas

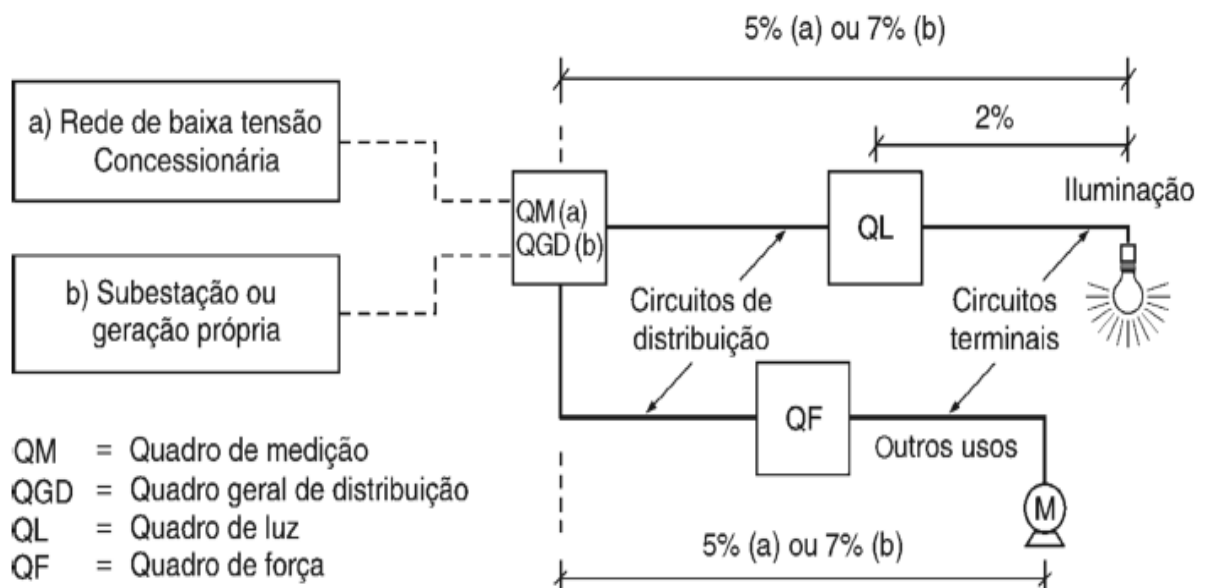
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece as normas para instalações elétricas de baixa tensão através da NBR-5410 (ABNT).

Os equipamentos que utilizam energia elétrica têm a sua faixa de operação com tolerância de alimentação. Pela norma são estabelecidas as dimensões dos

cabos condutores para instalação residencial com objetivo de que a queda de tensão para uma rede de alimentada por ramal de baixa tensão não fique acima de 5% e 7% quando alimentado por uma subestação de transformação (CREEDER, 2016).

A figura 10 ilustra o trecho e a queda de tensão admitida:

Figura 10 - Queda de tensão



Fonte: (CREEDER, 2016)

O valor pode ser obtido pela fórmula:

2.17

$$S = 2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{e_{(\%)} \cdot V^2} \cdot (p_1 \cdot l_1 + p_2 \cdot l_2 + \dots)$$

Em que:

S = seção transversal do condutor em mm^2 ;

ρ = resistividade do cobre $\frac{\text{ohms} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;

$e_{(\%)}$ = queda de tensão percentual;

V = tensão da rede, 127 ou 220 v;

p = potência consumida em w;

l = comprimento em m;

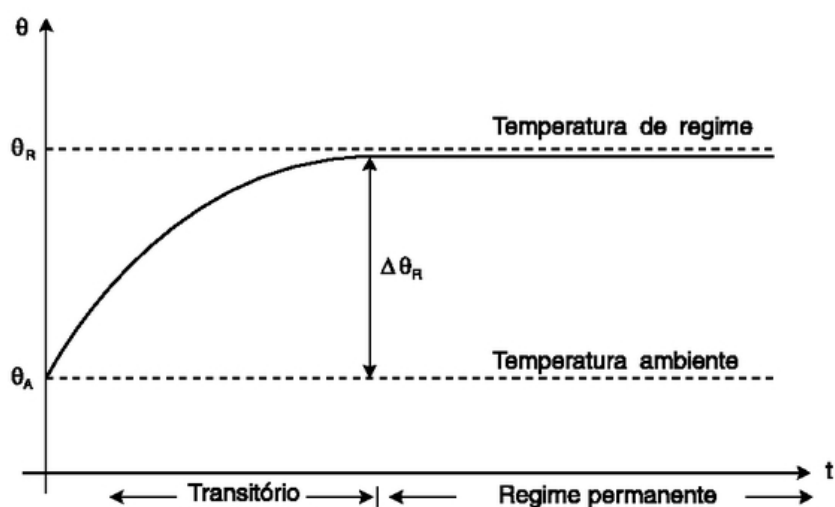
Existem tabelas prontas com o diâmetro e os percentuais de queda de tensão.

Outro t3pico abordado pela norma 3e a distribu3c3o das cargas. Circuitos que demandam de valores elevados de pot3ncia como motores, sistema de aquecimento, equipamentos industriais, m3quina de solda dever3o ter circuito segregado da ilumina3c3o (CREEDER, 2016).

A vida 3til de uma instala3c3o el3trica 3 estimada de 20 a 30 anos, quando bem projetada considerando-se as cargas ao qual ser3o submetidas, a constru3c3o dentro das normas e condi3c3es ambientais. As varia3c3es de temperatura contribuem para o envelhecimento do material isolante - cloreto polivinila (PVC), borracha etileno-propileno (EPR) e polietileno reticulado (XLPE), alterando a qualidade do diel3trico e causando fuga de corrente (BOSSI e SESTO, 2002).

O aquecimento dos condutores el3tricos por varia3c3es de corrente seja por regime permanente seja em regime transit3rio, 3 um problema a ser evitado ainda no projeto. O efeito Joule 3 produzido pela passagem da corrente em um condutor por conta de sua resist3ncia, esse fen3meno produz calor que ser3 dissipado de acordo com as caracter3sticas do material. A alta temperatura pode comprometer a integridade f3sica, mec3nica e qu3mica reduzindo a vida 3til por perda de isolamento (COTRIM, 2003). A figura 11 apresenta os efeitos da temperatura em um condutor:

Figura 11 - Equil3brio t3rmico em um condutor isolado



Fonte: (COTRIM, 2003)

Seu equil3brio t3rmico pode ser descrito por:

2.18

$$\rho \cdot \frac{l}{S} \cdot I^2 = K \Delta \theta_R$$

Onde,

ρ = resistividade do condutor;

l = comprimento;

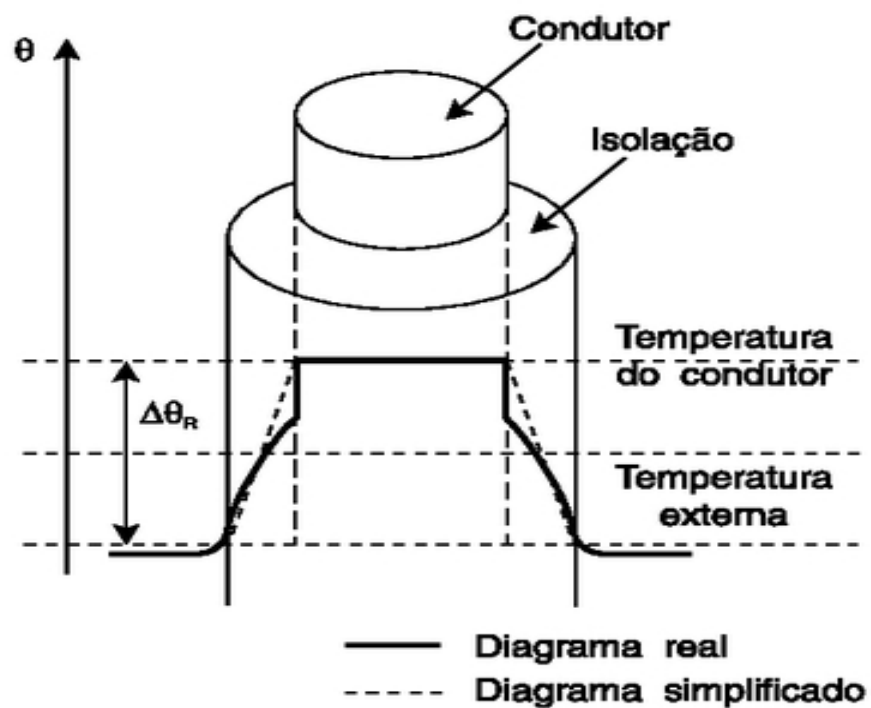
S = seção;

K = condutância térmica global do condutor;

Θ_R = temperatura de regime.

Na figura 12 apresenta-se um modelo simplificado do condutor e sua capa de isolamento:

Figura 12 - Variação de temperatura em um condutor isolado.



Fonte: (COTRIM, 2003)

2.4. Cargas

Para definição do tipo de consumidor tem vários critérios que são levados em consideração, entre eles: localização- zona rural, zona urbana e zona industrial; finalidade a que se destina: residência, comércio, indústria e hospitais; a necessidade de energia elétrica, apenas em período comercial, contínua, esporádica; o tipo de carga que será utilizada se pode ou não causar perturbações à rede; a demanda de tensão por uma rede monofásica, bifásica, trifásica (KAGAN, BARIONI e ROBBA, 2010).

Carga elétrica não tem uma definição exata, dentre seus vários significados podemos citar: demanda imposta por um equipamento para transformação de energia elétrica em energia mecânica ou calor, durante um dado instante; energia transferida a um equipamento; potência ativa consumida por um equipamento... (COTRIM, 2003)

A depender do equipamento a carga pode ser classificada em:

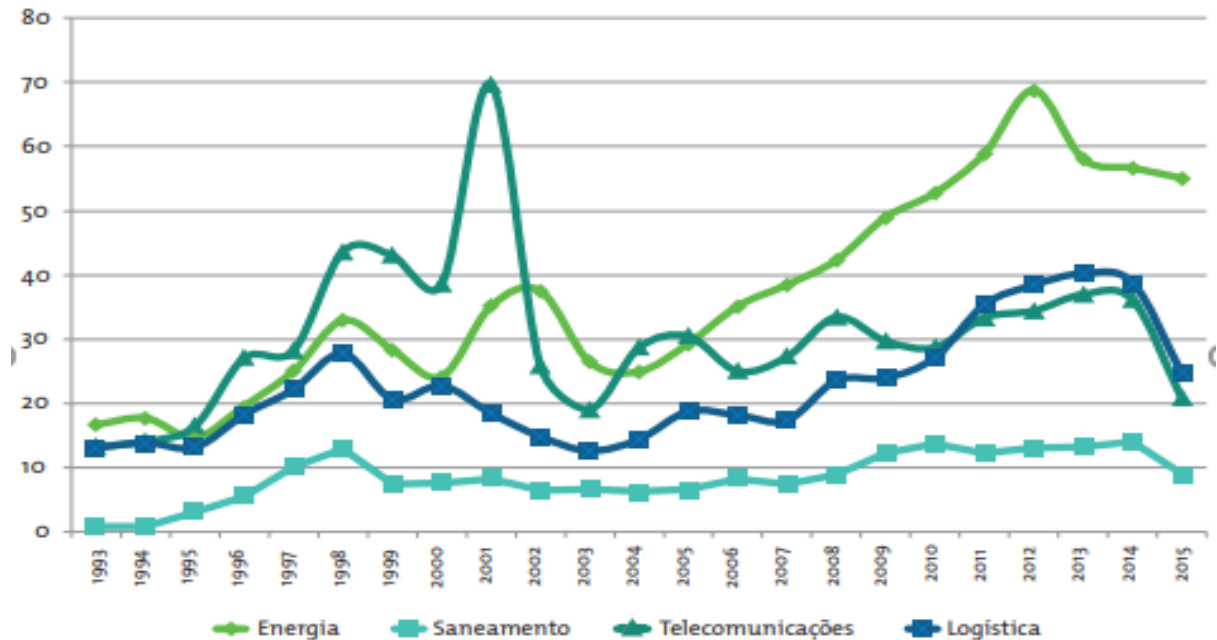
- Carga não linear: são equipamentos que o retorno de sua tensão e corrente são distorcidas por produção de harmônicas, um exemplo é quando são constituídos de material ferromagnético e operam na região de saturação.
- Cargas lineares: são caracterizadas por equipamentos que não distorcem a onda senoidal de entrada durante seu funcionamento, como chuveiro elétrico. (COTRIM, 2003).

2.5. Qualidade de energia

Em texto intitulado Infraestrutura no Brasil: ajustando o foco, de autoria de Alexandre Pereira e Fernando Puga e publicado no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social descreve os investimentos para os setores de saneamento, logística, energia elétrica e telecomunicações. A figura 13 mostra graficamente resultados dos investimentos nesses setores nos últimos anos. A respeito dos investimentos em energia elétrica é possível notar um aumento no

investimento após a crise energética de 2001, contudo os investimentos são baixos se comparado a outros países. (PEREIRA e PUGA, 2016).

Figura 13 - Gráfico de comparação de investimentos



Fonte: (BARROS, 2016)

Na década de 1990, os baixos investimentos na produção de energia elétrica e a escassez de chuvas são apontados como causas para crise do setor em 2001 e 2002, resultando em apagões e racionamentos. (BARROS, 2016).

O PRODIST divide os fenômenos da qualidade em dois grupos: permanentes e transitórios:

- Permanente: tensão em regime permanente; fator de potência; harmônicos; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; e variação de frequência;
- Transitório: variações de tensão de curta duração.

Na tabela 1 são descritos os valores de tensão esperados para cada sistema de distribuição:

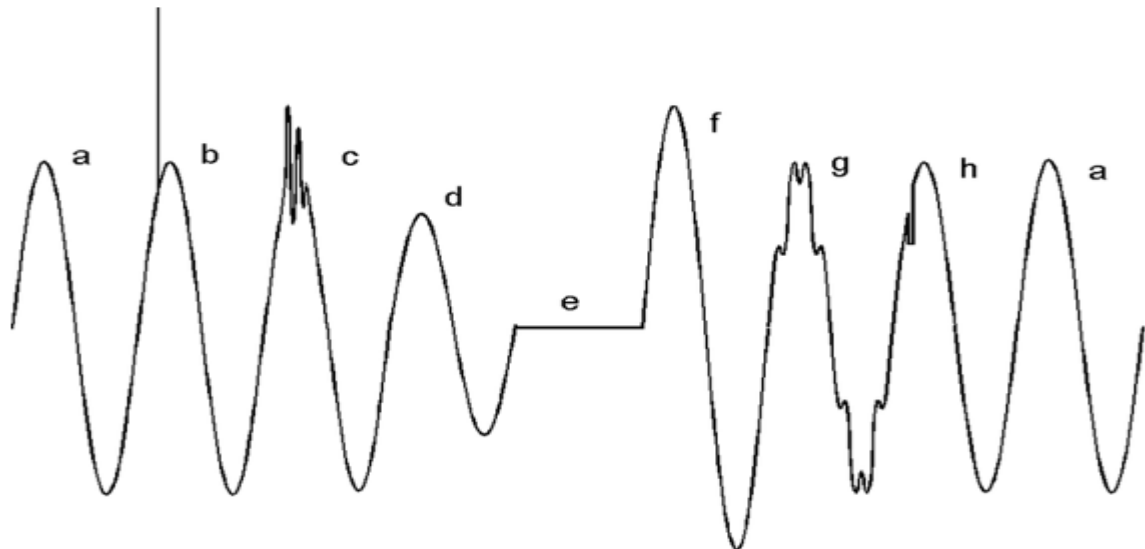
Tabela 1 - Limites Precários de Variação de Tensão.

LIMITES PRECÁRIOS DE VARIAÇÃO DE TENSÃO		
CONSUMIDORES ATENDIDOS EM TENSÕES SECUNDÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO		
TENSÃO NOMINAL	LIMITES DE VARIAÇÃO	
TRIFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
220/ 127 VOLTS	189/ 109	233/ 135
380/ 220 VOLTS	327/ 189	403/ 233
MONOFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
254/ 127 VOLTS	218/ 109	270/135
440/ 220 VOLTS	378/ 189	466/ 233
LIMITES ADEQUADOS DE VARIAÇÃO DE TENSÃO		
CONSUMIDORES ATENDIDOS EM TENSÕES SECUNDÁRIAS PADRONIZADAS DE DISTRIBUIÇÃO		
TENSÃO NOMINAL	LIMITES DE VARIAÇÃO	
TRIFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
220/ 127 VOLTS	201/ 116	229/ 132
380/ 220 VOLTS	348/ 201	396/ 229
MONOFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
254/ 127 VOLTS	232/ 116	264/132
440/ 220 VOLTS	402/ 201	458/ 229
LIMITES PRECÁRIOS DE VARIAÇÃO DE TENSÃO		
CONSUMIDORES ATENDIDOS EM TENSÕES NOMINAIS NÃO PADRONIZADAS DE DISTRIBUIÇÃO		
TENSÃO NOMINAL	LIMITES DE VARIAÇÃO	
MONOFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
230/ 115 VOLTS	206/ 103	254/ 127
240/ 120 VOLTS	206/ 103	254/ 127
LIMITES ADEQUADOS DE VARIAÇÃO DE TENSÃO		
CONSUMIDORES ATENDIDOS EM TENSÕES NOMINAIS SECUNDÁRIAS NÃO PADRONIZADAS DE DISTRIBUIÇÃO		
TENSÃO NOMINAL	LIMITES DE VARIAÇÃO	
MONOFÁSICO	MÍNIMO	MÁXIMO
230/ 115 VOLTS	212/ 106	242/ 121
240/ 120 VOLTS	216/ 108	250/ 125

Fonte: (Aneel, 1978)

Na figura 14 são apresentados os principais distúrbios ao qual uma rede elétrica fica exposta. Esses transientes prejudicam o funcionamento de dispositivos eletrônicos, causando travamentos de software, aquecimento, queima e outros.

Figura 14 - Transientes da rede elétrica



-Distúrbios associados à Qualidade de Energia Elétrica a) Tensão normal; b) Surto de Tensão; c) Transitório Oscilatório de Tensão; d) Subtensão Momentânea; e) Interrupção Momentânea de Tensão; f) Sobretensão Momentânea; g) Distorção Harmônica; h) Cortes na Tensão d) Variações Momentâneas de Freqüência

Fonte: (<https://www.researchgate.net/>)

2.6. Instrumento analógico e digital

Instrumentos analógicos foram os instrumentos utilizados para medição com base em campos eletromagnéticos para mover um ponteiro sobre uma escala graduada e aferida. São utilizados até hoje devido às vantagens em relação ao custo; são mais baratos em relação a medidores digitais e ao ser conectado ao circuito o galvanômetro inicia a leitura. Por outro lado, as desvantagens são: erro de paralaxe, erro ocorrido durante a leitura pelo posicionamento do observador diante do ponteiro e o espelho de fundo; não possuem saída para interface com sistemas de automação. (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014). A figura 15 mostra um amperímetro analógico comumente encontrado em quadro de elétricos industriais:

Figura 15 - Amperímetro analógico

Fonte: (MINULIGHT, 2017)

Tabela 2 - Especificações do amperímetro

ESPECIFICAÇÕES		
Função	Faixa de medição	Precisão
Corrente AC	0 a 500 Vdc	1,5% TC/ 5ª
Corrente DC	0 a 500 Vac	1,5% TC/ 5ª

*Leitura para frequência de 50 ou 60 HZ

Fonte: Adaptado pelo autor

Na figura16 tem-se um voltímetro analógico utilizado em painéis para monitoramento da tensão e a tabela 3 do fabricante com suas especificações de trabalho:

Figura 16 - Voltímetro analógico

Fonte: (MINULIGHT, 2017)

Tabela 3 - Especificações do voltímetro

ESPECIFICAÇÕES		
Função	Faixa de medição	Precisão
Tensão AC	100 a 500 Vdc	1,50%
Tensão DC	100 a 500 Vac	1,50%

Fonte: Adaptado pelo autor

Instrumentos digitais utilizam um conversor analógico/ digital (A/D) para aquisição dos valores, o sinal é processado e a exibição é feita por um display que apresenta o valor em algarismos. É passível de conexão com circuitos lógicos programáveis (CLP) por meio de saídas padronizadas, de 4 – 20 mA por exemplo, e alguns fabricantes disponibilizam software de interface. (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014).

A principal vantagem está associada a flexibilização do sinal coletado, permitindo o tratamento por meio de filtros digitais manipulados por meio de algoritmos eliminando a necessidade de se projetar um circuito novo alterando seus componentes analógicos. (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014).

Um exemplo são os multímetros com capacidade de leitura True-RMS para tensões alternadas, função gráfica, capacidade de armazenamento de dados, filtros de entrada selecionáveis, possibilidade de comunicação com computadores e dispositivos móveis mostrado na figura 17.

Figura 17 – Multímetro.

Fonte: (FLUKE, 2016)

Tabela 4 - Especificações de um Voltímetro Digital

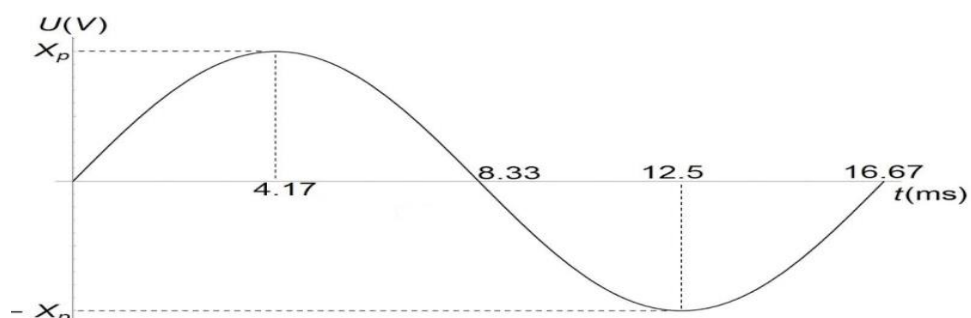
ESPECIFICAÇÕES		
Função	Faixa de medição	Precisão
Tensão AC	50 mV a 1000 V	0,4% (True-RMS)
Tensão DC	50 mV a 1000 V	0,03%
Corrente AC	50 μ A 10 A	0,6% (True-RMS)
Corrente DC	50 μ A 10 A	0,05%
Temperatura	(-)200°C a 1350°C	1%
Resistência	0 Ω a 500 M Ω	0,05%
Capacitância	1 nF a 100 mF	1%
Frequência	999,99 KHz	0,01%
Outros recursos		
Relógio de tempo decorrido	Sim	
Conectividades	Infravermelho Sem fio (opcionais)	
Registo para computador	Sim	
Memória	Até 15.000 leituras	

Fonte: (FLUKE, 2016)

2.7. Métodos de aquisição de sinais

O sinal proveniente da rede elétrica será uma tensão alternada ao longo do tempo com valores de tensão variando de 110 a 220 volts e frequências de 50 a 60 hertz determinados pela distribuidora local. Na figura 18 vê-se o comportamento ideal da tensão e a variação de ângulo ao longo do tempo (MARQUES, ALVEZ e JUNIOR, 2012).

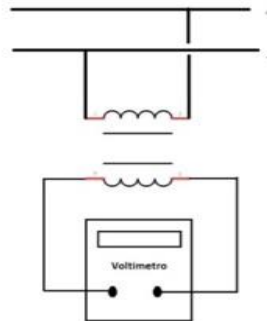
Figura 18 - Variação de tensão em função do tempo



Fonte: autor

Ao escolher o transformador uma das vantagens será a isolação elétrica uma vez que a bobina do primário não é conectada a bobina do secundário, figura 19. Para tal medição pode ser utilizado um transformador de potencial (TP) ou transformador de corrente (TC) voltados para medição. Estes são classificados conforme sua exatidão pelas normas C57.13 da American National Standards Institute ANSI e pela EB-251.1 da ABNT, com o objetivo de minimizar os erros. Os transformadores voltados para medição não podem ser usados para proteção e vice-versa (FILHO, 1997).

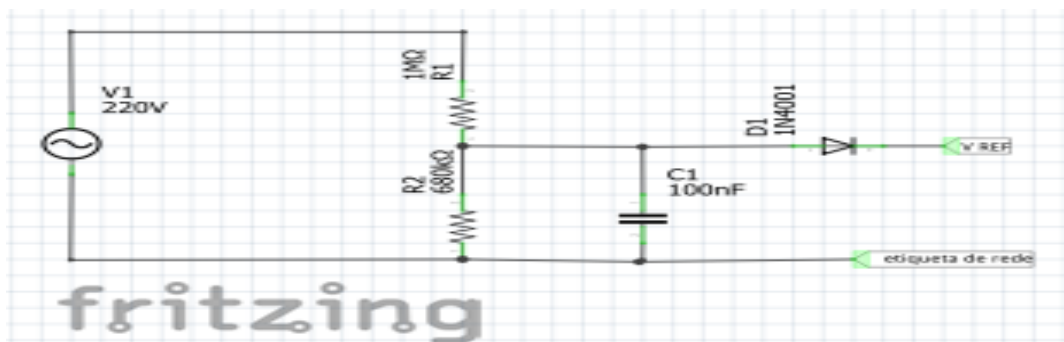
Figura 19 - Transformador para medição em serie com circuito.



Fonte: Autor

Na figura 20 mostra que é possível realizar a medição utilizando resistores como divisores de tensão ligado em série com diodo e capacitor. Devido a tensão AC ser uma senóide, o valor médio entre os ciclos é 0V, ao adicionar o diodo a onda é retificada e será realizada a leitura apenas de um dos semiciclos. O capacitor fará o desacoplamento da corrente contínua (DC). Dada a simplicidade do circuito, a medição é limitada a ondas senoidais (TORRES, 2002).

Figura 20 - Circuito com divisor de tensão não isolado

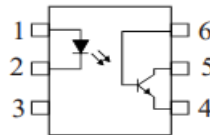


Fonte: Autor

No caso deste projeto, foi escolhido o circuito com o optoacoplador pelas suas características de isolamento e a qualidade do sinal de saída proporcionada pelo semiconductor. O optoacoplador é constituído de um diodo e um transistor encapsulados, estes componentes são semicondutores que tem propriedades elétricas entre as do condutor e as do isolante. Os semicondutores atuam com chaves eletrônicas. Quando polarizados no sentido direto equivalem a chaves fechadas que permite a passagem da corrente, ao realizar a inversão da polarização o comportamento muda e o semiconductor assemelha a uma chave aberta (MALVINO e BATES, 2011).

A figura 21 mostra o encapsulamento do semiconductor:

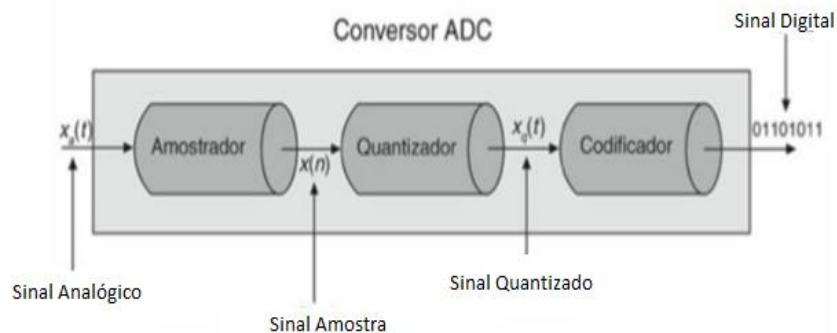
Figura 21 – Optoacoplador 4N25.



Fonte: (MALVINO e BATES, 2011).

O processo de digitalização do sinal analógico pode ser expresso matematicamente: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014). A figura 22 mostra o passo a passo do processo, onde sinal analógico é captado e obtém se uma quantidade de amostras necessárias para reprodução digital do sinal que em seguida é processada pelo microcontrolador.

Figura 22 - Conversor ADC de sinais



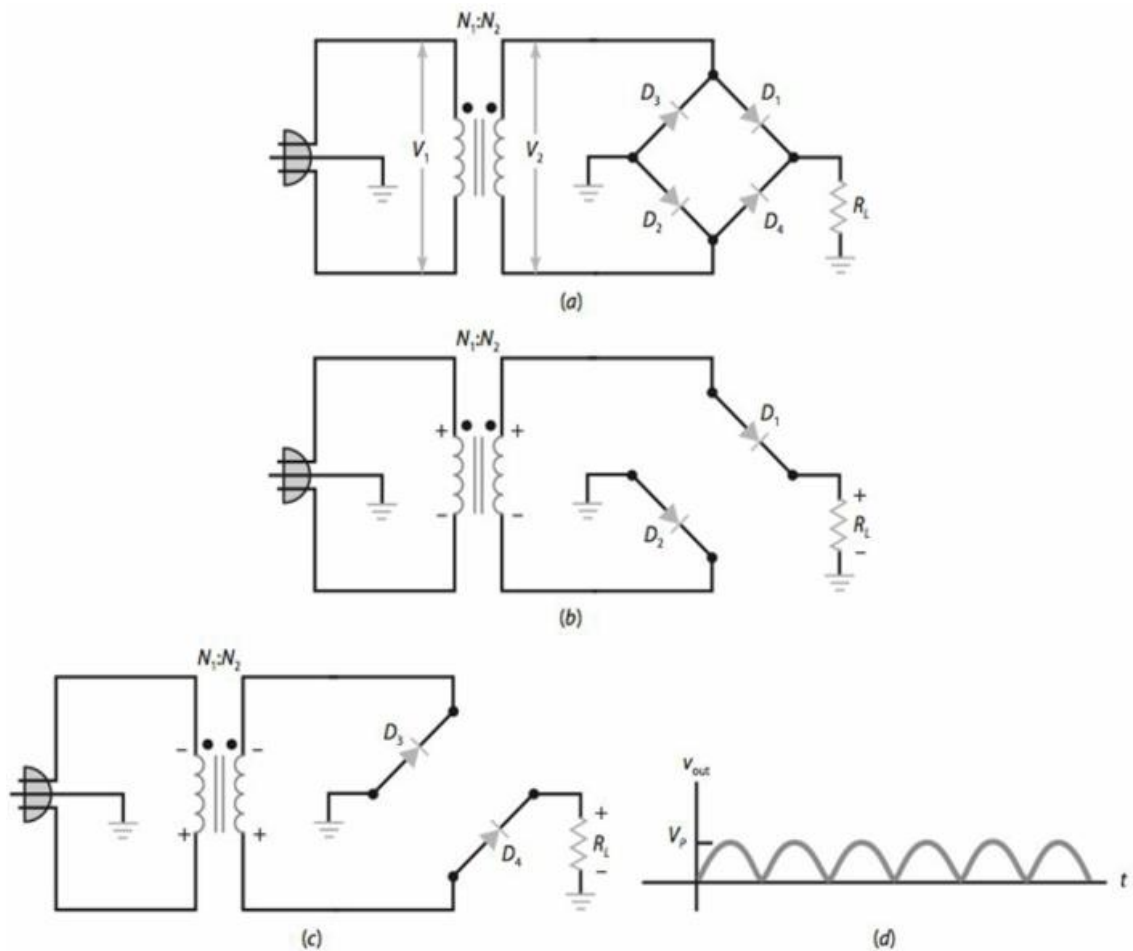
Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014)

Os sensores irão captar os sinais alternados da rede elétrica transformando-os em sinais contínuos, porém variáveis, estes valores captados serão lidos pela entrada analógica do Arduino permitindo estabelecer a relação entre os valores AD e DC.

2.8. Ponte retificação

A figura 23 mostra a ligação de diodos, de modo a produzir um retificador de onda completa em ponte. Esta configuração apresenta como vantagem a corrente na carga irá circular nos dois semiciclos. Isso ocorre porque os diodos D1 e D2 conduzem durante um semiciclo ao término deste param de conduzir e outra metade do semiciclo passa a ser conduzida pelos diodos D3 e D4 (MALVINO e BATES, 2011).

Figura 23 - (a) Ponte retificadora, (b) Semiciclo positivo, (c) Semiciclo negativo, (d) Sinal de saída.



Fonte: (MALVINO e BATES, 2011)

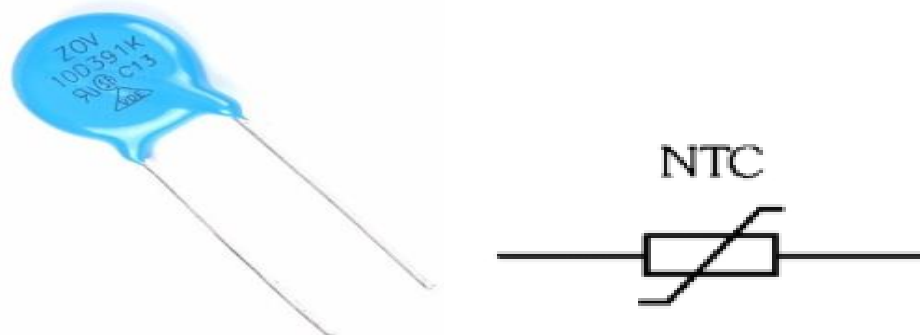
Outra vantagem encontrada é pelo fato durante o ciclo as saídas de tensão e correntes manterão a polaridade (MALVINO e BATES, 2011).

Ao utilizar apenas o optoacoplador a onda fica restrita a um semiciclo, ao implementar o retificador de onda completa em ponte é possível avaliar o comportamento da tensão nos dois semiciclos da senoíde.

2.9. Proteção contra transientes

Para proteção contra transientes serão instalados um varistor, figura 24 e um fusível de vidro, com objetivo de evitar danos ao circuito por picos de tensão acima do valor permitido de funcionamento do dispositivo.

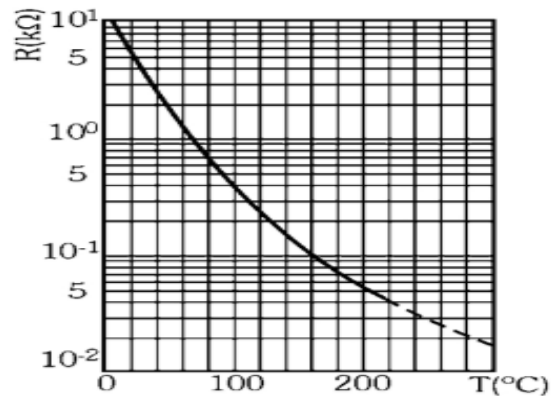
Figura 24 – Varistor e seu símbolo no circuito



Fonte: autor

O varistor é um dispositivo ôhmico do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient Resistor*), a característica dessa propriedade é o fato da resistência diminuir quando há um aumento da temperatura. A variação de temperatura é provocada pela passagem da corrente elétrica que produz uma quantidade de calor, essa dissipação provoca uma queda da resistência como mostrado na figura 25, ou seja, ao atingir o valor máximo especificado pelo fabricante a resistência do varistor vai a zero provocando um curto circuito entre seus terminais (CRUZ e JÚNIOR, 2013).

Figura 25 - Curva de operação.



Fonte: (CRUZ e JÚNIOR, 2013)

Outra característica importante é o tempo de resposta que fica em torno de 10ns. Também será utilizado um fusível de vidro para intersecção do circuito no caso do varistor atuar, de modo a evitar maiores danos ao circuito eletrônico. (www.alldatasheet.com).

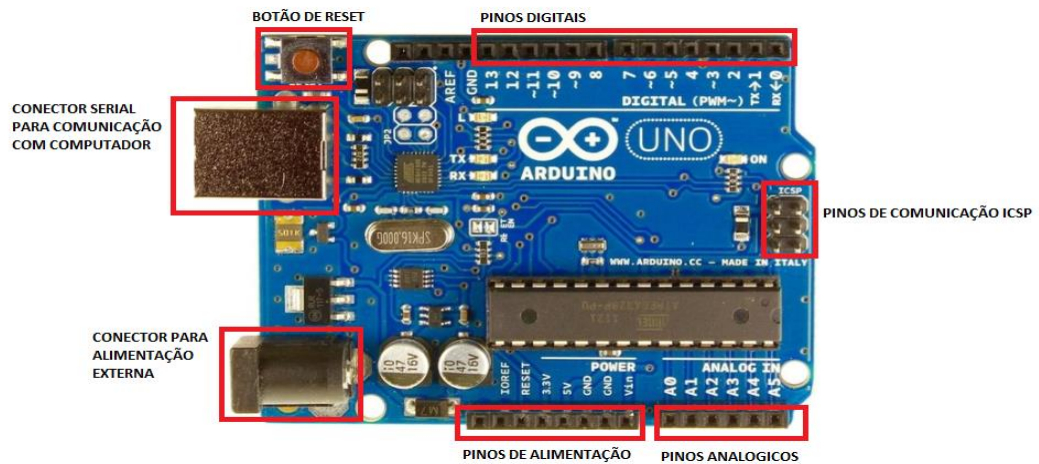
2.10. Arduino

O microcontrolador Arduino é uma plataforma *open source* de prototipagem eletrônica. Possui uma placa embarcada com entradas digitais e analógicas capaz de controlar vários componentes eletrônicos, sensores, motores, saídas de Modulação de largura de Pulso (PWM) entre outras diversas opções e funções. Além disso, foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino. (THOMSEN, 2014). Figura 26 o microcontrolador e o circuito compondo a estrutura do Arduino Uno.

O Arduino foi criado em 2005 na Itália, no Instituto de Design Interativo de Ivrea pelos pesquisadores: David Cuartielles, David Mellis, Massimo Banzi e Tom Igoe, Gianluca Martino. Foi concebido para que fosse uma ferramenta fácil de utilizar e a um custo baixo, porém funcional voltada para estudantes e amadores (THOMSEN, 2014).

O Arduino utiliza código aberto, derivado o Wiring o que possibilita a execução da IDE em diversas plataformas como Macs, PC's e outros.

Figura 26 - Arduino UNO



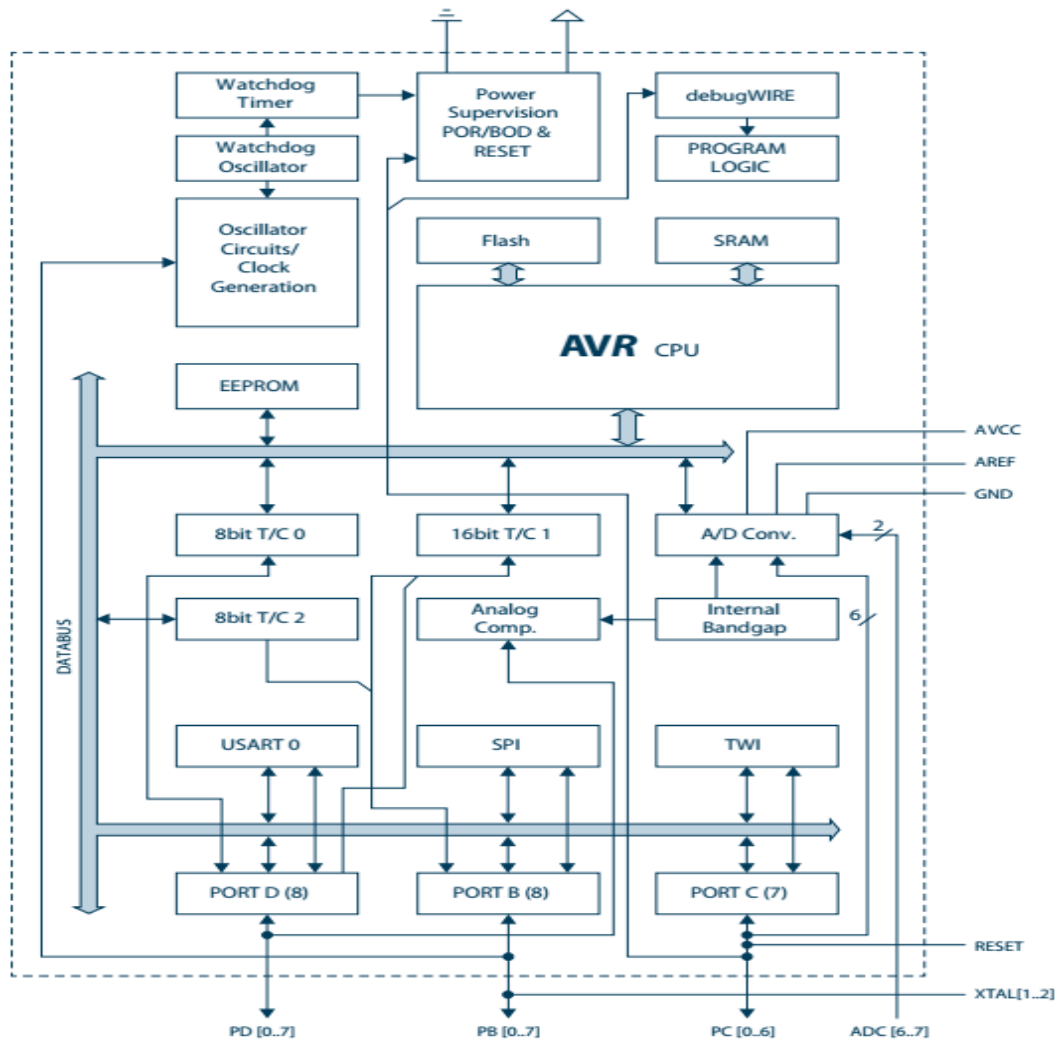
Fonte: Autor

A figura 27 mostra o diagrama do chip controlador ATmega328P utilizado no Arduino Uno. O microcontrolador baseado em RISC AVR Microchip picopower de alto desempenho combina memória flash ISK com recursos de leitura e gravação, registradores, temporizadores flexíveis/contadores com modos de comparação, interrupções internas e externas, USART programável em série, uma interface serial de 2 fios orientada por bytes, porta serial SPI, um conversor A/D de 10 bits de 6 canais (8 canais em TQFP e QFN / MLF pacotes), temporizador de vigilância programável com oscilador interno e cinco modos de economia de energia selecionáveis pelo software.

A arquitetura do microcontrolador é constituída de: unidade central de processamento (CPU), memória dinâmicas e estáticas, registradores, conversores, clock interno e outros como vistos na figura 27.

O dispositivo opera entre 1,8-5,5 volts. Ao executar instruções poderosas em um único ciclo de *clock*, o dispositivo atinge *throughputs* aproximando 1 MIPS por MHz, equilibrando o consumo de energia e a velocidade de processamento (MICROCHIP, 2014).

Figura 27 - Esquemático Arduino



Fonte: (MICROCHIP, 2014)

O Arduino opera em uma frequência típica de 16MHz, a efeito de comparação o *notebook* da Apple utilizando um processador de 2.5 GHz tem uma frequência de clock 150 vezes maior (MONK, 2015).

Figura 28 - Microchip ATmega328P



Fonte: (MICROCHIP, 2015).

A figura 28 mostra um microcontrolador ATmega328p, que é utilizado para controlar o dispositivo Arduino.

É possível montar um Arduino em uma placa de circuito impresso ou mesmo em um protoboard, utilizando o CI acima e alguns componentes. Contudo a plataforma traz facilidade dos conectores e soquetes, além de que sua popularização motivou a fabricação de *shield's* para conexão direta (MONK, 2015).

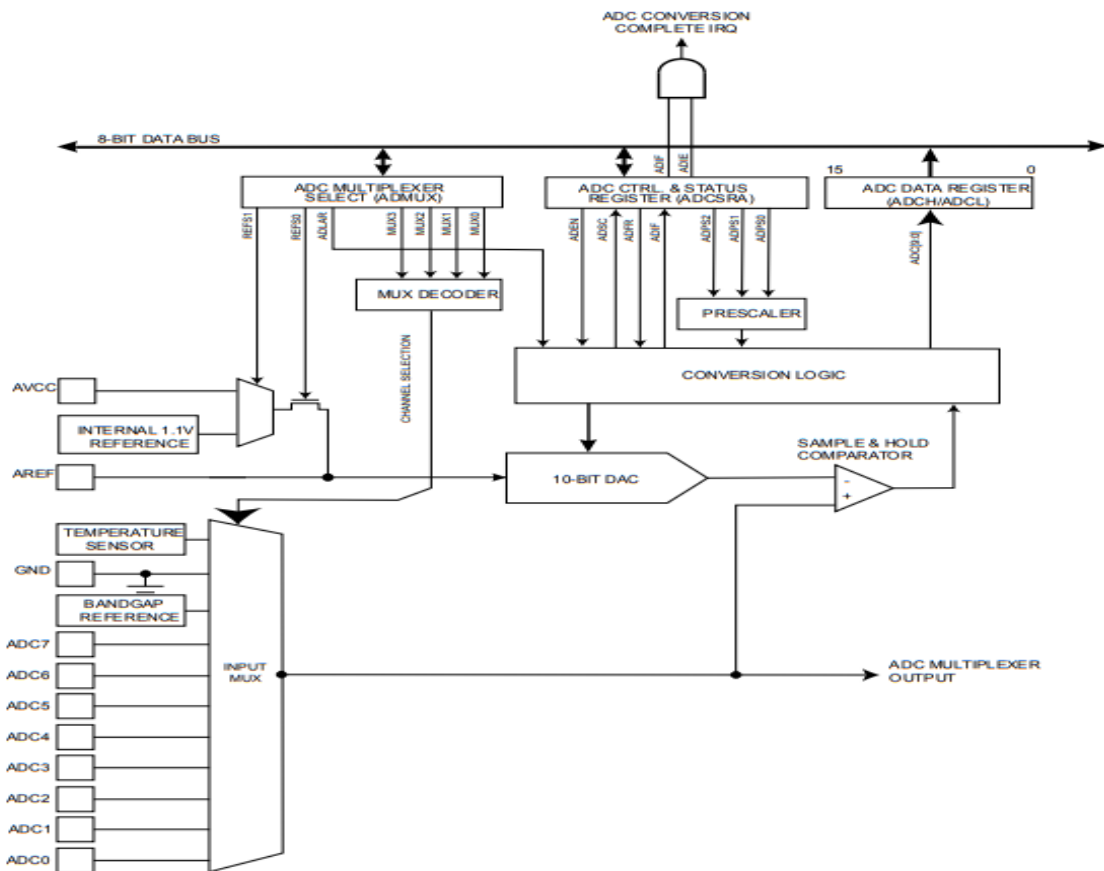
A arquitetura do microcontrolador é constituída de: unidade central de processamento (CPU), memória dinâmicas e estáticas, registradores, conversores, clock interno e outros como vistos na figura 27.

A ATmel tem suas próprias ferramentas para programação dos microcontroladores AVR, podendo ser programado em C/C++ e Assembler. Para engenheiros inflexíveis essas ferramentas são melhores, mas vale lembrar que o principal objetivo do Arduino é simplificar (MONK, 2015).

O barramento *Serial Peripheral Interface (SPI)* é uma comunicação síncrona de comunicação usados em comunicação de curta distância. Permite a comunicação com até 3 dispositivos escravo, a uma taxa de 2Mbps e *Full Duplex*.

O Arduino possui em sua configuração pinos denominados entradas analógicas, nome para identificação dos pinos dedicados a um conversor analógico/digital ou simplesmente conversor A/D figura 29. A resolução para um ATmega328 é de 10 bits, ou seja, varia de 0 a 1023, e a tensão de entrada pode variar de 0V a 5V com tempo de leitura aproximado de 100µs, proporcionando uma frequência máxima de leitura de 10000 vezes por segundo. (SOUZA, 2017)

Figura 29 - Diagrama de Bloco do conversor A/D.



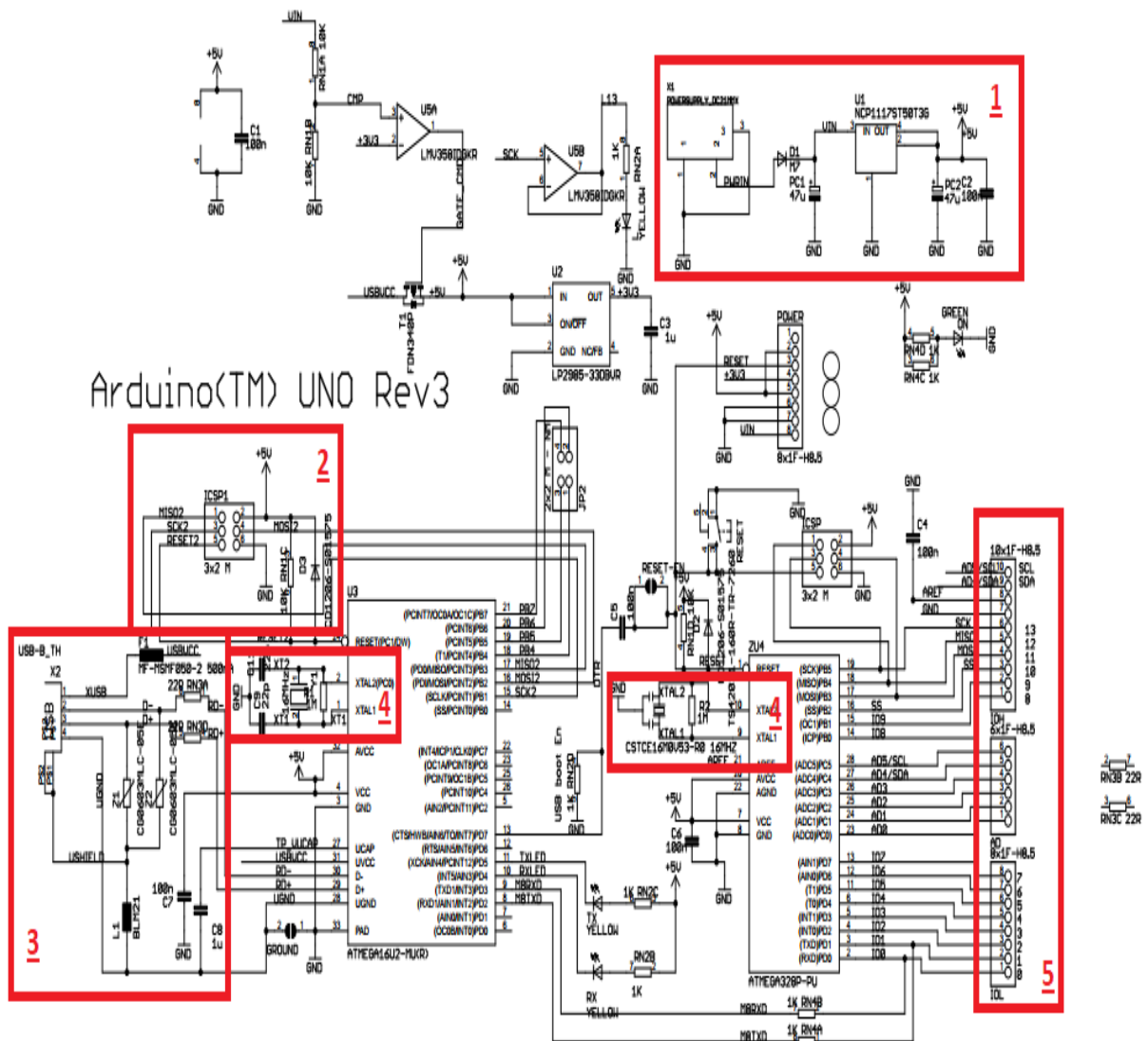
Fonte: (MicroChip, 2014)

Como dito anteriormente a tensão máxima da porta analógica de entrada é de 5V no Arduino, enquanto a tensão da rede elétrica é de 127V ou 220V. Para a redução da tensão é possível utilizar transformador, resistores associados ou outros recursos, para efetuar a medição.

2.10.1. Esquema elétrico do Arduino

Por ser uma plataforma *Open Source*, o fabricante disponibiliza no site os esquemas elétricos completos de suas placas. Na figura 30 é mostrado o esquema do Arduino Uno:

Figura 30 - Diagrama elétrico Arduino Uno.



Fonte: (Arduino, 2018)

1. **Circuito de alimentação:** responsável por regular a tensão de entrada para +5V;
2. **Conector SPI de Comunicação:** conector de barramento SPI;
3. **Circuito de conexão USB:** conector USB e circuito de proteção entre o computador e o CI ATmega 16U2-UM;
4. **Circuito de oscilador:** cristal oscilador e capacitores de estabilização, responsáveis por fornecer o *clock* de funcionamento;
5. **Conectores das portas de I/O:** conectores das portas de entrada e saída para conexão com os dispositivos periféricos;

2.11. Acessórios

Serão utilizados: sensores de tensão e corrente; uma interface para cartão SD e uma *shield* RTC – *real time clock*.

Os sensores são na verdade conversores de energia, onde o objeto transfere energia para o sensor. O objetivo do sensor é que a energia flua apenas no sentido do objeto medido ao medidor, porém em alguns casos é possível que o medidor interfira enviando energia ao objeto medido.

Um fator que determina a qualidade de um sensor é a capacidade de interagir com objeto medido sem alterar suas características.

Uma forma de organizar os sensores é classificando-os conforme a necessidade de alimentação para o funcionamento:

- Sensores passivos dispensam alimentação e são capazes de produzir sinais elétricos em respostas aos estímulos.
- Sensores ativos necessitam de alimentação externa denominado sinal de excitação, este sinal é alterado ao entrar em contato com o objeto a ser medido (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2014).

2.11.1. Sensor de tensão 127 / 220Vac

No projeto será utilizado um sensor/detector de tensão comercial, que tem como função capturar as variações de tensão RMS ocorridas na rede elétrica. Na tabela 5 são mostradas as características do optoacoplador:

Tabela 5 - Características do optoacoplador 4N25

CI 4N25			
Entrada do LED			
<u>Descrição</u>	<u>Simbolo</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidade</u>
Tensão reversa	VF	3	Volts
Corrente direta- DC	IF	60	mA
Potência dissipada no LED	PD	120	mW
Saída do Transistor			
Tensão Coletor- Emissor	VCEO	30	Volts
Tensão Emissor- Coletor	VECO	7	Volts
Tensão Coletor- Base	VCBO	70	Volts
Corrente Coletor	IC	150	mA
Potência dissipada no transistor	PD	150	mW
Tensão de isolamento (f = 60 Hz, t = 1 sec)	VISO	7500	Volts
Resistência de Isolação	RISO	10 ¹¹	Ω

Fonte: Adaptado autor

O Sensor (detector) de Tensão AC 127V / 220V, figura 31 aceita na entrada uma tensão de 0 a 220VAC e o mesmo suporta a tensão de pico de 311VAC. Além disso, o sensor possui um optoacoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada, resistor *pull down* para garantir que a leitura não fique flutuando e um capacitor para estabilizar a saída. A placa é ligada em paralelo, portanto, a corrente do circuito é irrelevante para o sensor (2015).

Figura 31 - Sensor de Tensão

Fonte: (FELIPEFLOP, 2016)

2.11.2. Sensor de corrente não invasivo 100A SCT-013

Trata-se de um transformador janela de núcleo dividido, um tipo especial de transformador de corrente com núcleo basculante permitindo a separação do núcleo, com isso não é necessário abertura do circuito para instalação do equipamento em

série para a leitura da corrente visto na figura 32. Um exemplo desse tipo de medição é o utilizado em um alicate amperímetro com leitura de corrente não invasiva (FILHO, 1997). Ao optar por um transformador de núcleo dividido, o foco é a facilidade e a segurança do usuário na instalação.

O Sensor de Corrente SCT013 é um componente eletrônico com aplicação em diversos circuitos elétricos. Compatível com o Raspberry PI, Arduino, PIC, AVR, ou outras plataformas de prototipagem é uma opção de qualidade e eficiência quando se fala em medir correntes de até 100A sem ser invasivo. O sensor de corrente é capaz de realizar o monitoramento de corrente em motores AC, iluminação e diversos outros sistemas elétricos. É um recurso para o desenvolvimento de sistemas de medição, monitoramento para correntes elétricas ou até mesmo a combinação com circuitos de proteção contra sobrecarga e eventuais problemas que possam vir a ocorrer com sua rede (2015).

Figura 32 - Sensor de corrente não invasivo



Fonte: (FelipeFlop, 2015)

A folha de dados traz os valores de trabalho na tabela 6:

Tabela 6 - Dados Transformador

Transformador de Corrente (TC)		
SCT 013		
<u>Descrição</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidade</u>
Corrente de entrada	0- 100	mA
Corrente de saída	0 - 50	mA
Isolação dieletrica, t = 1 min	6000	Ω

Fonte: Adaptado pelo autor

2.11.3. Módulo de cartão de memória

Este Módulo Cartão SD permite a leitura e escrita em cartão SD, com fácil ligação ao Arduino e outros microcontroladores. Todos os pinos de ligação estão identificados no módulo, que suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, e alimentação de 3.3V ou 5V. A comunicação é feita pela interface SPI (pinos MOSI, SCK, MISO e CS), e o nível de sinal é de 3.3V, exigindo um divisor de tensão para ligação à microcontroladores que trabalhem com 5V, como o Arduino.

Na figura 33 é mostrado o modulo de cartão de memória.

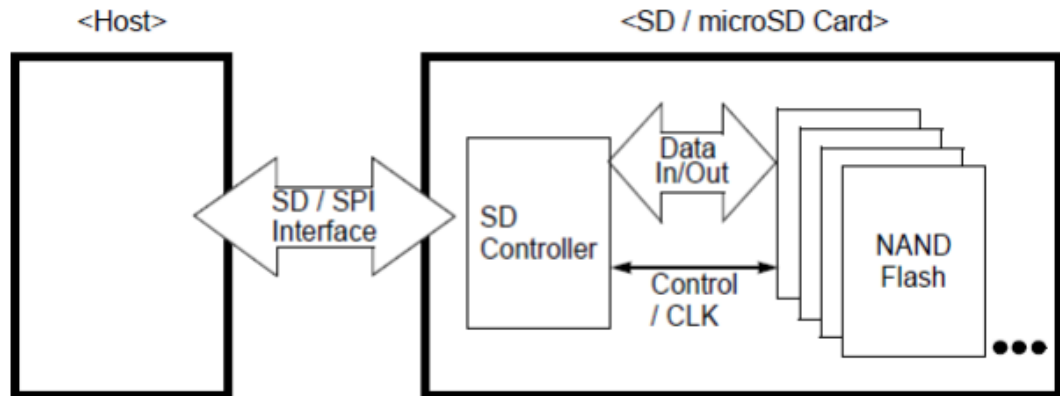
Figura 33 - Modulo Cartão de Memória

Fonte: (FelipeFlop, 2014)

Será utilizado um cartão com capacidade de gravação de 2 Gb no formato padrão FAT32, com velocidade mínima de gravação de 2MB/sec e alimentação de 3,6V. Por ser um tipo de memória *Flash* originada da EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*), os dados permanecem armazenados mesmo após a retirada da alimentação.

A figura 34 mostra o diagrama de blocos:

Figura 34 - Diagrama de blocos do Cartão SD



Fonte: (SUPERTALENT, 2015)

A comunicação entre o cartão de memória e o Arduino é feita através do barramento SPI. A transmissão de dados ocorre em blocos múltiplos de 8 bits, sendo que é utilizado um bit de sinalização de fim de transmissão, os pinos de comunicação são:

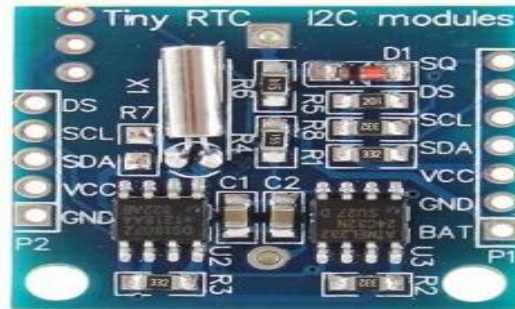
- **Chip Select CS**- comando de seleção;
- **Master Output Slave Input MOSI**- configuração mestre/ escravo;
- **Master Input Slave Output MISO**- configuração mestre/ escravo;
- **Serial Clock SCLK**- pulso de sincronismo;

2.11.4. REAL TIME CLOCK

O *Real Time Clock* (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Em sua placa vem embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão. Este módulo é capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano. Correções como meses com menos de 31 dias e anos bissextos são realizadas automaticamente e pode operar tanto no formato 12 horas como 24 horas. O dispositivo opera com tensão de 3,3-5V e possui um consumo de menos 500nA no modo bateria com oscilador em

funcionamento. (THOMSEN, 2015). Na figura 35 é mostrado o modulo de *Real Time clock*.

Figura 35 - Modulo Real Time



Fonte: (FelipeFlop, 2016)

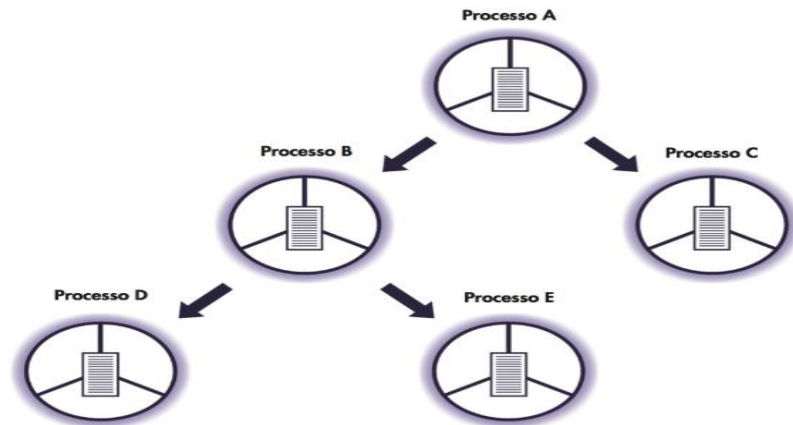
2.12. Métodos de programação

Por conceito, programa é uma sequência de instruções, composta por repetições, chamadas de funções e desvios. Também é possível implementar a concorrência das aplicações apenas com o uso de múltiplos processos independentes ou subprocessos.

Na programação existem três formas de gerenciar a concorrência de processos, são elas: subprocessos, threads e processos independentes. Esta pesquisa visa otimização de recurso de busca, leitura e execução de instruções de modo a obter melhor performance do controlador.

Na programação por subprocesso, um processo criador origina um processo filho ou subprocesso, este evento é caracterizado por uma estrutura hierárquica forte onde a existência do subprocesso depende do processo criador para continuar a existir. Ou seja, ao excluir um processo criador todos os subprocessos derivados dele serão automaticamente extintos. Na figura 36 é apresentado um processo e seus subprocessos:

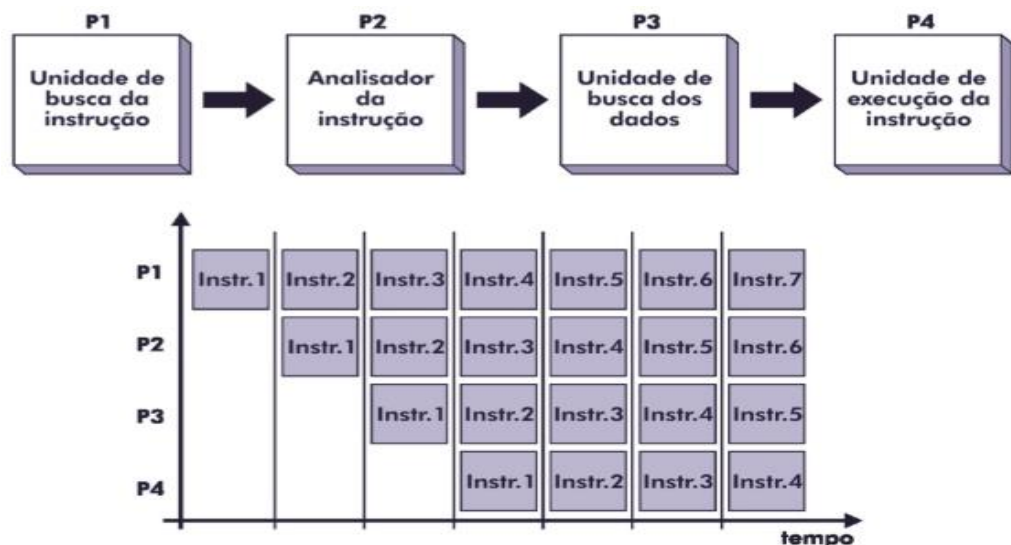
Figura 36 - Estrutura de subprocessos



Fonte: (MACHADO e MAIA, 2017)

A *thread* por sua vez foi introduzida em 1979 buscando redução no tempo gasto, com o intuito de economizar recursos do sistema. O ambiente com *thread* traz o conceito do paralelismo, em que um único processo suporta múltiplas *threads* cada uma realizando parte do código da aplicação por meio do compartilhamento do processador da mesma maneira que um processo. Apesar da vantagem da redução de tempo ocioso do processador, o paralelismo traz problemas, ligados a comunicação e sincronização de *threads*. A utilização de multithread é associada a sistemas com múltiplos processadores, seja em um mesmo núcleo ou em modelo cliente-servidor e ou sistemas distribuídos. Representação do conceito de paralelismo na figura 37: (MACHADO e MAIA, 2017)

Figura 37 - Exemplo de paralelismo



Fonte: (MACHADO e MAIA, 2017)

Threads compartilham o processador passando pelas mesmas mudanças de estado dos processos: execução, espera e pronto. Como visto no exemplo da figura 37, enquanto um thread espera por uma operação de E/S, o processador fica livre para que outro thread pode ser executado. Isso implica que após finalizado um ciclo de clock de busca por exemplo, a instrução ao passar para análise permite que paralelamente seja feita uma nova busco no mesmo ciclo de clock, neste modelo é possível realizar mais de uma instrução que se encontram em diferentes estágios (MACHADO e MAIA, 2017).

Apesar dos benefícios desse tipo de programação, a demanda por implementação de mecanismo de comunicação e sincronização de modo a assegurar a segurança dos dados compartilhados requer mais de um núcleo de processamento (MONK, 2015).

A maneira mais simples de implementar a concorrência em sistemas multiprogramáveis é através de processos independentes. Não existe vinculo do processo criado com processo pai, com isso exige a alocação de recursos, possuindo: espaços de endereçamento, contextos de hardware e software próprios. (MONK, 2015)

2.13. IDE Arduino

É a principal ferramenta de desenvolvimento para plataforma Arduino. Esta plataforma é aberta baseada em Java e sua função é fornecer um ambiente para desenvolvimento de software. Nessa monografia será utilizada para desenvolver o código do Arduino Uno. Na figura 38 mostra-se o ambiente de desenvolvimento na plataforma IDE.

Na IDE será desenvolvido o código que será executado pelo Arduino Uno, que tem como função converter salvar os dados lidos pelas portas analógicas e gravar em um cartão de memória em formato CSV.

Figura 38 - Plataforma de desenvolvimento Arduino IDE

```

Blink
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}

```

1 Intel® Edison on COM1

Fonte: (FELIPEFLOP, 2015).

2.14. Linguagem C

A linguagem C é uma evolução das linguagens BCPL criada por Martin Richards que desenvolveu a linguagem em 1967 para escrita de sistemas operacionais e compiladores, e a linguagem B desenvolvida por Ken Thompson para programação das primeiras versões do sistema operacional UNIX em 1970. A linguagem C de Denis Ritchie foi utilizada inicialmente nos computadores DEC PDP-11, do Bell Laboratories em 1972. Ganhou popularidade por ser usada no desenvolvimento do sistema operacional UNIX. Atualmente ela e suas variações são a base da maioria dos sistemas operacionais (DEITEL e DEITEL, 2011).

A American National Standards Institute (ANSI), concluí a padronização da linguagem como ANSI X3.159-1989 nos Estados Unidos, e posteriormente no mundo através da International Standards Organization (ISO). É uma linguagem que passa por atualizações e revisões (DEITEL e DEITEL, 2011).

Cada linguagem tem sua particularidade e seu objetivo como por exemplo (DAMAS, 2016):

- **COBOL**, para processamento de registros;
- **FORTRAN**, cálculos;
- **LISP** e **PROLOG**, voltada para Inteligência Artificial;
- **PASCAL**, no ambiente acadêmico para ensino de técnicas de programação;

A linguagem C por sua vez apresenta diversas vantagens, pois se adapta ao desenvolvimento de projetos como interfaces gráficas, sistemas operacionais, compiladores e outros (DAMAS, 2016). As vantagens da linguagem:

- **Rapidez**, aproxima-se do Assembly em termos de *performances*, com instruções de alto nível;
- **Simple**, possui sintaxe simplificada com palavras reservadas e operadores;
- **Portável**, pelo padrão ANSI, possibilita o código escrito numa máquina pode ser transportado para outra máquina e compilado sem qualquer alteração;
- **Popular**, é internacionalmente conhecida e utilizada;
- **Modular**, permite a criação de módulos de aplicações, facilitando a separação de projetos em módulos distintos, independentes e reutilizáveis;
- **Alto Nível**, considerada de alto nível quando comparada com a linguagem Assembly, entretanto acessa à maior parte das funcionalidades de Assembly, utilizando expressões e instruções de alto nível;

- **Bibliotecas**, dispõe de bibliotecas com funções dedicadas;
- **Evolução**, a linguagem passa por atualizações, uma delas foi no sentido das Linguagens Orientadas a Objetos, originando uma nova linguagem: C++ (DAMAS, 2016);

A IDE da plataforma Arduino utiliza essencialmente a linguagem C/ C++ para o desenvolvimento de seus códigos-fonte. No projeto será utilizada para desenvolvimento do código de desenvolvimento de controle da plataforma Arduino.

2.15. Metrologia

Segundo afirmação de Lord Kelvin: “O conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou um fenômeno somente existirá quando for possível medi-lo e expressá-lo por meio de números”. Neste contexto, medir é o processo experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física é determinado. Logo, a medição é empregada para monitorar, controlar ou investigar um processo.

O resultado da medição é a faixa de valores dentro da qual estará contido o valor verdadeiro. Dentro do resultado ainda estão presentes os erros da medição, o desvio padrão, a incerteza da medição e outros que tornam a o resultado medição mais preciso (ALBERTAZZI e DE SOUZA, 2014).

Calibração é o método de estabelecer relação com os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões. O resultado da calibração permite estabelecer não somente uma relação entre os valores, mas também correções a serem aplicadas (ALBERTAZZI e DE SOUZA, 2014)

Para este experimento serão considerados (LIRA, 2014):

- Valor médio é uma média aritmética das leituras efetuadas no instrumento, para cada ponto;
- O erro da medição – que é a diferença entre o valor médio de uma grandeza e um valor de uma referência padrão. O valor pode ser

representado em porcentagem proveniente do cálculo: $\text{Erro \%} = (\text{valor médio} - \text{valor padrão}) * 100 / (\text{valor padrão})$;

- Variância, é a diferença entre o valor lido e a média obtida;
- Desvio padrão experimental também denominado incerteza do padrão, indica a variação em torno do valor do erro;
- A incerteza da medição a ser considerada será a incerteza expandida, avaliada como a incerteza do padrão multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, equivalente a uma probabilidade de 95% de abrangência; (LIRA, 2014)

A calibração consiste em submeter o dispositivo a ser avaliado a uma comparação com um padrão que tenha lastro com sistema internacional de medidas (SI), utilizando condições bem definidas em procedimentos para que seja possível proceder com avaliação dos resultados. Um dos requisitos é a repetibilidade das leituras, a quantidade de repetições está associada com a finalidade da calibração. As incertezas do padrão utilizado devem ser melhores que a do dispositivo que está sendo submetido a calibração (ALBERTAZZI e DE SOUZA, 2014).

Foram vistos, neste capítulo, os conceitos técnicos e aspectos fundamentais, que servem de referencial teórico para o desenvolvimento do projeto. Os mesmos permitem dar uma base teórico e estabelecer requisitos e premissas para o desenvolvimento do projeto como pode ser visto nos próximos capítulos.

3. Desenvolvimento

Neste capítulo será mostrado o desenvolvimento do trabalho prático proposto, sua organização e divisão em etapas baseado no que foi apresentado no CAPÍTULO 2. Serão apresentadas etapas de desenvolvimento do projeto que defendera esta monografia.

3.1. Apresentação geral do projeto

A proposta principal desse projeto é elaborar um sistema capaz de monitorar o comportamento da tensão e da corrente em um circuito monofásico, por meio da aquisição de leituras de tensão e corrente por um período armazenando em um cartão de memória.

A ideia central do projeto baseia-se na monitoração da tensão e da corrente verificando perturbações no sistema elétrico como afundamentos de tensão, picos de tensão e perda de alimentação elétricas, os valores de tensão e corrente obtidos, data e hora serão armazenados em cartão de memória em formato CSV compatível com o aplicativo EXCEL da Microsoft para análise posterior por parte do usuário.

O sistema proposto baseado na plataforma Arduino, utiliza um medidor de tensão e corrente que tem como função coletar e enviar ao Arduino os valores da leitura da rede para que sejam tratadas e gravadas no cartão de memória.

Os valores gravados no cartão de memória, são salvos em uma planilha Excel. Nessa planilha serão apresentados os valores salvos em formato de um gráfico, mostrando os valores dos picos de energia, valores de afundamento e verificação de queda de energia.

A proposta principal desse trabalho é analisar o comportamento da tensão e corrente em uma rede elétrica monofásica residencial, mostrando todas as oscilações a que é submetida ao longo do dia utilizando produtos que estão a disposição, com o diferencial do tratamento dos dados coletados.

3.2. Requisitos do projeto

Para o desenvolvimento do projeto serão necessários:

- Um sensor de tensão e um sensor de corrente para captação do sinal elétrico, para a conversão do sinal deverão ser utilizados 02 conversores analógico para digital;
- Um circuito de *clock* para marcação do tempo, com objetivo de fornecer data e hora dos eventos;
- Os resultados obtidos serão armazenados em uma unidade de memória para leitura e posterior avaliação.

No mercado existem diversas opções de controladores/ processadores que podem ser utilizados para esta aplicação: processador 8085; microcontrolador PIC; AVR; Arduino; e outros. Cada qual com as suas particularidades de gravação sendo necessário em alguns casos aquisição de módulos para programação e gravação de memórias do tipo ROM o que agrega em custos para desenvolvimento.

Diante disso o Arduino apresenta vantagens por ser uma plataforma aberta com compartilhamento de soluções tanto de *software* quanto de *hardware* entre usuários. Dentro deste contexto temos os Arduinos:

- Arduino Pro Mini;
- Arduino Nano;
- Arduino Uno;
- Arduino Leonardo;
- Arduino Mega;
- Arduino Due; e outros;

Para desenvolvimento do projeto foi selecionado o Arduino Uno por trazer em sua base um regulador de tensão que possibilita alimentação de 5 a 12 volts DC, além de trazer integrado um circuito de *watchdog* na recuperação do sistema em caso de

falha gerando um sinal de reset para o controlador, trazendo confiabilidade e robustez ao sistema.

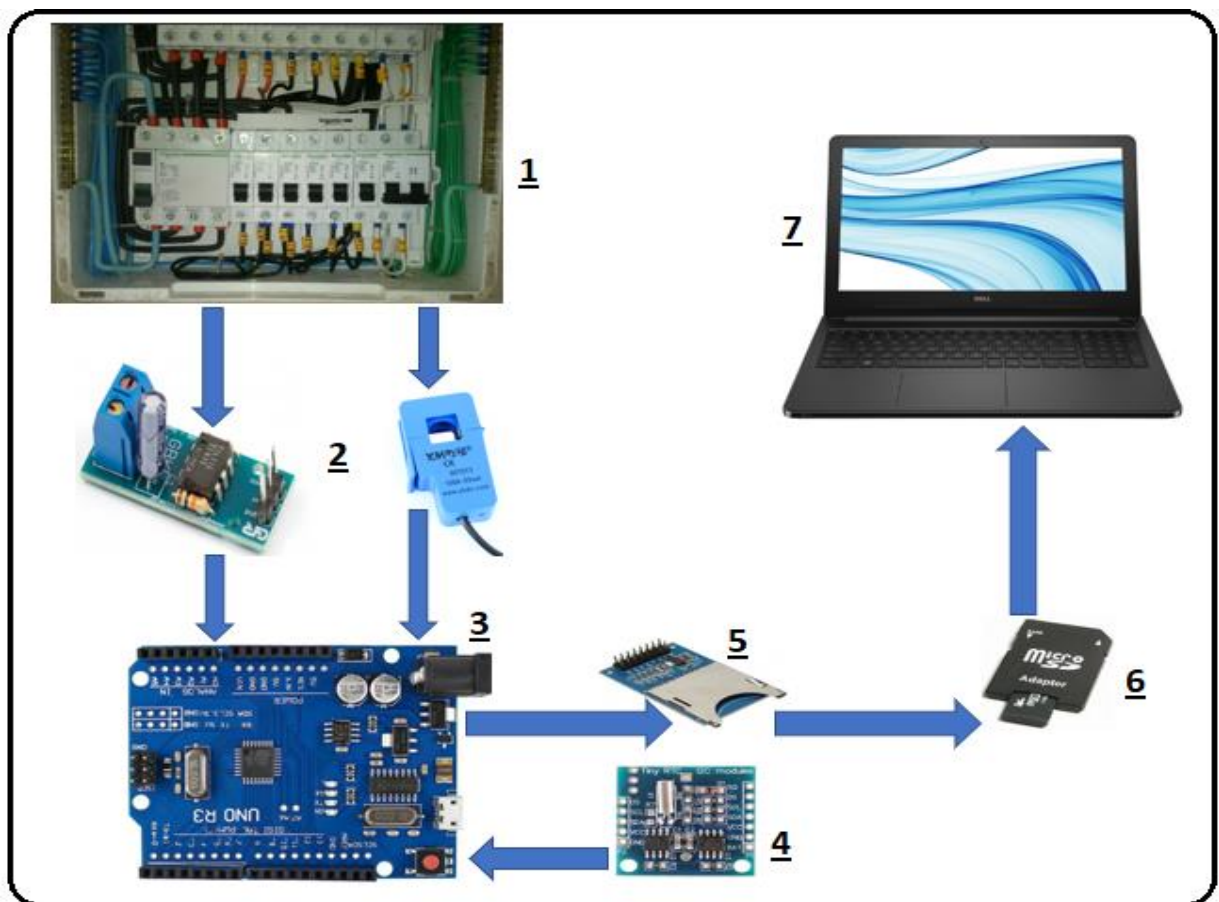
Para entendimento do projeto, será dividido em blocos. A produção de cada bloco será mostrada nesse capítulo e ao final será mostrado resultado obtido da integração desses blocos.

Os Blocos são divididos em blocos de Monitoramento, Processamento de sinal e Tratamento.

3.3. Montagem do circuito

Na figura 39 é apresentado a sequência de montagem do circuito e o fluxo de dados:

Figura 39 - Sequência de ligação



Fonte: Autor

1. Quadro de distribuição residencial;
2. Sensor de tensão e sensor de corrente;
3. Microcontrolador Arduino;
4. Circuito RTC;
5. Módulo de cartão de memória;
6. Adaptador e cartão SD;
7. Computador.

Os valores de tensão e corrente são lidos pelo microcontrolador. São coletadas aproximadamente 550 amostras por segundo destes valores, em seguida é feita a média e o resultado é salvo a cada segundo no cartão de memória junto com a data e hora fornecidos pelo circuito de RTC no momento do evento.

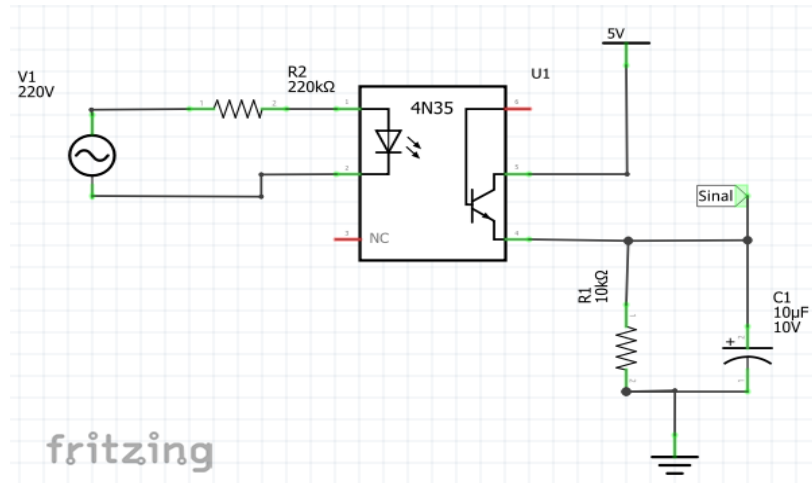
3.4. Bloco de monitoramento

Nesse capítulo será mostrado como é realizado o monitoramento e obtenção do sinal que será tratado pelo sistema de processamento. O sistema é composto por dois sensores: um sensor de tensão com optoacoplador e um sensor de corrente não invasivo.

O sensor de tensão apresenta como vantagem isolar o ponto de medição e o Arduino, onde seu fator de isolação é na ordem de 10^{11} Ohms. É utilizado um resistor de 220K ohms para limitar a corrente do diodo ao qual ele está ligado pelo pino 1 do CI 4N25, em seu encapsulamento tem-se um diodo emissor de luz (LED) que polariza a base do transistor capaz de conduzir ou cortar a corrente em microssegundos. A variação ocorrida entre os pinos 1 e 2 produz uma variação de corrente na base do transistor que é medida através do pino 4 que está ligado ao resistor de 10K ohms em paralelo com o capacitor de $10\mu\text{F}$.

Na figura 40 é apresentado o esquema elétrico:

Figura 40 - Esquemático Sensor de tensão



Fonte: Autor

Conforme a folha de dados, para o acionamento do LED é necessária uma tensão acima de 1,0V e com limitação de corrente máxima de 60mA. Contudo a corrente direta não é o único fator que a ser evitado, a potência máxima no diodo é de 120mW e a tensão de isolação não deve exceder 7500Vac (pk) para uma frequência de 60 Hz e 1 segundo. Pela lei de Kirchhoff tem-se:

$$V_p = 220 \cdot 0,707 = 311 \text{ Vac}$$

V_p = tensão de pico

$I_F = V / R$ (para uma tensão de 311V a queda de tensão no diodo representa menos 1% do valor da tensão), com isso a corrente esperada para uma tensão de pico de 311 Vac é:

$$I_F = \frac{311}{220} \cdot 10^3 = 0,7 \text{ mA}$$

Na figura 41 tem-se os gráficos de operação do optoacoplador fornecido pelo fabricante:

Figura 41 - Gráfico de funcionamento do 4N25

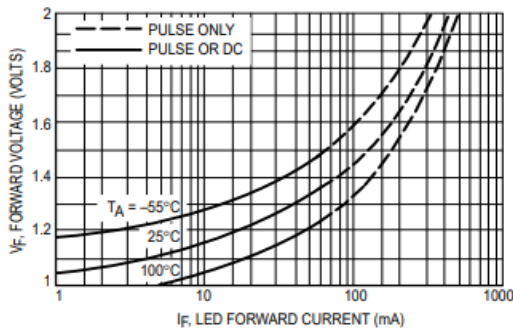


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

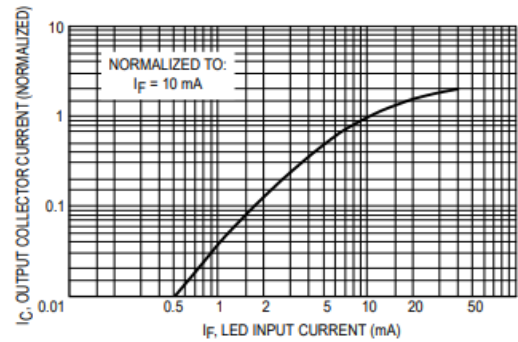


Figure 2. Output Current versus Input Current

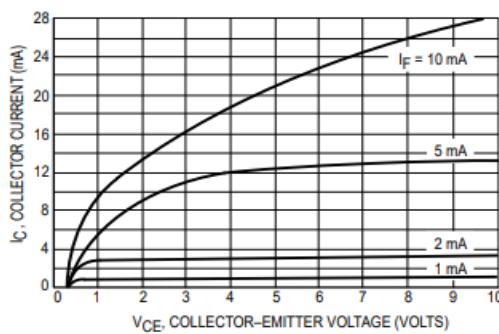


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

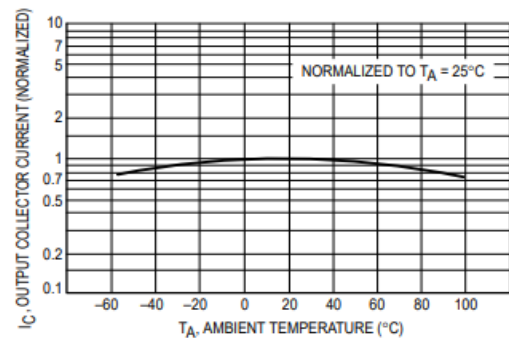


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

Fonte: (www.alldatasheet.com)

Do lado do transistor tem-se o ponto de coleta de dados. A associação do resistor e capacitor resulta em uma constante de tempo conhecida como Tal (τ) dada por:

$$\tau = R \cdot C \quad 3.1$$

τ = Constante de tempo (segundo- s)

R = resistência

C = capacitância

Com isso tem-se:

$$\tau = 10^4 \cdot 10^{-5}$$

$$\tau = 1 \text{ s}$$

No caso do sensor de corrente, o campo produzido pela passagem da corrente pelo fio induzirá um campo no transformador de corrente, dispositivo mostrado em operação na figura 42:

Figura 42 - Sensor de corrente



Fonte: Adaptado pelo autor de www.arduitronics.com

3.5. Bloco de processamento do sinal

Após o sinal ser captado pelo bloco de monitoramento, o mesmo é passado para a central de processamento, no caso, a plataforma Arduino, que tem a função de ler os sinais dos sensores, converter o sinal analógico em digital e gravar as variações ocorridas na rede elétrica.

O Arduino efetua a leitura do pino analógico ligado ao sensor. Os sensores produzem uma variação de 0 a 5V na porta, que possui um conversor analógico/ digital interno de 10 bits, com range de 0 a 1023.

O sistema proposto utiliza o Arduino que roda um algoritmo baseado no teorema Nyquist, o número de amostra tem que ser de 2 vezes a frequência, neste caso temos uma frequência de 60Hz, logo serão necessárias 120 amostras.

Será feita uma média das 550 amostras coletadas, em seguida armazenado no cartão de memória com data e hora para ser avaliado com auxílio do Excel.

4. Testes e resultados

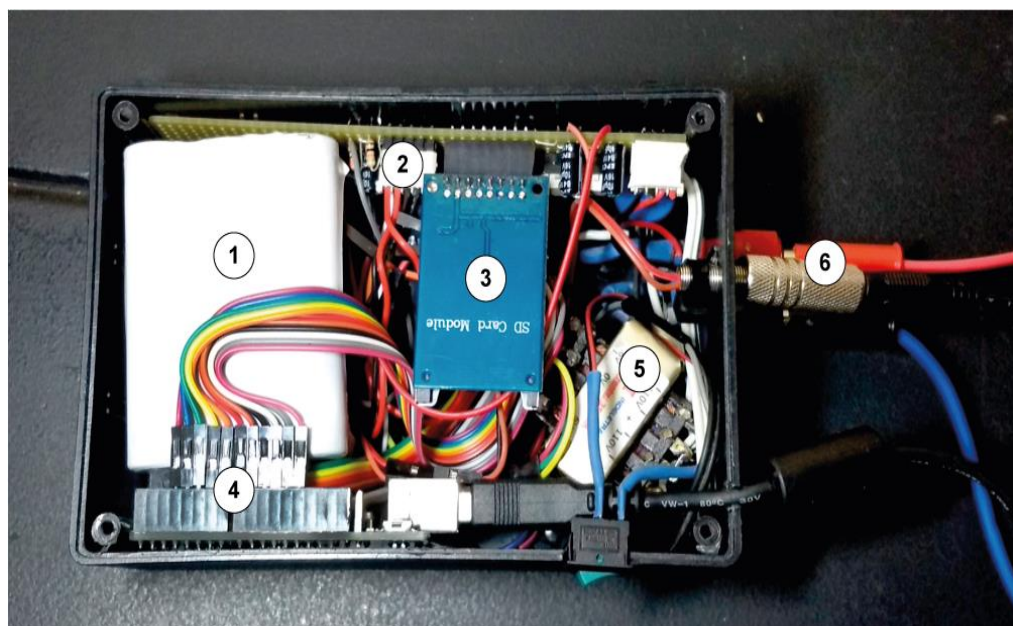
Neste capítulo serão apresentados os testes e os procedimentos adotados para aferição dos sensores.

Os testes serão realizados em ambiente simulado e em ambiente real, com objetivo de coletar uma faixa maior de amostra de modo a verificar a linearidade do comportamento dos sensores.

4.1. Montagem do *hardware*

No desenvolvimento do projeto foi implementado uma fonte simples com um transformador de 12 volts, um circuito retificador de onda completa e um capacitor para alimentação de uma bateria de 9,6 volts que permitirá ao sistema continuar funcionando na falta de energia. A adição da bateria se faz recomendável para garantir a leitura quando a tensão alternada caia a níveis insuficiente para manter a operação a fonte de alimentação, porque em caso de perda total de alimentação o instrumento permanecer ligado para continuar lendo os sensores. Na figura 43 é possível ver a disposição dos componentes do medidor:

Figura 43 - Disposição do circuito



Fonte: Autor

1. Bateria de 9,6 Vdc;
2. Placa de circuito impresso onde foram montados circuitos eletrônicos necessários e local no qual saem as conexões para o Arduino;
3. Circuito do cartão de memória;
4. Arduino;
5. Transformador para alimentação da bateria;
6. Ponto de conexão dos sensores pelo usuário;

Outro recurso utilizado foi a instalação de LED's de indicação. A escrita no display consome recursos e processamento por parte do Arduino, como o objetivo do dispositivo não é a leitura instantânea e sim a coleta de dados para avaliação posterior, optou-se por efetuar um número maior de leituras dos sensores, em torno de 550 leituras por segundo proporcionando uma média de dados mais uniforme. O LED verde irá acender e apagar alternadamente indicando que o programa está em execução; os LED's vermelhos quando acesos indicam que há presença de sinal no sensor de tensão e/ou corrente. Como o instrumento foi projetado para operar tanto em 110V quanto em 220V, o LED foi configurado para piscar quando a tensão for inferior a 141V e permanecer aceso quando a tensão for superior a 142V. Este recurso servirá para estimar a rede que está sendo avaliada.

Na figura 44 vemos os LED's de indicação, ao lado o fusível e a direita as conexões dos sensores:

Figura 44 - Dispositivo fechado

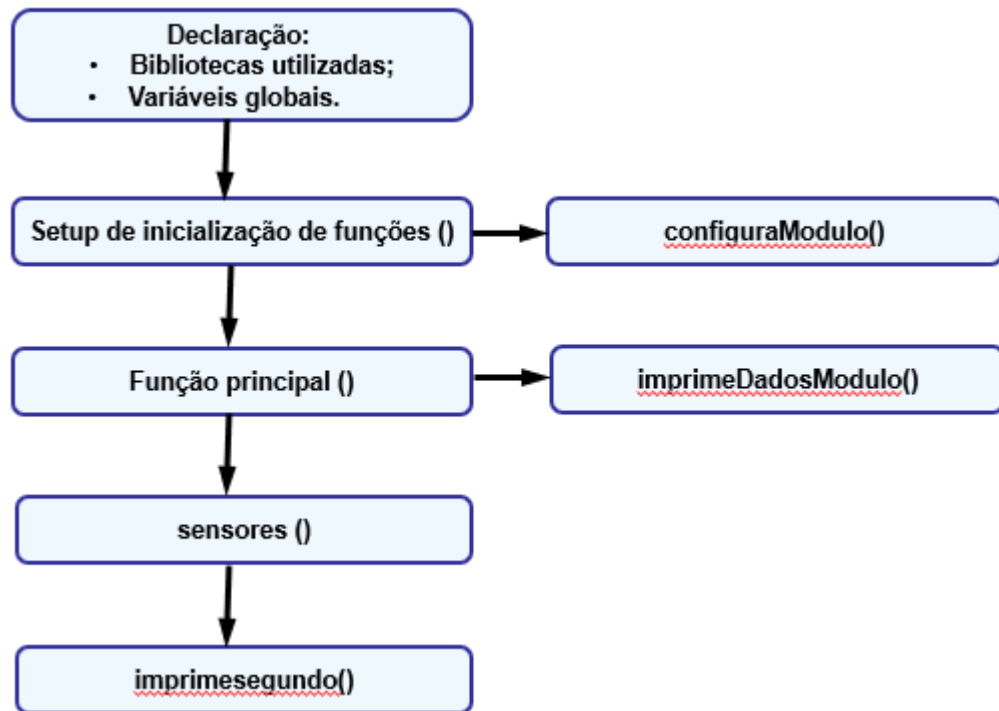


Fonte: o autor

4.2. O software

O programa está no apêndice. Na figura 45 mostra a relação entre as funções.

Figura 45 - Apresentação das funções do código



Fonte: Autor

O código fonte foi escrito com base em linguagem estruturada, utilizando funções para tornar o programa mais claro, obtendo assim melhores resultados na tratativa do programa em módulos. Este recurso facilita possíveis manutenções.

A arquitetura aberta do Arduino permite o compartilhamento e reaproveitamento de funções, trechos de códigos e bibliotecas completas. No projeto estes recursos foram considerados e utilizados.

A leitura do sensor de tensão foi priorizada onde foi utilizada a estrutura de repetição WHILE para obter 550 leituras por segundo em média, visando apresentação de um resultado confiável.

Para leitura do sensor de corrente foi utilizada uma biblioteca disponível no site do fabricante, que apresentou estabilidade e resultados satisfatórios para valores de corrente acima de 200mA.

4.3. Testes simulados

O objetivo do teste em ambiente simulado é ter o controle e poder antecipar variações de tensão que às vezes só ocorrerão uma vez por dia, devido ao aumento ou diminuição do consumo por exemplo em caso de acionamento de uma determinada carga que pode causar um afundamento de tensão momentâneo.

Os equipamentos usados nos testes serão:

- 01 Varivolt/ variac, utilizado para variar a tensão alternada de 0 a 270 volts, figura 46;

Figura 46 - Varivolt



Fonte: <http://www.instrumbrasil.com.br>

- 02 multímetros digitais calibrados em laboratório certificado pelo Inmetro, para leitura de tensão e corrente. Serão utilizados como padrões de referência na figura 47:

Figura 47 - Multímetros da Fluke



Fonte: <https://www.anhangueraferramentas.com.br>

Os testes serão realizados utilizando método por comparação dos valores lidos pelo protótipo confrontado com os valores exibidos pelos multímetros rastreados.

4.3.1. Primeiro ensaio

Para este ensaio em ambiente simulado serão adotados valores crescentes de tensão com objetivo de atestar o funcionamento do sensor de tensão e caso necessário proceder com os ajustes de *hardware* e *software*. Também será utilizado uma carga para provocar o fluxo de corrente.

Os valores escolhidos estão na faixa de 0 a 270 (valor máximo fornecido pelo Variac). Na tabela 7 tem-se os valores de tensão contínua em função da tensão alternada, com variação de 0,5 Vdc:

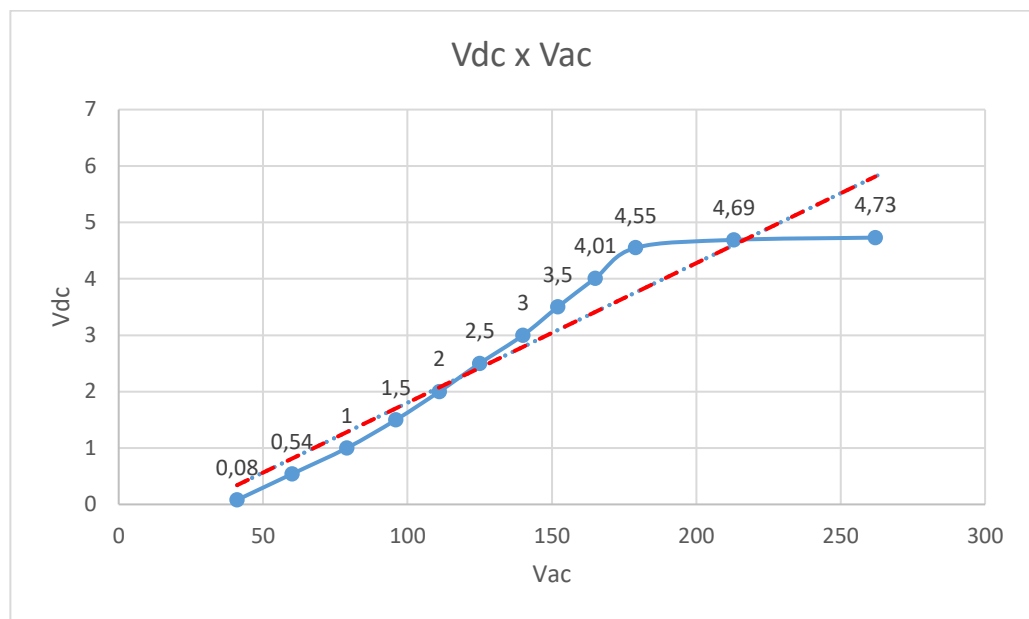
Tabela 7 - Tensão alternada em função da tensão contínua

Vac (RMS)	Vdc
41	0,08
60	0,54
79	1
96	1,5
111	2
125	2,5
139	2,99

Fonte: Autor

A variação ocorrida na tensão alternada de entrada no optoacoplador, a partir de 179 Vac, produz uma tensão no coletor de 4,55 Vdc, não apresentando mais linearidade, uma vez que os valores AC passam a ter um valor equidistante em relação ao valor apresentado no coletor do transistor do optoacoplador. No gráfico da figura 48 esta descontinuidade linear pode-se observar melhor, com a inflexão da curva a partir do 179 Vac:

Figura 48 - Gráfico de tensão: Vdc x Vac



Fonte: Autor

No gráfico podemos observar a não linearidade nos valores obtidos, que ocorrem com a também a saturação do transistor, onde a variação de tensão alternada, praticamente, dobra quando comparada a variações Vdc inferior a 0,5 Vdc.

A partir do momento que o transistor entra na região de saturação perde-se a precisão da medida. Em equipamentos de medição tem-se as escalas responsáveis por fornecer uma leitura mais exata conforme a grandeza a ser observada, em alguns equipamentos estas escalas podem ser selecionáveis por hardware ou software como visto na figura 49:

Figura 49 - Escalas de multímetros.



Fonte: Autor

Após os primeiros testes foi identificada a necessidade de utilização de um fator de escala para melhorar a precisão dos valores lido. Para tanto foram utilizados recursos tanto de hardware quanto de software. Referente ao hardware foram realizadas as seguintes alterações: calculado novo valor de resistência de coletor para a escala 26 a 140 Vac; e adicionado novo circuito com optoacoplador 4N25, com novos valores para resistência do LED e do emissor, dando origem a segunda escala de 141 a 260 Vac, selecionáveis automaticamente.

O objetivo é decompor o gráfico da figura 46 para trabalhar o máximo no ponto quiescente do transistor, evitando a saturação do transistor. Após os novos cálculos onde foram utilizados 02 resistores de 10KΩ em série, no emissor do transistor, foram obtidos os valores experimentais, utilizando o varistor e originando os resultados mostrados na tabela 8.

Pela tabela 8 pode-se notar a variação da tensão alternada nos últimos valores obtidos na saturação do transistor. No gráfico da figura 50 foram considerados os valores a partir de 43 até 141,7 volts alternados a uma frequência de 60HZ obtendo a equação da reta (Equação 4.1) e um coeficiente de linearidade próximo de 1.

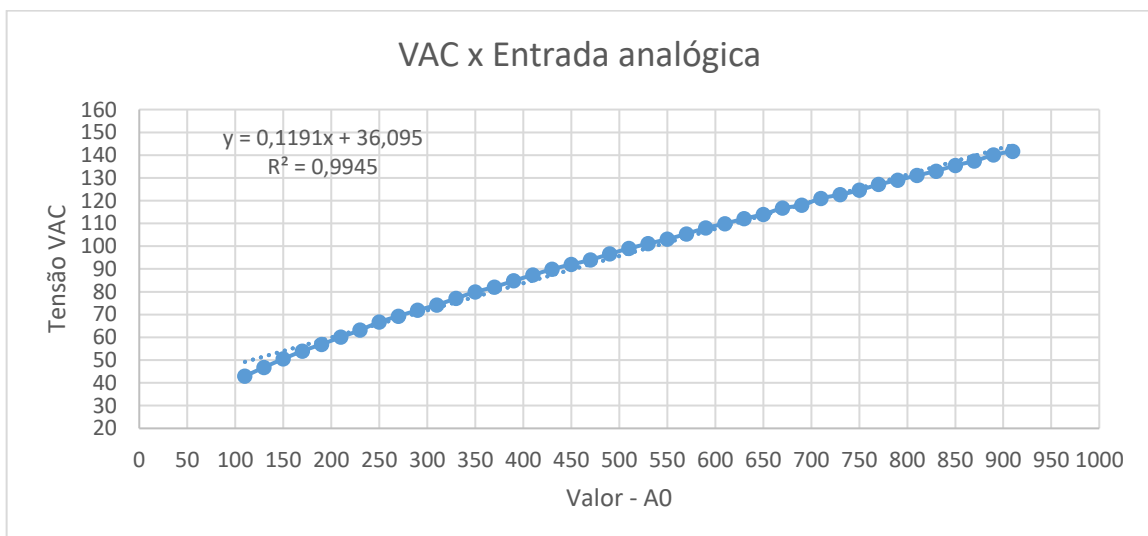
$$y = 0,1191 \cdot x + 36,095$$

4.1

Tabela 8 - Primeira escala

Leitura	A0	VAC	Leitura	A0	VAC	Leitura	A0	VAC
1	10	12,15	18	350	79,9	35	690	118
2	30	22,29	19	370	82,1	36	710	121
3	50	28,88	20	390	84,8	37	730	122,6
4	70	34,17	21	410	87,4	38	750	124,6
5	90	38,73	22	430	89,9	39	770	127,1
6	110	42,91	23	450	92	40	790	129
7	130	46,82	24	470	94	41	810	131,1
8	150	50,5	25	490	96,6	42	830	133
9	170	53,97	26	510	99	43	850	135,5
10	190	56,94	27	530	101,1	44	870	137,4
11	210	60,06	28	550	103,1	45	890	140,1
12	230	63,15	29	570	105,4	46	910	141,7
13	250	66,7	30	590	108	47	930	144,2
14	270	69,3	31	610	109,9	48	950	146,8
15	290	71,9	32	630	112,1	49	970	151,6
16	310	74,2	33	650	114			
17	330	77,1	34	670	116,7			

Fonte: Autor

Figura 50 - Primeira escala

Fonte: Autor

As funções matemáticas de tendências e arredondamento do Excel foram implementadas para dar origem à tabela 9, fundamentada nos valores da tabela 8:

Tabela 9 – Valores esperados da primeira escala

ID	A0	Valor estimado	ID	A0	Valor estimado	ID	A0	Valor estimado
1	0	0	62	305	73,63	123	610	109,9
2	5	6,08	63	310	74,2	124	615	110,45
3	10	12,15	64	315	74,93	125	620	111
4	15	14,69	65	320	75,65	126	625	111,55
5	20	17,22	66	325	76,38	127	630	112,1
6	25	19,76	67	330	77,1	128	635	112,58
7	30	22,29	68	335	77,8	129	640	113,05
8	35	23,94	69	340	78,5	130	645	113,53
9	40	25,59	70	345	79,2	131	650	114
10	45	27,23	71	350	79,9	132	655	114,68
11	50	28,88	72	355	80,45	133	660	115,35
12	55	30,2	73	360	81	134	665	116,03
13	60	31,53	74	365	81,55	135	670	116,7
14	65	32,85	75	370	82,1	136	675	117,03
15	70	34,17	76	375	82,78	137	680	117,35
16	75	35,31	77	380	83,45	138	685	117,68
17	80	36,45	78	385	84,13	139	690	118
18	85	37,59	79	390	84,8	140	695	118,75
19	90	38,73	80	395	85,45	141	700	119,5
20	95	39,78	81	400	86,1	142	705	120,25
21	100	40,82	82	405	86,75	143	710	121
22	105	41,87	83	410	87,4	144	715	121,4
23	110	42,91	84	415	88,03	145	720	121,8
24	115	43,89	85	420	88,65	146	725	122,2
25	120	44,87	86	425	89,28	147	730	122,6
26	125	45,84	87	430	89,9	148	735	123,1
27	130	46,82	88	435	90,43	149	740	123,6
28	135	47,74	89	440	90,95	150	745	124,1
29	140	48,66	90	445	91,48	151	750	124,6
30	145	49,58	91	450	92	152	755	125,23
31	150	50,5	92	455	92,5	153	760	125,85
32	155	51,37	93	460	93	154	765	126,48
33	160	52,24	94	465	93,5	155	770	127,1
34	165	53,1	95	470	94	156	775	127,58
35	170	53,97	96	475	94,65	157	780	128,05
36	175	54,71	97	480	95,3	158	785	128,53
37	180	55,46	98	485	95,95	159	790	129

ID	A0	Valor estimado	ID	A0	Valor estimado	ID	A0	Valor estimado
38	185	56,2	99	490	96,6	160	795	129,53
39	190	56,94	100	495	95,65	161	800	130,05
40	195	57,72	101	500	96,3	162	805	130,58
41	200	58,5	102	505	96,95	163	810	131,1
42	205	59,28	103	510	99	164	815	131,58
43	210	60,06	104	515	99,53	165	820	132,05
44	215	60,83	105	520	100,05	166	825	132,53
45	220	61,61	106	525	100,58	167	830	133
46	225	62,38	107	530	101,1	168	835	133,63
47	230	63,15	108	535	101,6	169	840	134,25
48	235	64,04	109	540	102,1	170	845	134,88
49	240	64,93	110	545	102,6	171	850	135,5
50	245	65,81	111	550	103,1	172	855	135,98
51	250	66,7	112	555	103,68	173	860	136,45
52	255	67,35	113	560	104,25	174	865	136,93
53	260	68	114	565	104,83	175	870	137,4
54	265	68,65	115	570	105,4	176	875	138,08
55	270	69,3	116	575	106,05	177	880	138,75
56	275	69,95	117	580	106,7	178	885	139,43
57	280	70,6	118	585	107,35	179	890	140,1
58	285	71,25	119	590	108	180	895	140,5
59	290	71,9	120	595	108,48	181	900	140,9
60	295	72,48	121	600	108,95	182	905	141,3
61	300	73,05	122	605	109,43	183	910	141,7

Fonte: Autor

O mesmo princípio foi utilizado para a segunda escala que irá de 141 – 260 VAC. Porém ao adicionar o segundo optocoplador o resistor do LED adotado foi de 180KΩ e o do emissor foi de 10KΩ. A tabela 10 exhibe os valores obtidos na simulação com uso do Varivolt:

Tabela 10 - Segunda escala

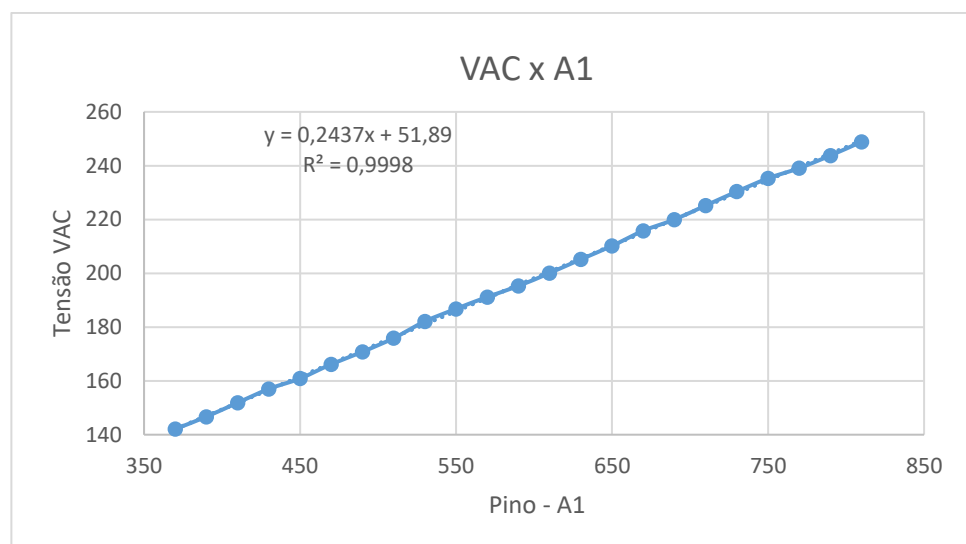
Leitura	A1	VAC	Leitura	A1	VAC	Leitura	A1	VAC
1	10	18,09	16	310	126,5	31	610	200,1
2	30	33,6	17	330	131,4	32	630	205,2
3	50	44,6	18	350	137,1	33	650	210,2
4	70	52,52	19	370	142,1	34	670	215,8
5	90	61,03	20	390	146,7	35	690	220

Leitura	A1	VAC	Leitura	A1	VAC	Leitura	A1	VAC
6	110	68,2	21	410	151,9	36	710	225,2
7	130	75	22	430	157	37	730	230,4
8	150	81,6	23	450	160,9	38	750	235,3
9	170	87,8	24	470	166,2	39	770	239,1
10	190	93,2	25	490	170,8	40	790	243,8
11	210	100	26	510	175,9	41	810	248,9
12	230	105,2	27	530	182,1	42	830	255,7
13	250	111,2	28	550	186,8	43	850	263,7
14	270	115,2	29	570	191,2	44	870	266,5
15	290	121,2	30	590	195,3	45	890	270

Fonte: Autor

Utilizado os valores a partir de 142 volts alternados tem-se uma reta que pode ser vista na figura 51.

Figura 51 - Segunda escala



Fonte: Autor

A tabela 11 apresenta os resultados esperados calculados no Excel para escala de valores de 137,1 – 273,5 Vac:

Tabela 11 - Valores esperados da segunda escala

ID	A1	Valor esperado	ID	A1	Valor	ID	A1	Valor esperado
1	350	137,1	39	540	184,45	77	730	230,4
2	355	138,35	40	545	185,625	78	735	231,625
3	360	139,6	41	550	186,8	79	740	232,85
4	365	140,85	42	555	187,9	80	745	234,075
5	370	142,1	43	560	189	81	750	235,3
6	375	143,25	44	565	190,1	82	755	236,25
7	380	144,4	45	570	191,2	83	760	237,2
8	385	145,55	46	575	192,225	84	765	238,15
9	390	146,7	47	580	193,25	85	770	239,1
10	395	148	48	585	194,275	86	775	240,275
11	400	149,3	49	590	195,3	87	780	241,45
12	405	150,6	50	595	196,5	88	785	242,625
13	410	151,9	51	600	197,7	89	790	243,8
14	415	153,175	52	605	198,9	90	795	245,075
15	420	154,45	53	610	200,1	91	800	246,35
16	425	155,725	54	615	201,375	92	805	247,625
17	430	157	55	620	202,65	93	810	248,9
18	435	157,975	56	625	203,925	94	815	250,6
19	440	158,95	57	630	205,2	95	820	252,3
20	445	159,925	58	635	206,45	96	825	254
21	450	160,9	59	640	207,7	97	830	255,7
22	455	162,225	60	645	208,95	98	835	257,7
23	460	163,55	61	650	210,2	99	840	259,7
24	465	164,875	62	655	211,6	100	845	261,7
25	470	166,2	63	660	213	101	850	263,7
26	475	167,35	64	665	214,4	102	855	264,4
27	480	168,5	65	670	215,8	103	860	265,1
28	485	169,65	66	675	216,85	104	865	265,8
29	490	170,8	67	680	217,9	105	870	266,5
30	495	172,075	68	685	218,95	106	875	267,375
31	500	173,35	69	690	220	107	880	268,25
32	505	174,625	70	695	221,3	108	885	269,125
33	510	175,9	71	700	222,6	109	890	270
34	515	177,45	72	705	223,9	110	895	270,875
35	520	179	73	710	225,2	111	900	271,75
36	525	180,55	74	715	226,5	112	905	272,625
37	530	182,1	75	720	227,8	113	910	273,5
38	535	183,275	76	725	229,1			

Fonte: Autor

Para aferição da corrente foram utilizadas cargas variadas e instalado um alicate amperímetro para medição da corrente no circuito, sem a necessidade de abertura do circuito para instalação em série de amperímetro.

4.3.2. Segundo ensaio

Neste ensaio será efetuada a calibração dos sensores utilizando padrões com rastreabilidade ligada ao INMETRO. O certificado de calibração do padrão utilizado foi expedido por laboratório reconhecido e está em anexo. Os padrões utilizados serão: multímetro digital para medição de tensão alternada e um alicate amperímetro digital na medição de corrente AC.

A variação de tensão será feita por meio do varivolt de modo a obter-se os pontos que serão considerados: para corrente serão utilizadas cargas tipicamente resistivas e para ambos os testes a frequência considerada será de 60HZ. A tabela 12 apresenta os resultados da calibração:

Tabela 12 - Calibração de tensão

CALIBRAÇÃO - ESCALA 1

Valores escolhidos	V.Médio Instrumento	V. Médio Padrão	Erro (%)	Variância	I.M. Instrumento	I.M. Padrão	k (padrão)
90 VOLTS	95,16	90,36667	5,30432	0,0613	0,24759	0,23	2
110 VOLTS	112,6933	110,1667	2,29349	0,00963	0,09815	0,23	2
127 VOLTS	128,6833	127,4333	0,98091	0,13083	0,36171	0,23	2

CALIBRAÇÃO - ESCALA 2

Valores escolhidos	V.Médio Instrumento	V. Médio Padrão	Erro (%)	Variância	I.M. Instrumento	I.M. Padrão	k (padrão)
190 VOLTS	195,9167	190,0333	3,09595	0,26043	0,51033	0,21	2
220 VOLTS	226,2933	220,3667	2,68946	0,38413	0,61978	0,21	2
240 VOLTS	244,7367	240	1,97361	1,85543	1,36214	0,21	2

Fonte: Autor

Para conferência dos valores de tensão e corrente será utilizado a equação considerando a tensão alternada com frequência de 60Hz:

Para os testes de corrente, foram utilizadas cargas comuns de uso diário como: lâmpadas, ferro de passar, forno elétrico, chuveiro e outros. Na tabela 13, estão

representados os valores de corrente alternada com frequência de 60HZ a 220 volts obtidos para calibração do sensor:

Tabela 13 - Calibração de corrente

TESTE DE CORRENTE							
Valores escolhidos	V.Médio Instrumento	V. Médio Padrão	Erro (%)	Variância	I.M. Instrumento	I.M. Padrão	k (padrão)
0,8	0,84333	0,80333	4,97925	3,33E-05	0,04163	0,59	2
4	4,33333	4,15333	4,33387	3,33E-05	0,00577	0,13	2
8	8,03	8,07667	-0,5778	0,0007	0,02646	0,07	2
20	20,56667	20,36333	0,99853	0,00173	0,04163	0,07	2

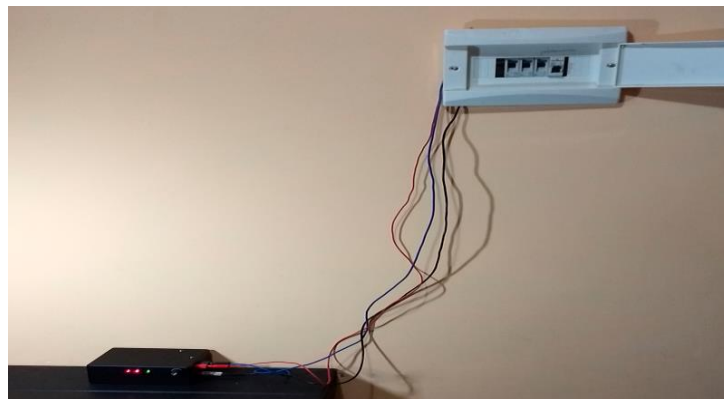
Fonte: Autor

A partir do momento que a calibração é finalizada, os valores do erro e da incerteza passam a ser conhecidos, não sendo mais necessário a utilização de outro equipamento para comparação.

4.3.3. Terceiro ensaio

O equipamento foi instalado em uma rede elétrica residencial com tensão nominal de 220 volts AC, permanecendo por 24 horas obtendo leitura de tensão e corrente e armazenando em cartão de memória para avaliação posterior. Como indicado na figura 50 temos o dispositivo ligado ao quadro de distribuição de uma residência:

Figura 52 - Dispositivo em operação



Fonte: Autor

Na tabela 14 tem-se os resultados de data, hora e a leitura dos sensores, representando uma parte dos resultados obtidos

Tabela 14 – Amostra dos resultados gravados.

Data	Hora	Sensor de tensão (V)	Sensor de corrente (A)
08/11/2018	19:18:34	227.08	3.29
08/11/2018	19:18:35	228.27	1.07
08/11/2018	19:18:36	228.36	1.04
08/11/2018	19:18:37	228.57	1.06
08/11/2018	19:18:38	228.24	1.08
08/11/2018	19:18:39	228.47	1.09
08/11/2018	19:18:40	228.44	1.08
08/11/2018	19:18:41	228.32	1.08
08/11/2018	19:18:42	228.09	1.07
08/11/2018	19:18:43	228.33	1.06
08/11/2018	19:18:44	228.59	1.07
08/11/2018	19:18:45	228.24	1.07

Fonte: Autor

Como observado na tabela 14, tem-se uma gravação a cada segundo, resultando em 86400 leituras ao final de 24 horas de monitoramento, produzindo um arquivo CVS de aproximadamente 3 MB. Este volume de dados requer algumas abordagens diferenciadas a serem analisados.

O Excel dispõe de diversos recursos, mas requer atenção quando se trabalha com grandes volumes de dados. O primeiro deles é o formato do arquivo, como o Arduino grava em CSV é necessário alterar para trabalhar com tabela dinâmica e gráficos.

Na figura 53 tem-se um trecho da tabela dinâmica do Excel onde pode-se avaliar os resultados expandindo por dia, hora, minuto e segundo. Utilizando esta tabela também são disponibilizados outros recursos como de probabilidade e

estatística, variância, desvio padrão, média e outros. Isso permite que o usuário avalie os resultados por diversos métodos:

Figura 53 - Tabela Dinâmica do Excel

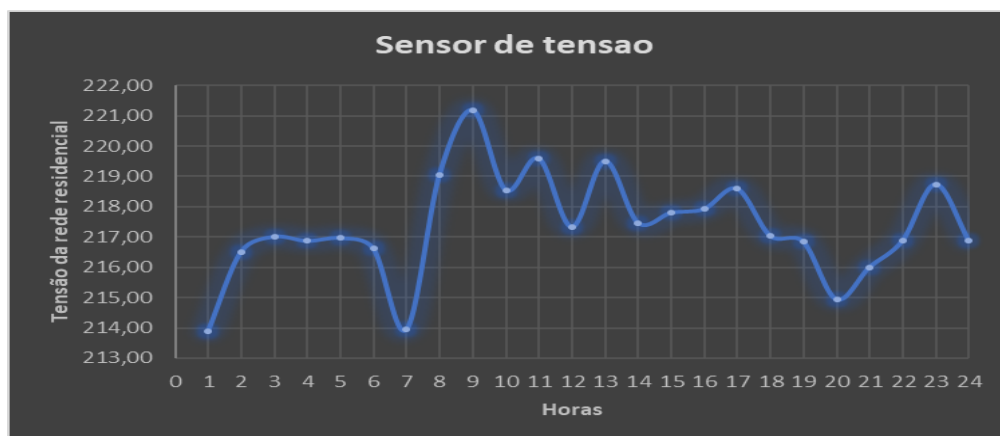
	A	B	C
2			
3	Rótulos de Linha ▾	Média de Sensor de tensao	Média de Sensor de corrente
4	+ 19/11/2018	220,51078	0,58495
5	+ 20/11/2018	217,33758	0,95726
6	- 21/11/2018	217,11129	1,16447
7	- 00	215,27033	3,85443
8	- :00	217,86567	0,32917
9	:00	217,98000	0,33000
10	:01	217,97000	0,33000
11	:02	217,96000	0,33000
12	:03	218,00000	0,33000

Fonte: Autor

Na figura 53, ao observar os valores nota-se que as médias estão com 05 casas decimais, ao optar pelo número de casas o usuário deve considerar que a última casa tende a ser arredondada.

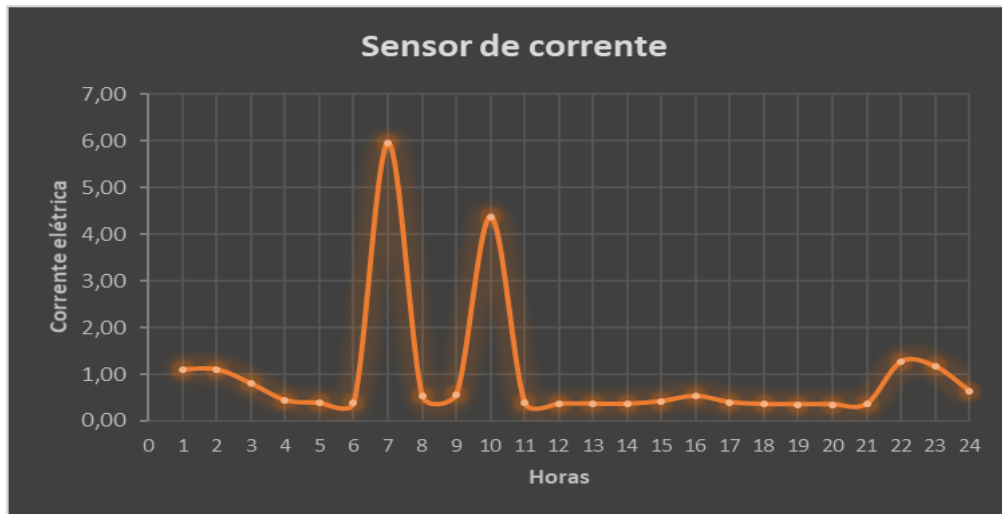
Na elaboração dos gráficos (Figuras 54 e 55) tomou como base um dia (24 horas), e os desmembramentos são feitos conforme a necessidade de se visualizar um ponto específico. Para melhor observação, os gráficos foram divididos em dois, um de tensão x horas e outro corrente x horas:

Figura 54 – Tensão por horas



Fonte: Autor

Figura 55 – Corrente por horas



Fonte: Autor

Ao analisar os gráficos acima pode-se notar a influência da corrente de consumo na tensão, principalmente nos horários entre 6-7 horas e 9-10 horas, e depois das 17-20 horas, onde são verificadas as quedas tensão mais significativas. Nestes horários é possível verificar um aumento da corrente associado a uma queda na tensão.

Expandido a tabela dinâmica encontra-se o exato momento em que houve o aumento do consumo de corrente, como mostrado na figura 56. Ao acionar o botão “+” da tabela podemos ver um aumento da corrente acima de 1 ampere exatamente as 06:24 da manhã do dia 21 de novembro, chegando a um consumo de 19 A e somente as 06:45 volta a níveis abaixo de 1 A. O usuário pode clicar no “+” referente aos minutos podendo verificar o que ocorreu durante os 60 segundos.

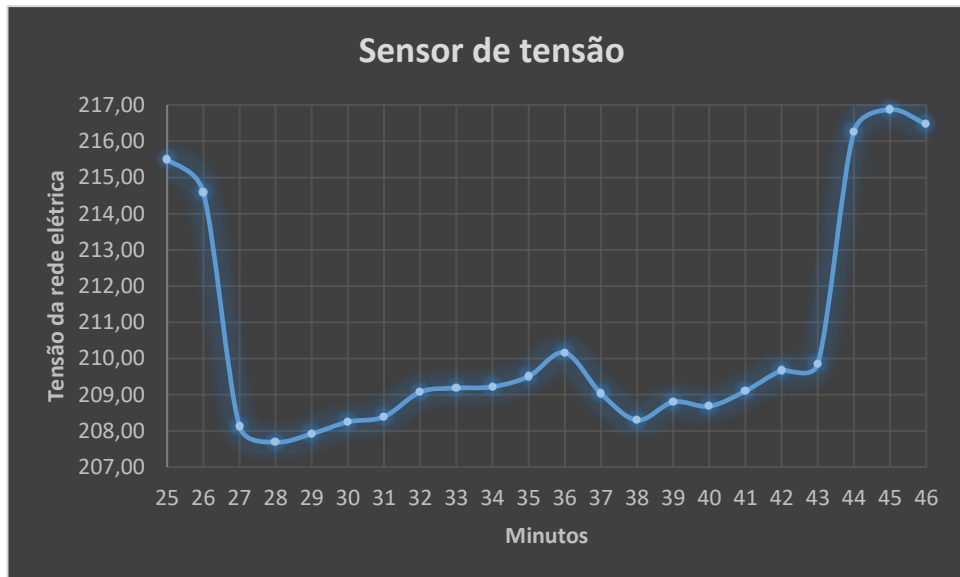
Figura 56 – Intervalo de aumento de consumo.

⊕:24	215,50917	0,25950
⊕:25	215,49717	0,25950
⊕:26	214,59183	2,35217
⊕:27	208,13000	19,52833
⊕:28	207,69250	19,79633
⊕:29	207,91917	19,79650
⊕:30	208,24950	19,80017
⊕:31	208,39033	19,78867
⊕:32	209,07417	19,80717
⊕:33	209,18250	19,81900
⊕:34	209,21867	19,84933
⊕:35	209,50617	19,85117
⊕:36	210,15967	19,87117
⊕:37	209,03567	19,41867
⊕:38	208,29717	19,34667
⊕:39	208,79933	19,38350
⊕:40	208,68200	19,32983
⊕:41	209,10150	19,36817
⊕:42	209,67050	19,41983
⊕:43	209,85683	19,46067
⊕:44	216,26717	3,10650
⊕:45	216,87967	0,22667

Fonte: Autor

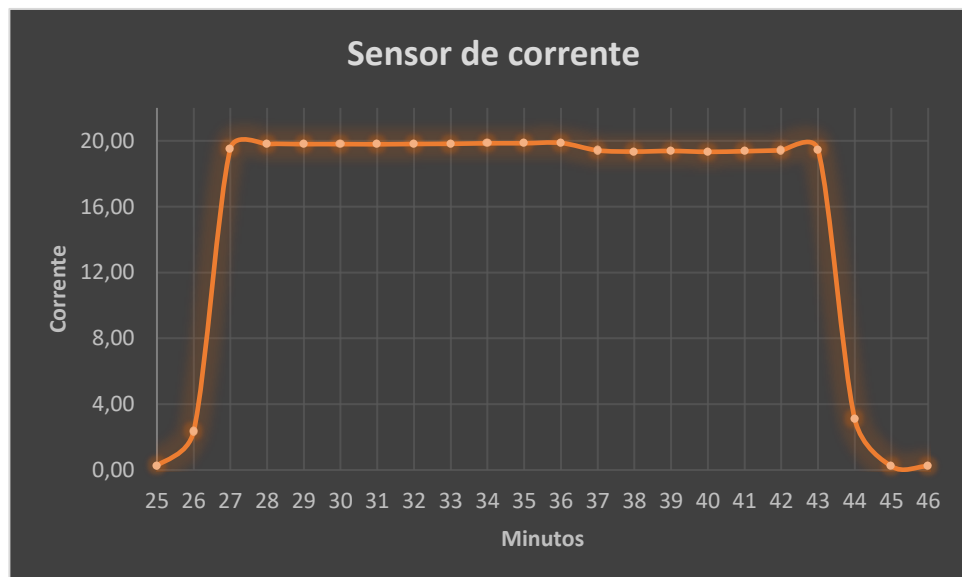
Graficamente, pode ser observado nas figuras 57 e 58 o consumo ocorrido entre as 06:25 até as 06:46 verificamos que o acionamento da carga produziu uma queda de tensão:

Figura 57 – Intervalo de aumento de consumo: Tensão.



Fonte: Autor

Figura 58 – Intervalo de aumento de consumo: Corrente.



Fonte: Autor

Diante do que foi apresentado pode-se concluir que a variação de tensão ocorre por fatores internos por meio da ativação de cargas e também por variações externas.

4.4. Custos do projeto

Os principais fornecedores foram: Contato Eletrônica e HU infinito. Na tabela 15 temos os preços dos componentes utilizados no projeto:

Tabela 15 - Preço dos componentes

Item	Descrição	Qtd.	Preço unit	Valor
1	Placa de circuito impresso ligada	1	2,69	2,69
2	Pino Banana	2	0,95	1,9
3	Conector de barra macho	1	1,19	1,19
4	Conector de barra fêmea	1	2,23	2,23
5	Arduino UNO	1	59,9	59,9
6	Pontas de prova	1	5,5	5,5
7	Sensor de corrente	1	59,9	59,9
8	Resistores	9	0,04	0,36
9	Capacitores	2	0,09	0,18
10	Capacitor	1	0,61	0,61
11	Transformador	1	15,99	15,99
12	Diodos	4	0,09	0,36
13	Ponte retificadora	1	2,5	2,5
14	Bateria recarregável	1	13,5	13,5
15	Optoacoplador	2	0,96	1,92
16	Módulo cartão SD	1	6,9	6,9
17	Módulo RTC	1	6,9	6,9
18	Cartão SD	1	19,9	19,9
19	LED's	3	0,14	0,42
20	Suporte de LED's	3	0,33	0,99
21	Fusível	1	0,16	0,16
22	Porta fusível	1	1,7	1,7
23	Jumpers	1	8,9	8,9
24	Chave on/off	1	0,93	0,93
25	Caixa patola	1	16,9	16,9
26	Conector estéreo fêmea	1	3,1	3,1
Total				235,53

Fonte: Autor

Ao pesquisar um modelo de *data logger* os valores variam de R\$499,00 a R\$57.900,00 um modelo com mais recursos.

O produto é viável quando montado diretamente pelo usuário, para produção em série é necessário buscar fornecedores na internet com melhores preços para viabilizar a fabricação.

5. Conclusão

O consumo de energia elétrica no modelo que conhecemos ainda levará algum tempo para que o consumidor possa produzir sua própria energia e ser autossuficiente. Como a energia elétrica é um bem indispensável para o desenvolvimento do país e consumidor residencial está diretamente incluído neste contexto, onde lares dão lugar a escritórios e empresas familiares, a qualidade da energia é um diferencial.

O modelo de código aberto, possibilita a desenvolvedores compartilharem soluções que podem ser usadas integralmente para montagem de circuitos semelhantes ou simplesmente o aproveitamento de partes de funções ou bibliotecas permitindo que haja avanços na forma de se resolver determinados problemas.

Ao longo do projeto foi possível perceber a existência de recursos para se montar o circuito utilizando Shields, códigos e outros recursos disponíveis no mercado. Contudo, é na academia em que o senso crítico é apurado de modo que o aluno é capaz de questionar e propor alterações para as soluções disponíveis.

Foi interessante perceber o comportamento da tecnologia no setor elétrico. A velocidade na criação de produtos para o setor após a criação do primeiro gerador e tempo gasto até que a energia chegasse ao consumidor. Hoje voltamos a buscar métodos de aproximar a geração do consumo e para que isso possa ser avaliado é importante que o consumidor saiba como é o seu consumo; se é necessário buscar um sistema alternativo para suprir sua demanda ou apenas a mudança de horários de consumo permitiria um melhor aproveitamento do produto que se encontra disponível.

Os objetivos foram atingidos considerando os testes simulados e o fato do dispositivo ter se mostrado operacional. Ao analisar os valores gravados no cartão é possível verificar que as leituras dos sensores são estáveis e confiáveis visto que apresentaram margem de erro de no máximo 5,3% em relação a padrão rastreado pelo INMETRO com e a incerteza máxima ficou 1,36.

5.1 Trabalhos futuros

Nesta seção serão apresentados pontos de melhorias e/ou aperfeiçoamento do sistema proposto, para isso os produtos que estão disponíveis no mercado servirão de exemplo.

1. A implementação de um sistema de telemetria para transmissão dos dados coletados a outras unidades, utilizando recursos já existentes como *bluetooth*, *wi-fi*, via cabo de rede ou outro método conforme a necessidade do monitoramento.
2. Desenvolvimento de uma interface mais amigável para interação com o usuário, facilitando a entrada de dados e a posterior avaliação.
3. Calcular o consumo mensal.
4. A implementação de um circuito para avaliar diferença de potencial entre a terra / neutro e o terra/ fase de modo a detectar fugas de corrente, falhas no sistema de aterramento e outros.
5. Desenvolver um circuito que permita avaliar os índices de harmônicas presente na energia elétrica.

6. Referências bibliográficas

- ALBERTAZZI, A.; DE SOUZA, A. R. **Fundamentos da metrologia científica e industrial**. Taubaté, SP: Manole LTDA, 2014.
- ARDUINO. **https://www.arduino.cc**, 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf>. Acesso em: 19 Maio 2018.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2014.
- BARRETO, G. P. **Sistema de monitoramento e controle de consumo de energia para uma residência**. Brasília: [s.n.], 2015.
- BARROS, B. F. D. **Gerenciamento de energia**: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. São Paulo: Érica, 2016.
- BARROS, B. F. D.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de Energia - Ações Administrativas e Técnicas de Uso Adequado da Energia Elétrica**. 2. ed. São Paulo: Érica, v. Único, 2016.
- BOSSI, A.; SESTO, E. **Instalações elétricas**. Curitiba: Hemus, 2002.
- CESAR, L. F. **Sistema de monitoramento para um aviário**. [S.l.]: [s.n.], 2017.
- COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- CREEDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CRUZ, E. C. A.; JÚNIOR, S. C. **Eletrônica Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2013.
- DAMAS, L. **Linguagem C**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- DEITEL, P.; DEITEL, H. **C: como programar**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- EXPÓSITO, A. G.; FELTRIN, A. P.; CAÑIZARES, C. **Sistemas de Energia Elétrica, Análise e Operação**. 1. ed. [S.l.]: LTC, 2011.
- FILHO, S. D. M. **Medição de energia elétrica**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 1997.
- FLUKE, 2016. Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/multimetros-digitais/fluke-289.htm?PID=56061>>.
- FLUKE CORPORATION. Ferramentas de qualidade de energia. **http://www.fluke.com**, 2018. Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/ferramentas-de-qualidade-de-energia/logging-power-meters/fluke-435-series-ii.htm?pid=73939>>. Acesso em: 30 Abril 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. **https://biblioteca.ibge.gov.br**, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>>. Acesso em: 13 Abril 2018.
- LIRA, F. A. D. **Metrologia conceitos e praticas de instrumentação**. São Paulo: Érica Saraiva, 2014.
- MACHADO, F. B.; MAIA, L. P. **Arquitetura de sistemas operacionais**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletronica: diodos, transistores e amplificadores**. 7. ed. Porto Alegre: Mc Graw Hil, 2011.

MARAFÃO, F. P. **Análise e controle da energia elétrica através de técnicas de processamento de sinais**. [S.l.]: [s.n.], 2004.

MARQUES, A. E. B.; ALVEZ, E. C. C.; JUNIOR, S. C. **Dispositivos Semicondutores: diodos e transistores**. 13. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

MARTINHO, E. **Distúrbios da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2013.

MICROCHIP. **Microchip**, 2014. Disponível em:
<<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>>. Acesso em: Set 2017.

MINULIGHT. **https://www.minulight.com.br/**, 2017. Disponível em:
<<https://www.minulight.com.br/>>. Acesso em: 2017.

MONK, S. **Programação com Arduino II: passos avançados com sketches**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PEREIRA, A. P. G.; PUGA, F. P. **Infraestrutura no Brasil: ajustando o foco**. Rio de Janeiro. 2016.

SOUZA, F. **Embarcados**, 30 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>>. Acesso em: Abril 2018.

SUPER talent. **http://www.supertalent.com**. Disponível em:
<http://www.supertalent.com/datasheets/5_112.pdf>. Acesso em: 20 Maio 2018.

SUPERTALENT. **Supertalent**, 2015. Disponível em:
<http://www.supertalent.com/datasheets/5_112.pdf>. Acesso em: Maio 2017.

THOMSEN. **Felipe Flop**, 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 20 Set 2017.

THOMSEN, A. Fliflop, 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 10 Setembro 2017.

THOMSEN, A. **FelipeFlop**, Novembro 2015. Disponível em:
<<https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>>.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.

TORRES, G. **Fundamentos de eletrônica**. Rio de Janeiro: Axcel, 2002.

WWW.ALDDATASHEET.COM. **www.alldatasheet.com**, 15 set. 2018. Disponível em:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50072/FAIRCHILD/4N25.html>>.

7. Apêndice

```
/*
```

```
Descrição dos pinos
```

```
* Pinos analógicos:
```

```
* A0 - Sensor de tensão 110V; A1 - Sensor de tensão 220V; A2 - Sensor de corrente; A4 - SCL e A5 - SDA, ambos do RTC.
```

```
* Pinos digitais:
```

```
* Cartão SD: Pino 4 - CS; Pino 11 - MOSI; Pino 12 - MISO; Pin 13 - CLK;
```

```
* LED's de indicação: Pino 3 - Sensor de tensão; Pino 5 - sensor de corrente; Pino 6 - indicador de operação
```

```
*/
```

```
// --- Bibliotecas utilizadas---
```

```
#include "EmonLib.h" //Biblioteca para o sensor de corrente
```

```
#define pin_sct A2 //sensor de corrente
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#define enderecol2C 0x68
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <SD.h>
```

```
EnergyMonitor emon1; //cria objeto para sensor de corrente
```

```
//
```

```
=====
```

```
=====
```

```
//Declaração das variáveis
```

```
int piscacont = 0;
```

```
const int chipSelect = 4;
```

```
int PIN_TENSAO = 3; //Configuração do pino do LED de indicação do sensor de tensão
```

```
int PIN_CORRENTE = 5; //Configuração do pino do LED de indicação do sensor de corrente
```

```
int PIN_OPERACAO = 6; //Configuração do pino do LED indicador de operação
```

```
double Irms;
```

```
int pin_0 = 0; //Pino analogico de leitura de tensão 110V
```



```

int pin_1 = 1; //Pino analogico de leitura de tensão 220V
int pin_2 = 2; //Pino analogico de leitura de Corrente
int t110, t220;
float valores_analogicos;
float volts;

byte segundo, minuto, diaDaSemana, hora, diaDoMes, mes, ano; //Configuração das variaveis do
módulo RTC

String ajustaSegundo;
String ajustaMinuto;
String ajustaHora;
String ajustaDiaDoMes;
String ajustaMes;
String dataStringBuffer;
int contadorBuffer;
String mesData = String(ajustaDiaDoMes) + "/" + String(ajustaMes) + "/" + String(ano);
String horas = String(ajustaHora) + ":" + String(ajustaMinuto) + ":" + String(ajustaSegundo);
=====
====

void setup() {

// LED de inidacaçõ de execuçãõ de programa e presença de sinal nos sensores
pinMode(PIN_TENSAO, OUTPUT);
pinMode(PIN_CORRENTE, OUTPUT);
pinMode(PIN_OPERACAO, OUTPUT);

Serial.begin(9600); //Inicializa a comunicaçãõ serial
while (!Serial) { ; } // Retardo para inicializaçãõ do cartãõ
Wire.begin(); //inicializando a biblioteca RTC
//configuraModulo(); //Chamada de funçãõ para ajuste de hora e data, deve ser transformada
em comentãrio apõs primeira execuçãõ.

Serial.print("Inicializando cartãõ SD..."); //Monitor serial exhibe que o cartãõ foi iniciado

```

```

if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Cartão falhou, ou não está instalado");
    return;
}
Serial.println("Cartão inicializado."); // Cartão ok.
//Criação do arquivo e escrita de dados
File meuArquivo = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
if (meuArquivo) {
    String cabecalho = "Data; Hora; Sensor de tensao; Sensor de corrente";
    meuArquivo.println(cabecalho);
    meuArquivo.close();
    Serial.println(cabecalho);
}

else {
    Serial.println("Erro ao abrir arquivo.");
}

contadorBuffer = 0;

//Pino, calibracao - Cur Const= Ratio/BurdenR. 2000/33 = 60
emon1.current(pin_sct, 60);
}

=====
=====

void loop() {
    imprimeDadosModulo();
    String mesData = String(ajustaDiaDoMes) + "/" + String(ajustaMes) + "/" + String(ano);
    String horas = String(ajustaHora) + ":" + String(ajustaMinuto) + ":" + String(ajustaSegundo);
    String dataString = "";

```

```

sensores ();

dataString += String(mesData) + ";" + String(horas) + ";" + String(volts) + ";" + String(Irms) ;

File dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);

if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
    Serial.println(dataString);
}
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}

digitalWrite(PIN_OPERACAO, HIGH); //Liga o LED de operação
}

```

```

=====
=====

```

```

void sensores()
{
    byte referencia = segundo;
    int cont = 0;
    volts = 0;
    valores_analogicos = 0;
    t110 = 0;
    t220 = 0; // lê o pino de entrada
    t110 = analogRead(pin_0); // lê o pino de entrada
    t220 = analogRead(pin_1);
    if ((t110 > 3) && ( t110 < 1024) && ( t220 < 365)) {
        while (referencia == segundo) {
            digitalWrite(PIN_TENSAO, HIGH); //Liga LED de indicação de presença de tensão
            t110 = analogRead(pin_0);

```

```

    valores_analogicos = valores_analogicos + t110;
    cont++;
    imprimesegundo();
}
valores_analogicos = valores_analogicos / cont;
volts = 0.1191 * valores_analogicos + 36.095;
digitalWrite(PIN_TENSAO, LOW); //Desliga LED de indicação de presença de tensão
Serial.println (t110);
}

if ( t220 > 1) {
    while (referencia == segundo) {
        digitalWrite(PIN_TENSAO, HIGH); //Liga LED de indicação de presença de tensão
        t220 = analogRead(pin_1);
        valores_analogicos = valores_analogicos + t220;
        cont ++;
        imprimesegundo();
    }

    valores_analogicos = valores_analogicos / cont;
    volts = 0.2437 * valores_analogicos + 51.89;
    Serial.println(t220);
}

if (t110 < 2) {
    digitalWrite(PIN_TENSAO, LOW); //Liga LED de indicação de presença de tensão
}

Irms = emon1.calcIrms(1480);
if (Irms > 0.1) {

```

```

    digitalWrite(PIN_CORRENTE, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(PIN_CORRENTE, LOW);
}
digitalWrite(PIN_OPERACAO, LOW); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
}

```

```

=====
=====

```

```

void configuraModulo()
{
    segundo = 0;
    minuto = 59;
    hora = 19;
    diaDaSemana = 1;
    diaDoMes = 15;
    mes = 11;
    ano = 18;

    //Definição para escrita
    Wire.beginTransmission(enderecoI2C);
    Wire.write((byte)0x00);
    //Conversão de Decimal para Binário
    Wire.write(decToBcd(segundo)); //convertendo os segundos.
    Wire.write(decToBcd(minuto)); //convertendo os minutos.
    Wire.write(decToBcd(hora)); //convertendo as horas.
    Wire.write(decToBcd(diaDaSemana)); //dia da semana, onde o domingo começa com "0".
    Wire.write(decToBcd(diaDoMes)); //convertendo o dia do mês.
    Wire.write(decToBcd(mes)); //convertendo o mês.
    Wire.write(decToBcd(ano)); //convertendo o ano.
    Wire.endTransmission(); //finalizando o modo de gravação.
}

```

```

}

=====
=====

//Função de leitura dos dados de hora e data para gravação no módulo e exibição na tela do Monitor
Serial.

void imprimeDadosModulo(){

    Wire.beginTransmission(enderecoI2C); //Abrindo o modo I2C no modo de gravação.

    Wire.write((byte)0x00); //Redefinindo o ponteiro para o primeiro registro (0x00).

    Wire.endTransmission(); //finalizando o modo de gravação.

    Wire.requestFrom(enderecoI2C, 7); //Abrindo o modo I2C no modo de leitura.

    segundo = bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);

    minuto = bcdToDec(Wire.read());

    hora = bcdToDec(Wire.read() & 0x3f);

    diaDaSemana = bcdToDec(Wire.read());

    diaDoMes = bcdToDec(Wire.read());

    mes = bcdToDec(Wire.read());

    ano = bcdToDec(Wire.read());

    ajustaHora = ajustaZero(hora);

    ajustaMinuto = ajustaZero(minuto);

    ajustaSegundo = ajustaZero(segundo);

    ajustaDiaDoMes = ajustaZero(diaDoMes);

    ajustaMes = ajustaZero(mes);

}

=====
=====

// Função de conversão de Decimal para Binário.

byte decToBcd(byte val){

    return ( (val/10*16) + (val%10) );

}

byte bcdToDec(byte val){

    return ( (val/16*10) + (val%16) );

}

```

```
=====
=====
```

```
//Função para inserção do dígito "0" à esquerda dos dados gravados no módulo com apenas um
dígito
```

```
String ajustaZero(byte dado){
    String dadoAjustado;
    if (dado < 10) {
        dadoAjustado += "0"; //concatena o dígito "0" ao valor da variável.
    }
    dadoAjustado += dado; //concatena o dígito "0" ao valor do dado.
    return dadoAjustado; //retorna o valor do dado ajustado.
}
```

```
=====
=====
```

```
void imprimesegundo(){
    Wire.beginTransaction(enderecoI2C); //Abrindo o modo I2C no modo de gravação.
    Wire.write((byte)0x00); //Redefinindo o ponteiro para o primeiro registro (0x00).
    Wire.endTransmission(); //finalizando o modo de gravação.
    Wire.requestFrom(enderecoI2C, 7); //Abrindo o modo I2C no modo de leitura.
    segundo = bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);
    ajustaSegundo = ajustaZero(segundo);
}
```

8. Tabela

Leitura	Data	Hora	Sensor de tensao (V)	Sensor de corrente (A)	Potência (W)
1	20/11/2018	06:26:48	215,31	0,26	55,9806
2	20/11/2018	06:26:49	215,31	0,26	55,9806
3	20/11/2018	06:26:50	215,39	0,26	56,0014
4	20/11/2018	06:26:51	215,42	0,26	56,0092
5	20/11/2018	06:26:52	215,5	0,26	56,03
6	20/11/2018	06:26:53	215,45	10,43	2247,1435
7	20/11/2018	06:26:54	208,9	19,49	4071,461
8	20/11/2018	06:26:55	208,54	19,5	4066,53
9	20/11/2018	06:26:56	208,57	19,49	4065,0293
10	20/11/2018	06:26:57	208,47	19,48	4060,9956
11	20/11/2018	06:26:58	208,4	19,48	4059,632
12	20/11/2018	06:26:59	208,48	19,49	4063,2752
13	20/11/2018	06:27:00	208,4	19,46	4055,464
14	20/11/2018	06:27:01	208,42	19,44	4051,6848
15	20/11/2018	06:27:02	208,42	19,46	4055,8532
16	20/11/2018	06:27:03	208,37	19,43	4048,6291
17	20/11/2018	06:27:04	208,41	19,42	4047,3222
18	20/11/2018	06:27:05	208,45	19,43	4050,1835
19	20/11/2018	06:27:06	208,52	19,43	4051,5436
20	20/11/2018	06:27:07	208,52	19,44	4053,6288
21	20/11/2018	06:27:08	208,29	19,43	4047,0747
22	20/11/2018	06:27:09	208,43	19,44	4051,8792
23	20/11/2018	06:27:10	208,44	19,45	4054,158
24	20/11/2018	06:27:11	208,46	19,46	4056,6316
25	20/11/2018	06:27:12	208,52	19,48	4061,9696
26	20/11/2018	06:27:13	208,44	19,48	4060,4112
27	20/11/2018	06:27:14	208,4	19,5	4063,8
28	20/11/2018	06:27:15	208,41	19,52	4068,1632
29	20/11/2018	06:27:16	208,42	19,5	4064,19
30	20/11/2018	06:27:17	208,46	19,51	4067,0546
31	20/11/2018	06:27:18	208,35	19,48	4058,658
32	20/11/2018	06:27:19	208,32	19,49	4060,1568
33	20/11/2018	06:27:20	208,33	19,48	4058,2684
34	20/11/2018	06:27:21	208,31	19,49	4059,9619
35	20/11/2018	06:27:22	208,42	19,47	4057,9374
36	20/11/2018	06:27:23	208,31	19,48	4057,8788
37	20/11/2018	06:27:24	208,2	19,47	4053,654
38	20/11/2018	06:27:25	208,2	19,46	4051,572
39	20/11/2018	06:27:26	208,22	19,48	4056,1256
40	20/11/2018	06:27:27	208,26	19,48	4056,9048
41	20/11/2018	06:27:28	208,32	19,48	4058,0736
42	20/11/2018	06:27:29	208,31	19,48	4057,8788
43	20/11/2018	06:27:30	208,08	19,36	4028,4288
44	20/11/2018	06:27:31	207,48	19,46	4037,5608
45	20/11/2018	06:27:32	208,02	19,45	4045,989
46	20/11/2018	06:27:33	207,72	19,45	4040,154
47	20/11/2018	06:27:34	208	19,45	4045,6

Leitura	Data	Hora	Sensor de tensao (V)	Sensor de corrente (A)	Potência (W)
48	20/11/2018	06:27:35	208,04	19,46	4048,4584
49	20/11/2018	06:27:36	208,04	19,41	4038,0564
50	20/11/2018	06:27:37	208	19,41	4037,28
51	20/11/2018	06:27:38	208,07	19,41	4038,6387
52	20/11/2018	06:27:39	208,09	19,4	4036,946
53	20/11/2018	06:27:40	208,12	19,4	4037,528
54	20/11/2018	06:27:41	208,16	19,41	4040,3856
55	20/11/2018	06:27:42	208,1	19,39	4035,059
56	20/11/2018	06:27:43	208,11	19,39	4035,2529
57	20/11/2018	06:27:44	208,04	19,39	4033,8956
58	20/11/2018	06:27:45	208,01	19,39	4033,3139
59	20/11/2018	06:27:46	207,99	19,38	4030,8462
60	20/11/2018	06:27:47	206,54	19,86	4101,8844

9. Anexos